

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

НАЗВАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ:

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КООРДИНАЦИЯ ВРАЩЕНИЯ ВАЛОВ РОТОРНО-ЛОПАСТНОЙ МАШИНЫ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Изобретение относится к роторно-лопастным машинам преобразующим тепловую энергию топлива в электрическую энергию

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] Идея роторно-лопастной машины (РЛМ) известна давно и постоянно привлекает внимание из-за ряда преимуществ перед машинами с возвратно-поступательным движением поршней. Роторно-лопастная машина проще, в ней значительно меньше деталей, силы давления газов в рабочем ходе развивают момент при постоянном плече не зависящим от времени, в ней легко свести к нулю силы изгибающие валы.

[0003] Кроме того, есть основания утверждать, что в ней лучше соблюдаются условия для полного сгорания топлива, что делает ее более экологически чистой в сравнении с обычными поршневыми конструкциями.

Согласно принципу Ле Шателье - Брауна, реакция горения топлива в замкнутом объеме, которая идет с выделением тепла и повышением давления стимулируется при увеличении объема, так как при увеличении объема давление падает. Скорость увеличения объема камеры сгорания в начальных стадиях рабочего хода РЛМ больше, чем в обычной поршневой машине. Это внушает уверенность в том, что сгорание горючего в роторно-лопастной машине будет более полным, и она будет приносить меньше вреда окружающей природе.

[0004] Многими авторами были предприняты попытки построить такую машину, имеется большое количество патентов на различные варианты конструкций, но к настоящему времени ни одна из многочисленных конструкций не дошла до стадии успешного испытания.

[0005] В РЛМ для осуществления термических циклов необходимо обеспечить согласованное изменение угловых скоростей вращения валов и основная причина неудач состоит в том, что все известные варианты механизмов согласования представляли собой разнообразные варианты механической связи валов между собой и с неподвижной частью машины. Все они не были достаточно надежными, способными к длительной работе. Детали этих устройств испытывали знакопеременные ударные нагрузки, что быстро приводило к их разрушению.

[0006] Известны изобретения, например, патент RU2237817, в котором предлагается установить на валы роторно-лопастной машины обратимые электрические машины (ОЭМ), но для удержания задней лопасти от вращения в обратном направлении предусматривается использовать стопорное устройство или храповик, что делает устройство практически неработоспособным. Известны другие конструкции, например, WO 2008/081212 A1, где на валах роторно-лопастной машины установлены электрические машины, и используются механические стопорные устройства для предотвращения вращения ротора в одном из направлений, то есть, с тем же недостатком, что и в предыдущем примере.

ЗАДАЧА ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0007] Технической задачей является нахождение простого и надежного метода согласования вращения валов, без применения каких-либо механических связей влияющих на характер вращения валов роторно-лопастной машины.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

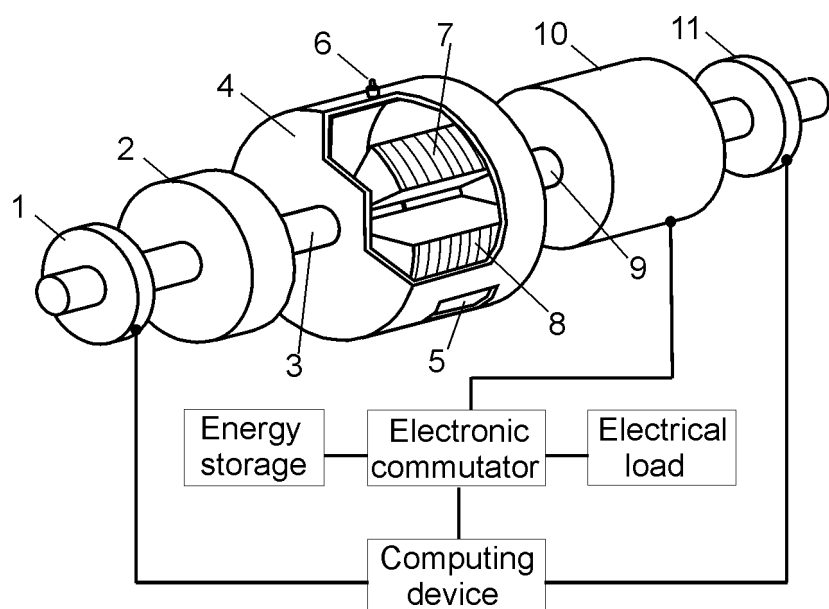
[0008] Предлагаемый метод согласования угловых скоростей валов роторно-лопастной машины заключается в установке ОЭМ на один из валов, или в установке ОЭМ на оба вала. В обоих случаях работа одной или двух ОЭМ контролируется электронным коммутатором, который находится под управлением компьютерного устройства получающего информацию о текущем положении валов от

датчиков угловых координат валов. Необходимый характер согласованного вращения валов достигается приложением ускоряющих и тормозящих моментов к валам со стороны одной или двух ОЭМ, при этом валы не имеют никаких механических связей ни между собой, ни с неподвижными частями конструкции.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРЕДЛАГАЕМОГО МЕТОДА

[0009] Предлагаемый метод согласования угловых скоростей валов РЛМ является радикальным решением проблемы надежности этого устройства. Кроме того, применение ОЭМ обеспечивает получение всей продуцируемой энергии машины в виде электрической энергии.

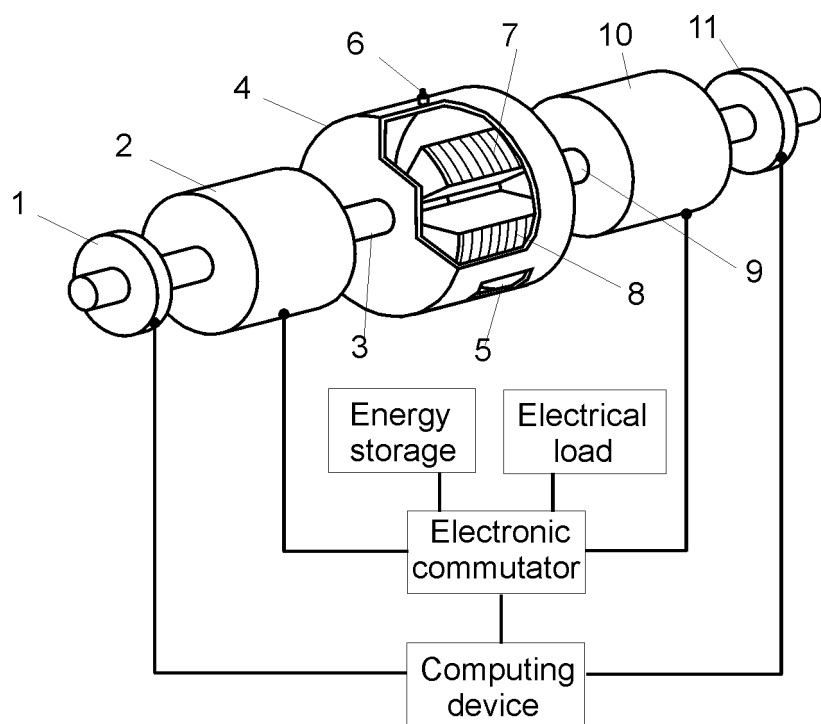
КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ РИСУНКОВ



[0010] РИС. 1 устройство с одной ОЭМ на одном из валов

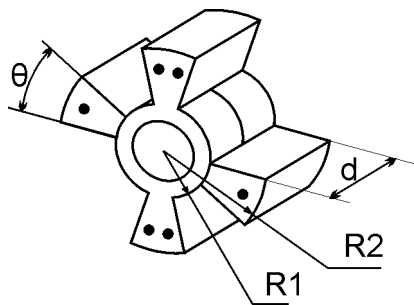
- 1 - датчик положения
- 2 - маховик
- 3 - вал 1
- 4 - цилиндрическая оболочка
- 5 - oin (отверстие всасывания); oex (отверстие выхлопа) на другой стороне оболочки не показано
- 6 - устройство поджига (свеча зажигания или инжектор впрыска топлива в горячий воздух)
- 7 - одна из лопастей на валу 1
- 8 - одна из лопастей на валу 2
- 9 - вал 2
- 10 - ОЭМ
- 11 - датчик положения

Energy storage - Аккумулятор
 Electronic commutator - Электронный коммутатор
 Electrical load - Электрическая нагрузка
 Computing device - Компьютерное устройство

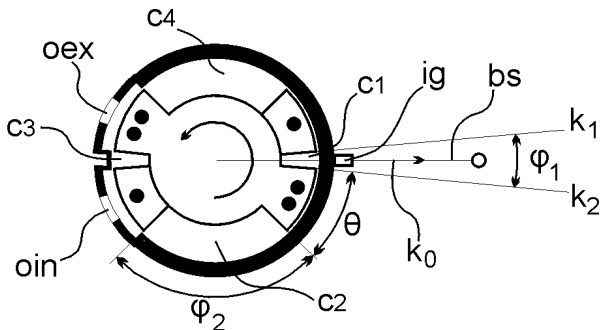


[0011] РИС. 2 устройство с ОЭМ установленными на оба вала

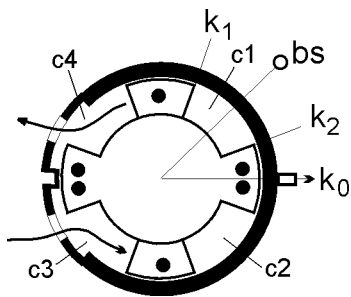
- 1 - датчик положения
- 2 - ОЭМ
- 3 - вал 1
- 4 - цилиндрическая оболочка
- 5 - oin (отверстие всасывания); oex (отверстие выхлопа) на другой стороне оболочки не показано
- 6 - устройство поджига (свеча зажигания или инжектор впрыска топлива в горячий воздух)
- 7 - одна из лопастей на валу 1
- 8 - одна из лопастей на валу 2
- 9 - вал 2
- 10 - ОЭМ
- 11 - датчик положения



[0012] РИС. 3 - простейшее устройство главного узла РЛМ с двумя лопастями на каждом из валов
 θ - угловой размер лопасти
 d - ширина лопасти
 $R1$ - радиус вала
 $R2$ - радиус лопасти
 Лопасти вала 1 помечены одной меткой, лопасти вала 2 помечены парой меток

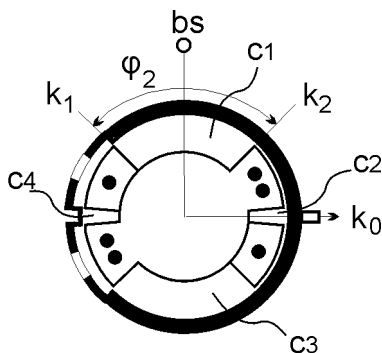


[0013] РИС. 4 - положение лопастей в начале первого такта
 oex, oin - отверстия выхлопа и всасывания
 ig - устройство зажигания
 $c1, c2, c3, c4$ - камеры между лопастями
 k_0 - начало отсчета координат
 k_1, k_2 - координаты вала 1 и вала 2
 bs - биссектриса угла между валами
 ϕ_1, ϕ_2 - угловые размеры камер

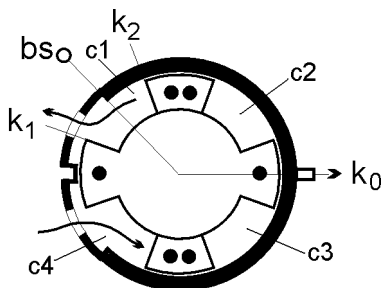


[0014] РИС. 5 - промежуточное положение лопастей в процессе первого такта

в камере $c1$ происходит такт рабочего хода
 в камере $c2$ происходит такт сжатия
 в камере $c3$ происходит такт всасывания
 в камере $c4$ происходит такт выхлопа

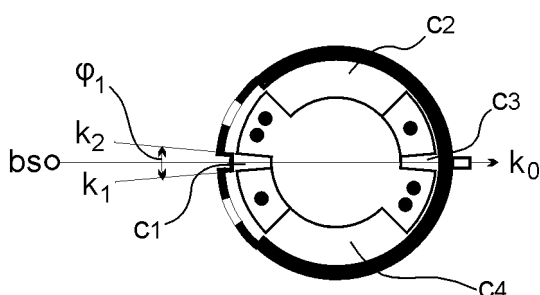


[0015] РИС. 6 - положение лопастей в конце первого такта, что то же самое, что положение в начале второго такта

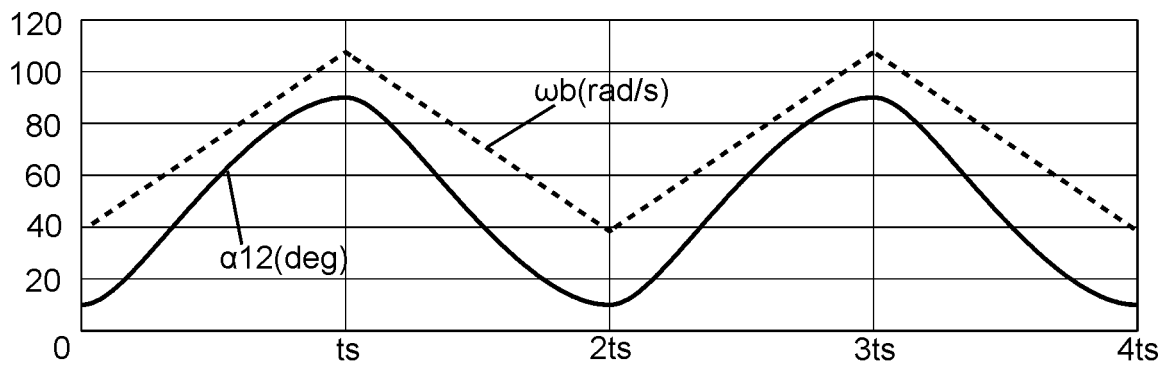


[0016] РИС. 7 - промежуточное положение лопастей в процессе второго такта

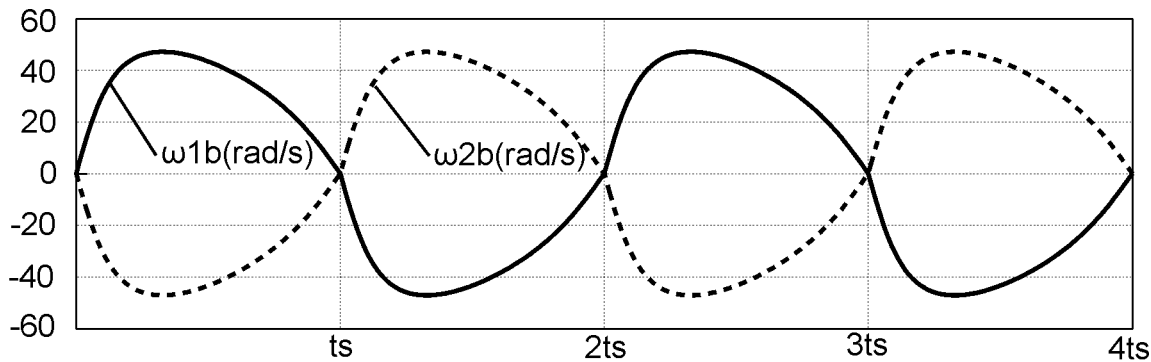
в камере $c2$ происходит такт рабочего хода
 в камере $c3$ происходит такт сжатия
 в камере $c4$ происходит такт всасывания
 в камере $c1$ происходит такт выхлопа



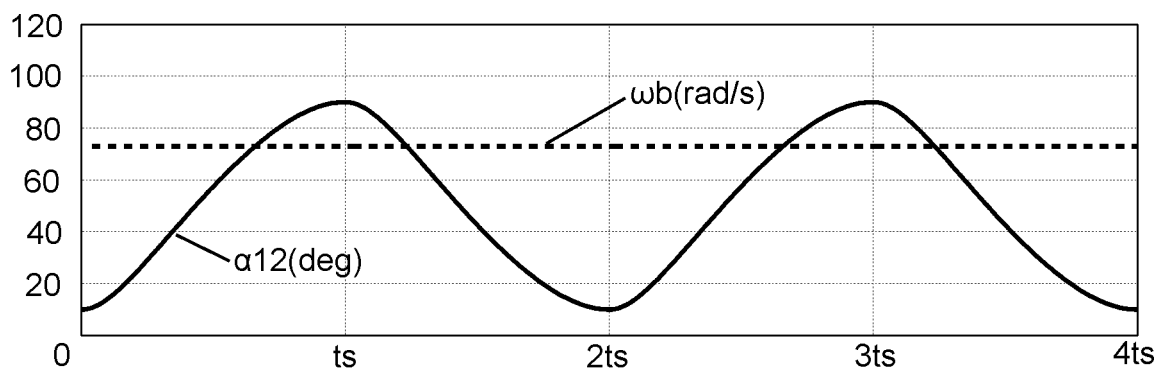
[0017] РИС. 8 - положение лопастей в конце второго такта.



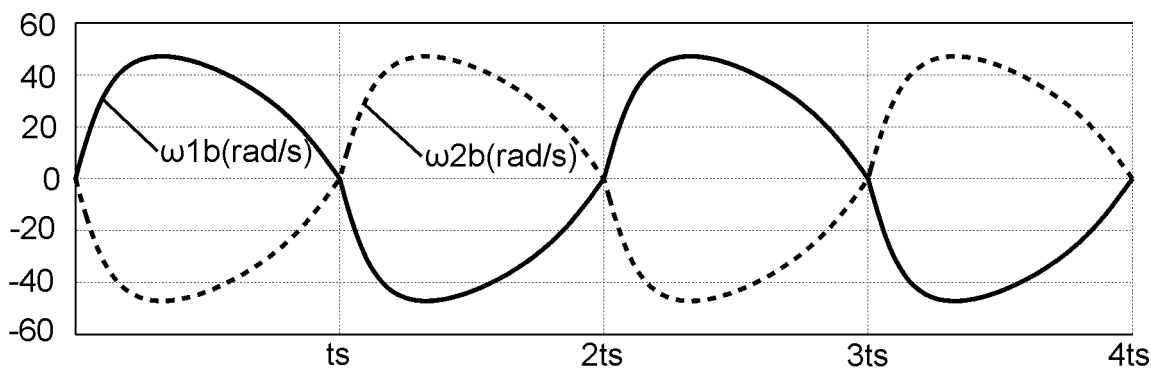
[0018] РИС. 9
зависимость угловой скорости биссектрисы (рад/с, пунктирная линия) и зависимость угла между валами (град, сплошная линия) от времени для варианта с одной ОЭМ



[0019] РИС. 10
зависимость скорости вала 1 относительно биссектрисы (рад/с, сплошная линия) и зависимость скорости вала 2 относительно биссектрисы (рад/с, пунктирная линия) от времени для варианта с одной ОЭМ



[0020] РИС. 11
зависимость угловой скорости биссектрисы (рад/с, пунктирная линия) и зависимость угла между валами (град, сплошная линия) от времени для варианта с двумя ОЭМ



[0021] РИС. 12
зависимость скорости вала 1 относительно биссектрисы (рад/с, сплошная линия) и зависимость скорости вала 2 относительно биссектрисы (рад/с, пунктирная линия) от времени для варианта с двумя ОЭМ

РЕАЛИЗАЦИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0022] Устройство роторно-лопастной машины в общих чертах показано на РИС. 1 и РИС. 2, где на первом и втором валах закреплены по две лопасти таким образом, что лопасти первого вала чередуются с лопастями второго вала. При изменении угла между валами изменяются объемы камер между лопастями. На РИС. 1 показана РЛМ с ОЭМ установленной на вал 2 и маховиком на валу 1. На РИС.2 показана РЛМ с двумя ОЭМ установленными на обоих валах.

[0023] Лопасти заключены в цилиндрическую полость 4 которая имеет отверстие всасывания горючей смеси 5 и отверстие выхлопа (не видно) на другой стороне полости. В боковой стенке полости имеется также устройство зажигания 6, которым может быть свеча зажигания или инжектор впрыскивающий порцию горючего в разогретый воздух, имеющий температуру достаточную для воспламенения горючего. На валах установлены датчики положения валов 1 и 11, которые посылают информацию о положении валов компьютерному устройству. Токи ОЭМ контролируются электронным коммутатором, который находится под управлением компьютерного устройства. Статоры ОЭМ и цилиндрическая полость закреплены к общему неподвижному основанию. Аккумулятор служит буфером для временного хранения электрической энергии питающей ОЭМ и для обеспечения непрерывного потока электроэнергии в электрическую нагрузку. Электрическая нагрузка потребляет всю электроэнергию выделяемую устройством в длительном стационарном режиме работы.

[0024] РИС. 3 показывает пример простейшего устройства основного узла РЛМ содержащего четыре идентичных лопастей попарно закрепленных к двум валам. θ - это угловой размер лопасти, d - ширина лопасти, R_1 - радиус вала, и R_2 - радиус лопастей.

[0025] РИС. 4, 5, 6, 7 и 8 показывают пять последовательных положений лопастей в течение двух тактов. Они иллюстрируют характер координированного вращения лопастей в течение тактов двигателя внутреннего сгорания. Лопасти образуют между собой ограниченные пространства - камеры изменяющегося объема: c_1 , c_2 , c_3 , и c_4 . Начало отсчета угловых координат валов - это горизонтальный луч направленный вправо и обозначенный k_0 . Координата первого вала k_1 , измеряется углом между k_0 и поверхностью лопасти этого вала ограничивающей камеру c_1 . Аналогично, координата второго вала k_2 , измеряется углом между k_0 и поверхностью лопасти этого вала ограничивающей камеру c_1 .

[0026] На РИС. 4 координата первого вала k_1 в начале первого такта положительна, т. к. кратчайший поворот от k_0 до k_1 идет против часовой стрелки, тогда как координата второго вала в начале первого такта k_2 является величиной отрицательной. Такой выбор указания координат валов удобен тем, что разность координат валов ($k_1 - k_2$) дает угловой размер камеры c_1 . Луч исходящий из центра вращения, заканчивающийся кружком и обозначенный буквами bs - это биссектриса угла между валами. Координата биссектрисы равна полусумме координат валов: $(k_1 + k_2)/2$. Координата устройства зажигания постоянна и равна нулю. Отверстия всасывания и выхлопа обозначены o_{in} и o_{ex} соответственно.

[0027] В течение первого такта, с момента воспламенения рабочей смеси в камере c_1 , эта камера расширяется, в ней происходит такт рабочего хода, объем камеры c_2 уменьшается, в ней происходит такт сжатия, объем камеры c_3 увеличивается, в ней происходит такт всасывания и объем камеры c_4 уменьшается, в ней происходит такт выхлопа. Более коротко, в течение первого такта, c_1 - камера рабочего хода, c_2 - камера сжатия, c_3 - камера всасывания и c_4 - камера выхлопа. Условимся считать вал на котором установлена лопасть идущая первой в камере c_1 ведущим, а другой вал задним. В первом такте вал 1 ведущий, а вал 2 задний.

[0028] Пройдя промежуточное положение изображенное на РИС. 5, к окончанию первого такта лопасти приходят в положение изображенное на РИС. 6, из которого видно, что угловой размер камеры c_1 увеличился от φ_1 до φ_2 , вал 1 повернулся на угол $\theta + \varphi_2$, вал 2 повернулся на угол $\theta + \varphi_1$, и биссектриса bs угла между валами повернулась на 90° .

[0029] Свежая порция горючей смеси сейчас сжата в камере с2. При воспламенении этой смеси начинается второй такт. В течение второго такта с2 - камера рабочего хода, с3 - камера сжатия, с4 - камера всасывания и с1 - камера выхлопа.

[0030] Подобно происходящему в первом такте, в течение второго такта лопасти проходят промежуточное положение показанное на РИС. 7 и к концу второго такта принимают положение показанное на РИС. 8, при этом в камере с1 закончился выхлоп, а в камерах с2, с3 и с4 закончились соответственно такты рабочего хода, сжатия и всасывания. Во втором такте угловой размер камеры с1 уменьшился до φ_1 , вал 1 повернулся на угол $\theta + \varphi_1$, вал 2 повернулся на угол $\theta + \varphi_2$, и биссектриса bs угла между валами повернулась на 90° . В этом такте вал 1 был задним, а вал 2 ведущим. Поскольку положение валов в конце второго такта идентично их положению в начале первого, периодом работы устройства будем считать длительность двух последовательных тактов.

[0031] Для того, чтобы происходили описанные выше изменения угловых размеров камер, и изменения их положений относительно окон необходимо, чтобы вращение валов было определенным образом координированы. Ниже представлены некоторые соображения лежащие в основе предлагаемого метода достижения необходимой координации с применением ОЭМ, допустив для простоты, что моменты инерции валов равны.

[0032] Допустим, что давления газов в камерах с1, с2, с3 и с4 равны p_1, p_2, p_3 и p_4 соответственно. Тогда моменты T_1 и T_2 действующие на вал 1 и вал 2 равны:

$$T_1 = (p_1 - p_2 + p_3 - p_4) \cdot S \cdot L$$

$$T_2 = (-p_1 + p_2 - p_3 + p_4) \cdot S \cdot L$$

или,

$$T_2 = -T_1 \quad (1)$$

где площадь лопасти $S = d(R_2 - R_1)$ и плечо силы давления на лопасть $L = (R_1 + R_2)/2$, см. РИС. 3.

[0033] Отсюда видно, что моменты, с которыми газы действуют на валы, всегда равны по величине и противоположны по направлению. Это значит, что ускорение сообщаемое одному валу, равно и противоположно ускорению другому. Следовательно, биссектриса угла между валами не может приобрести ускорения за счет сил давления газов на лопасти. Только внешние моменты (в нашем случае моменты приложенные к валам со стороны ОЭМ), сумма которых не равна нулю могут сообщить ускорение биссектрисе углов между валами.

[0034] Предположим, что в положении показанном на РИС. 4 скорость вращения обоих валов и биссектрисы ω_b равна нулю, происходит воспламенение сжатой смеси в камере с1 и со стороны ОЭМ к валам прикладываются моменты. К валу 1 прикладывается момент $-T_0$ в направлении по часовой стрелке, к валу 2 прикладывается момент T_0 в направлении против часовой стрелки. Допустим также, что в остальных трех камерах давление газов равно атмосферному.

[0035] Из этого неустойчивого состояния система придет к негармоническим колебаниям. Подобно пружинному маятнику в ней начнется процесс перехода внутренней энергии газов в кинетическую энергию валов и затем процесс противоположного направления. Период этих колебаний зависит от начального давления газов, упругих свойств газов, моментов инерции валов и величин приложенных моментов. В процессе этих колебаний координата биссектрисы будет оставаться неподвижной.

[0036] Если в начальный момент угловая скорость биссектрисы будет равной некоторому значению ω_0 отличному от нуля, валы будут совершать те же самые колебания относительно вращающейся биссектрисы. Движение валов будет представлять сумму двух независимых движений: колебаний валов относительно биссектрисы и равномерное вращение биссектрисы. Величина ω_0 может быть такой, что за то время, пока угловой размер камеры с1 увеличится от φ_1 до φ_2 , биссектриса совершит поворот на 90° и валы окажутся в положении показанном на РИС. 6, которое представляет конец первого такта. К этому моменту вместо камеры с1 теперь камера с2 содержит сжатую смесь готовую к воспламенению, то есть система готова для совершения второго такта.

[0037] Лопасты РЛМ с упругими газами между ними образуют колебательную систему. Это свойство использовано в предлагаемом методе и устройстве, в которых ОЭМ влияют на период и амплитуду колебаний системы и также на угол поворота биссектрисы в течение тактов.

[0038] В режиме продолжительной стационарной работы РЛМ процессы происходящие в течение периода должны быть повторением происходящих в предыдущем периоде; к концу каждого периода скорости валов должны быть теми же, какими они были в начале. Если в течение периода газы за счет своей внутренней энергии произвели работу над лопастями, то эквивалентное количество работы должно быть произведено валами против моментов ОЭМ. Это означает, что в течение периода сумма работ совершенных газами и внешними моментами должна быть равной нулю, только в этом случае валы не будут ни накапливать, ни терять своей кинетической энергии, то есть не будут ускорять или замедлять свою среднюю за период скорость вращения. Биссектриса угла между валами должна в течение каждого такта совершать поворот на 90° и угол между валами должен изменяться либо от φ_1 до φ_2 , либо от φ_2 до φ_1 .

[0039] В примерах ниже будет показано, как эти условия выполняются в РЛМ с одной ОЭМ и с двумя ОЭМ в которых приняты следующие допущения:

- энергии тепловых потерь и потерь на трение пренебрежимо малы,
- процессы сжатия и расширения газов являются политропными,
- работы всасывания и выхлопа пренебрежимо малы,
- моменты развиваемые ОЭМ в течение такта постоянны.

[0040] Числовые значения параметров главного узла РЛМ с двумя лопастями на каждом из валов (см. РИС. 3) приняты следующими:

- радиус валов $R_1 = 41.5$ мм,
- радиус лопастей $R_2 = 124.6$ мм,
- ширина лопастей $d = 83.1$ мм,
- угловой размер лопастей $\theta = 40^\circ$, и следовательно,
- сумма угловых размеров двух смежных камер $\alpha = 180^\circ - 2 \cdot \theta = 100^\circ$ и
- моменты инерции вала 1 и вала 2, $J_1 = J_2 = 0.215$ кг·м².

[0041] В расчетах приняты следующие обозначения и числовые значения:

- степень сжатия $CR = 9$,
- индекс политропы сжатия $n_c = 1.3$,
- индекс политропы расширения, $n_e = 1.3$,
- повышение температуры при сгорании стехиометрической смеси $\Delta T = 2000$ К,
- начальная температура сжатия $T_2 = 300$ К,
- начальное давление сжатия $P_2 = 100$ кПа

[0042] Используя данные выше, вычисляем:

- угловой размер камеры после сжатия $\varphi_1 = 10^\circ$,
- угловой размер камеры до сжатия $\varphi_2 = 90^\circ$,
- объем камеры перед началом сжатия $V_2 = 0.9$ Л,
- объем камеры в конце сжатия $V_1 = 0.1$ Л,
- работа газа с начальным давлением P_2 при его сжатии от объема V_2 до объема V_1 равна:

$$W_{\text{сж}} = \frac{P_2 V_2}{n_c - 1} \left(1 - CR^{(n_c - 1)} \right) = -278.95 \text{ Дж} \quad (2)$$

- в результате сжатия, давление газа повысится до P_1 :

$$P_1 = P_2 \cdot CR^{n_c} = 1739.86 \text{ кПа} \quad (3)$$

- и температура повысится до T_1 :

$$T_1 = T_2 \cdot CR^{(n_c - 1)} = 579.95 \text{ К} \quad (4)$$

- при сгорании сжатой смеси температура в камере сгорания станет T_F

$$T_F = T_1 + \Delta T = 2579.95 \text{ К} \quad (5),$$

- и давления в ней возрастет до P_F :

$$P_F = P_1 \frac{T_F}{T_1} = 7739.86 \text{ кПа} \quad (6)$$

- работа расширения газа с начальным давлением P_F от объема V_1 до объема V_2 равна:

$$W_{\text{EXP}} = \frac{P_F V_1}{n_e - 1} \left(1 - CR^{(1 - n_e)} \right) = 1245.39 \text{ Дж} \quad (7)$$

- общее количество работы газов в процессах сжатия и расширения равно:

$$W_T = W_{\text{COM}} + W_{\text{EXP}} = 966.44 \text{ Дж} \quad (8)$$

ПРИМЕР 1

[0043] Пример 1 описывает режим длительной стационарной работы РЛМ с установленной ОЭМ на один из валов, см. РИС. 1. Режим работы ОЭМ "мотор" или "генератор" переключается коммутатором. Когда ОЭМ, установленная на валу 2, работает как мотор, она потребляет электроэнергию и увеличивает скорость вращения вала 2; работая генератором, она уменьшает скорость его вращения и электроэнергию генерирует.

[0044] Как было сказано выше [0038], за время периода энергия валов не должна изменяться, что будет выполняться, если сумма работ газов и внешних моментов совершенных в течение периода будет равной нулю. Работа газов за период равна $2W_T$. В течение первого такта ОЭМ прикладывает ускоряющий момент τ_0 к валу 2 который увеличивает энергию валов и выполняет работу равную $\tau_0(\theta + \varphi_1)$. В течение второго такта ОЭМ прикладывает к валу 2 тормозящий момент $-\tau_0$, и выполняет работу $-\tau_0(\theta + \varphi_2)$. Работа внешних моментов за период (за два такта) равна:

$$\tau_0(\theta + \varphi_1) - \tau_0(\theta + \varphi_2) = -\tau_0(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (9)$$

Из условия равенства нулю суммы работ газов и внешних моментов за период

$$-\tau_0(\varphi_2 - \varphi_1) + 2W_T = 0 \quad (10)$$

находим величину момента τ_0 :

$$\tau_0 = \frac{2W_T}{(\varphi_2 - \varphi_1)} = 1382.89 \text{ Нм} \quad (11)$$

[0045] При условии, что момент τ_0 найденной величины приложен к валу 2 и что начальные скорости валов и биссектрисы угла между ними равны нулю, методом итераций находим время t_s , в течение которого разогретые газы расширяются от объема V_1 до V_2 , то есть, находим время такта, которое оказывается равным $21.53 \cdot 10^{-3}$ с. За это время биссектриса совершит поворот на угол β :

$$\beta = \frac{\tau_0 \cdot t_s^2}{2(J_1 + J_2)} = 0.744 \text{ рад } (42.64^\circ) \quad (12)$$

□

Используя найденное значение, вычисляем то значение начальной скорости биссектрисы ω_0 , при которой угол поворота в течении такта будет равным 90° :

$$\omega_0 = \frac{\frac{\pi}{2} - \beta}{t_s} = 38.40 \text{ рад/с} \quad (13)$$

[0046] Сделанные вычисления позволяют дать описание стационарного режима работы РЛМ с одной ОЭМ. С помощью метода итераций было рассчитано вращение валов РЛМ при найденных численных значениях начальной скорости ω_0 и момента t_0 . На РИС. 9 дана зависимость скорости биссектрисы ω_b (рад/с, пунктирная линия) и зависимость угла между валами α_{12} (град, сплошная линия) от времени в течение четырех тактов. РИС. 10 дает зависимость скорости вала 1 относительно биссектрисы ω_{1b} (рад/с, сплошная линия) и зависимость скорости вала 2 относительно биссектрисы ω_{2b} (рад/с, пунктирная линия). ТАБЛИЦА 1 дает числовые значения функций представленных на РИС. 9 и РИС. 10 в интервале времени четырех тактов, который разбит на двадцать равных частей.

Из этой таблицы видно, что когда координата биссектрисы угла между валами ϕ_b принимает значения 90° , 180° , 270° и 360° , угол между валами α_{12} становится равным 90° , 10° , 90° и 10° соответственно, что подтверждает согласованное друг с другом вращение валов и их правильное вращение относительно цилиндрической полости.

ТАБЛИЦА 1

| n | ϕ_b (гр) | ω_1 (рад/с) | ω_2 (рад/с) | ω_b (рад/с) | α_{12} (гр) | ω_{1b} (рад/с) | ω_{2b} (рад/с) |
|----|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0 | 0 | 38.4 | 38.4 | 38.4 | 10 | 0 | 0 |
| 1 | 11.2 | 95.63 | 8.82 | 52.23 | 23.5 | 43.4 | -43.41 |
| 2 | 25.8 | 112.41 | 19.7 | 66.06 | 46.3 | 46.35 | -46.36 |
| 3 | 43.8 | 118.63 | 41.14 | 79.88 | 67.6 | 38.75 | -38.74 |
| 4 | 65.2 | 118.18 | 69.24 | 93.71 | 83.5 | 24.47 | -24.47 |
| 5 | 90 | 107.56 | 107.53 | 107.54 | 90.0 | 0.02 | -0.01 |
| 6 | 114.8 | 50.33 | 137.12 | 93.73 | 76.5 | -43.4 | 43.39 |
| 7 | 136.2 | 33.54 | 126.25 | 79.9 | 53.7 | -46.36 | 46.35 |
| 8 | 154.2 | 27.32 | 104.82 | 66.07 | 32.4 | -38.75 | 38.75 |
| 9 | 168.8 | 27.76 | 76.72 | 52.24 | 16.5 | -24.48 | 24.48 |
| 10 | 180 | 38.39 | 38.44 | 38.41 | 10 | -0.02 | 0.03 |
| 11 | 191.2 | 95.61 | 8.82 | 52.22 | 23.5 | 43.39 | -43.4 |
| 12 | 205.7 | 112.41 | 19.68 | 66.04 | 46.3 | 46.37 | -46.36 |
| 13 | 223.7 | 118.63 | 41.12 | 79.87 | 67.6 | 38.76 | -38.75 |
| 14 | 245.1 | 118.19 | 69.22 | 93.7 | 83.5 | 24.49 | -24.48 |
| 15 | 270 | 107.56 | 107.51 | 107.53 | 90 | 0.03 | -0.02 |
| 16 | 294.8 | 50.32 | 137.14 | 93.73 | 76.5 | -43.41 | 43.41 |
| 17 | 316.2 | 33.52 | 126.27 | 79.9 | 53.7 | -46.38 | 46.37 |
| 18 | 334.2 | 27.31 | 104.83 | 66.07 | 32.4 | -38.76 | 38.76 |
| 19 | 348.8 | 27.75 | 76.73 | 52.24 | 16.5 | -24.49 | 24.49 |
| 20 | 360 | 38.41 | 38.41 | 38.41 | 10 | 0 | 0 |

[0047] Кратко об основных параметрах РЛМ с одной ОЭМ:

- Мощность отдаваемая в нагрузку: 45 кВт (61 л.с.) при 697 об/мин,
- Литраж: 3.2 л,
- Мощность ОЭМ: 101 кВт.

ПРИМЕР 2

[0048] Пример 2 описывает режим длительной стационарной работы РЛМ с ОЭМ установленными на обоих валах, см. РИС. 2. Режим работы обеих ОЭМ "мотор" или "генератор" переключается коммутатором. Когда ОЭМ работает как мотор, она потребляет электроэнергию и увеличивает скорость вращения своего вала; работая генератором, она уменьшает скорость его вращения и электроэнергию генерирует.

[0049] В этом примере используются числовые характеристики из параграфов [0040] и [0041], и также результаты вычислений в параграфе [0042].

[0050] В первом такте ОЭМ 10 (РИС. 2) прилагает ускоряющий момент T_0 к валу 2 (задний вал), и производит работу $T_0(\theta + \varphi_1)$, в то время как ОЭМ 2 прикладывает тормозящий момент $-T_0$ к валу 1 (ведущий вал) и производит работу $-T_0(\theta + \varphi_2)$. Работа выполненная двумя ОЭМ в первом такте равна:

$$T_0(\theta + \varphi_1) - T_0(\theta + \varphi_2) = -T_0(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (14)$$

В течение следующего, второго такта, ОЭМ 10 прилагает тормозящий момент $-T_0$ к валу 2 (во втором такте он ведущий) и производит работу $-T_0(\theta + \varphi_2)$, а ОЭМ 2 прикладывает ускоряющий момент T_0 к валу 1 (во втором такте он задний) и производит работу $T_0(\theta + \varphi_1)$. Работа выполненная двумя ОЭМ во втором такте та же самая, что и в первом:

$$T_0(\theta + \varphi_1) - T_0(\theta + \varphi_2) = -T_0(\varphi_2 - \varphi_1) \quad (15)$$

Работа газов в двух тактах равна $2W_T$. Из условия равенства нулю суммы работ газов и внешних моментов за период

$$-2T_0(\varphi_2 - \varphi_1) + 2W_T = 0 \quad (16)$$

находим величину момента T_0 :

$$T_0 = \frac{W_T}{(\varphi_2 - \varphi_1)} = 691.44 \text{ Нм} \quad (17)$$

[0051] При условии, что момент T_0 приложен к валу 2 и момент $-T_0$ приложен к валу 1, и что начальные скорости валов и биссектрисы угла между ними равны нулю, методом итераций находим время t_s в течении которого разогретые газы расширяются от объема V_1 до V_2 , то есть, находим время такта, которое оказывается равным $21.53 \cdot 10^{-3}$ с. Угол поворота биссектрисы за это время будет равен нулю, так как суммарный внешний момент приложенный к валам равен нулю.

Вычисляем то значение начальной скорости биссектрисы ω_0 , при которой угол поворота в течении такта будет равным 90° :

$$\omega_0 = \frac{\pi}{2t_s} = 72.97 \text{ рад/с} \quad (18)$$

[0052] Сделанные вычисления позволяют дать описание стационарного режима работы РЛМ с двумя ОЭМ. Методом итераций было рассчитано вращение валов РЛМ при найденных численных значениях начальной скорости и моментов приложенных к обоим валам. На РИС. 11 дана зависимость скорости биссектрисы ω_b (рад/с, пунктирная линия) и зависимость угла между валами α_{12} (град, сплошная линия) от времени в течение четырех тактов. РИС. 12 дает зависимость скорости вала 1 относительно биссектрисы ω_{1b} (рад/с, сплошная линия) и зависимость скорости вала 2 относительно биссектрисы ω_{2b} (рад/с, пунктирная линия). ТАБЛИЦА 2 дает числовые значения функций представленных на РИС. 11 и РИС. 12 в интервале времени четырех тактов, который разбит на двадцать равных частей.

Из этой таблицы видно, что когда координата биссектрисы угла между валами φ_b принимает значения 90° , 180° , 270° и 360° , угол между валами α_{12} становится равным 90° , 10° , 90° и 10° соответственно, что подтверждает согласованное друг с другом вращение валов и их правильное вращение относительно цилиндрической полости.

ТАБЛИЦА 2

| n | ϕ_b (гр) | ω_1 (рад/с) | ω_2 (рад/с) | ω_b (рад/с) | α_{12} (гр) | ω_{1b} (рад/с) | ω_{2b} (рад/с) |
|----|---------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| 0 | 0 | 72.97 | 72.97 | 72.97 | 10 | 0 | 0 |
| 1 | 18 | 116.38 | 29.57 | 72.97 | 23.5 | 43.4 | -43.4 |
| 2 | 36 | 119.33 | 26.62 | 72.97 | 46.3 | 46.35 | -46.35 |
| 3 | 54 | 111.72 | 34.23 | 72.97 | 67.6 | 38.74 | -38.74 |
| 4 | 72 | 97.44 | 48.5 | 72.97 | 83.5 | 24.47 | -24.47 |
| 5 | 90 | 72.99 | 72.96 | 72.97 | 90 | 0.01 | -0.01 |
| 6 | 108 | 29.58 | 116.37 | 72.97 | 76.5 | -43.4 | 43.4 |
| 7 | 126 | 26.62 | 119.33 | 72.97 | 53.7 | -46.36 | 46.36 |
| 8 | 144 | 34.23 | 111.72 | 72.97 | 32.4 | -38.75 | 38.75 |
| 9 | 162 | 48.49 | 97.45 | 72.97 | 16.5 | -24.48 | 24.48 |
| 10 | 180 | 72.95 | 73 | 72.97 | 10 | -0.03 | 0.03 |
| 11 | 198 | 116.37 | 29.58 | 72.97 | 23.5 | 43.4 | -43.4 |
| 12 | 216 | 119.34 | 26.61 | 72.97 | 46.3 | 46.36 | -46.36 |
| 13 | 234 | 111.73 | 34.22 | 72.97 | 67.6 | 38.76 | -38.76 |
| 14 | 252 | 97.46 | 48.49 | 72.97 | 83.5 | 24.49 | -24.49 |
| 15 | 270 | 73 | 72.95 | 72.97 | 90 | 0.03 | -0.03 |
| 16 | 288 | 29.56 | 116.39 | 72.97 | 76.5 | -43.41 | 43.41 |
| 17 | 306 | 26.6 | 119.35 | 72.97 | 53.7 | -46.37 | 46.37 |
| 18 | 324 | 34.21 | 111.74 | 72.97 | 32.4 | -38.76 | 38.76 |
| 19 | 342 | 48.49 | 97.46 | 72.97 | 16.5 | -24.49 | 24.49 |
| 20 | 360 | 72.97 | 72.97 | 72.97 | 10 | 0 | 0 |

[0053] Кратко об основных параметрах РЛМ с двумя ОЭМ:

- Мощность отдаваемая в нагрузку: 45 кВт (61 л.с.) при 697 об/мин,
- Литраж: 3.2 л,
- Мощность ОЭМ: 51 кВт.

[0054] В обоих примерах с использованием одной или двух ОЭМ необходимая координация вращения валов РЛМ достигается приложением к валам моментов со стороны ОЭМ. Функция ОЭМ сводится к периодическому отбору энергии выделяемой сгорающим топливом, что оказывается достаточным для достижения необходимой координации. В обоих примерах не были задействованы датчики положений валов, не было упомянуто об управлении углами поворотов или скоростями валов с помощью компьютерного устройства.

[0055] В любом варианте практической реализации метода или устройства обратная связь и управление моментами ОЭМ будут необходимы, поскольку отклонения от стационарного режима работы неизбежны. При практической реализации, слежение за положениями обоих валов с помощью датчиков положений необходимо компьютерному устройству, следящему за отклонениями в РЛМ от ожидаемого стационарного режима. Система управления компенсирует эти отклонения внесением необходимой коррекции в величину или длительность моментов ОЭМ.

ПРИМЕНИМОСТЬ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

[0056] Предлагаемый метод координации вращения валов роторно-лопастного двигателя с использованием одной или двух обратимых электрических машин может быть применен в машинах-генераторах преобразующих тепловую энергию сгорающего топлива в электрическую энергию.