

Таким образом, проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы.

1. При соосном разветвлении может быть использована математическая модель нестационарного движения газа в тройнике, но потери должны быть определены экспериментально.

2. Потери в соосном разветвлении, учитываемые коэффициентом восстановления полного давления (σ), зависят от соотношения площадей, имеют экстремум и не зависят от числа Re в диапазоне $0 \dots 5 \cdot 10^6$.

3. Интенсивность волны разрежения, прошедшей в малый трубопровод, мало зависит от конструкции зоны стыка, тогда как интенсивность волны давления зависит существенным образом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еникеев Р. Д. Газовоздушный тракт четырехтактного ДВС. МГТУ. Международный симпозиум «Образование через науку». Материалы докладов секции «Двигатели внутреннего сгорания». Отдельный выпуск. Москва, 2005. — 107 С.
2. Гришин Ю. А., Рудой Б. П. Установка для генерирования уединенных волн конечной амплитуды. Межвузовский сборник научных трудов «Вопросы теории и расчета рабочих процессов тепловых двигателей». — Уфа, 1976. — Вып. 1. — Стр. 53—55.
3. Еникеев Р. Д., Садыков Р. И., Рудой Б. П., Борисов А. О. Способ питания двигателя внутреннего сгорания и устройство для его осуществления. Патент № 2148178 // Бюллетень изобретений, 2000. — № 12.

621.5

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПРИВОДА КЛАПАНА ДВС

Д-р техн. наук, проф. С.Ф. ЯЦУН, асп. С.А. НИЖНИКОВ, инж. О.В. ЕМЕЛЬЯНОВА

Приведена схема электромагнитного привода клапана ДВС при непосредственном взаимодействии якоря с клапаном. Предложена математическая модель, описывающая движение клапана с учетом характеристик электромагнитного привода, позволяющая определить закон движения клапана в зависимости от вида электрического напряжения, подаваемого на катушки электромагнитов.

The paper presents the scheme of the electromagnetic individual drive of valve of Internal Combustion Engine and mathematical model. The motor of the valve is providing by use of two electromagnets. The mathematical model created in this paper allows describing dynamical behavior of valve dependence on different electrical voltage.

Последние десятилетия разработчики двигателей внутреннего сгорания (ДВС) активно совершенствуют механизм газораспределения. Интерес к исследованиям в этой области определяется возрастающими требованиями к экономичности, токсичности, удельной мощности моторов.

Переход к индивидуальному приводу клапана газораспределительного механизма позволяет обеспечить получение максимальной мощности или максимального крутящего момента при минимальных расходах топлива. Кроме того, открываются принципиально новые возможности, которые позволяют отключать некоторое количество цилиндров полностью или переводить их на малую нагрузку, так что остальные будут работать более эффективно [1].

Преимущество системы индивидуального привода клапана состоит в том, что время и степень открытия клапанов в любой момент времени могут быть оптимальными для

работы двигателя, в зависимости от условий эксплуатации. Появляется возможность управления высотой открытия клапана, что позволяет отказаться от дроссельной заслонки. В качестве индивидуальных приводов клапана могут выступать как гидравлические, пневматические, так и электромагнитные системы. Наиболее гибкими с точки зрения простоты конструкции являются электромагнитные приводы. В тоже время недостатком таких устройств, следует считать, низкие удельные характеристики электромагнита по мощности и достаточно большие размеры. Поэтому на стадии проектирования важную роль приобретает динамический расчет параметров привода. Проектированию электромагнитов уделяется большое внимание в [2—7].

В данной статье рассматривается методика динамического расчета электромагнитного привода клапана с двумя электромагнитами. На электромагниты подается электрическое напряжение в виде одинаковых импульсов, при этом сдвиг фазы между импульсами может изменяться. Кроме этого исследуется влияние постоянной составляющей электрического питания. Рассматривается динамика как механической части, так и электрической с учетом закона управляющего напряжения.

Схема электромагнитного привода

Схема устройства приведена на рис. 1. В рассматриваемой схеме применены два электромагнита, что позволяет значительно снизить жесткость возвратной пружины клапана. Устройство работает следующим образом. При подаче напряжения на нижний электромагнит клапан движется вниз. Далее нижний электромагнит отключается и включается верхний электромагнит, под действием которого клапан движется вверх. В верхнем положении клапан «садится на седло» с заданным усилием, закрывая цилиндр.

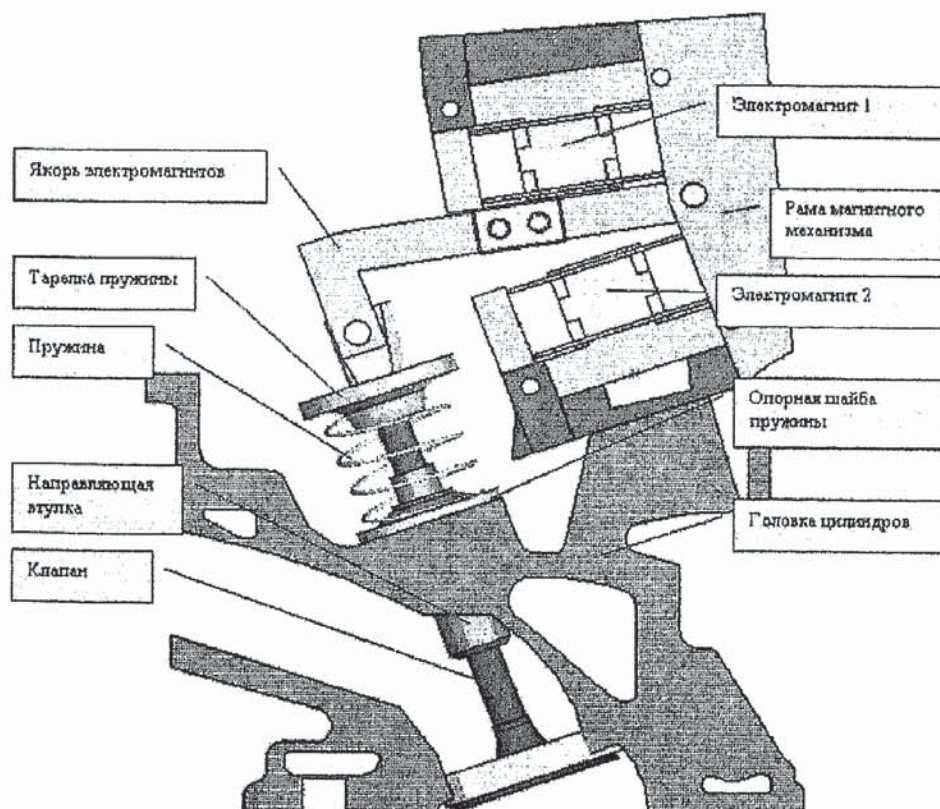


Рис. 1. Общий вид двухстороннего электромагнитного привода клапана ДВС

Рассматриваемый привод состоит из клапана, направляющей втулки, пружины, тарелки пружины. Клапан подвижно соединен с якорем электромагнитов. Электромагниты установлены на раме электромагнитного механизма, закрепленного на головке блока цилиндров.

Расчетная схема и математическая модель

Методика расчета электромагнитов основывается на использовании упрощенных расчетных формул, описывающих электромагнит и обеспечивающих приемлемую точность за счет применения установленных экспериментально ряда корректирующих коэффициентов. Для описания движения клапана на рис. 2 представлена расчетная схема одного электромагнитного вибропривода.

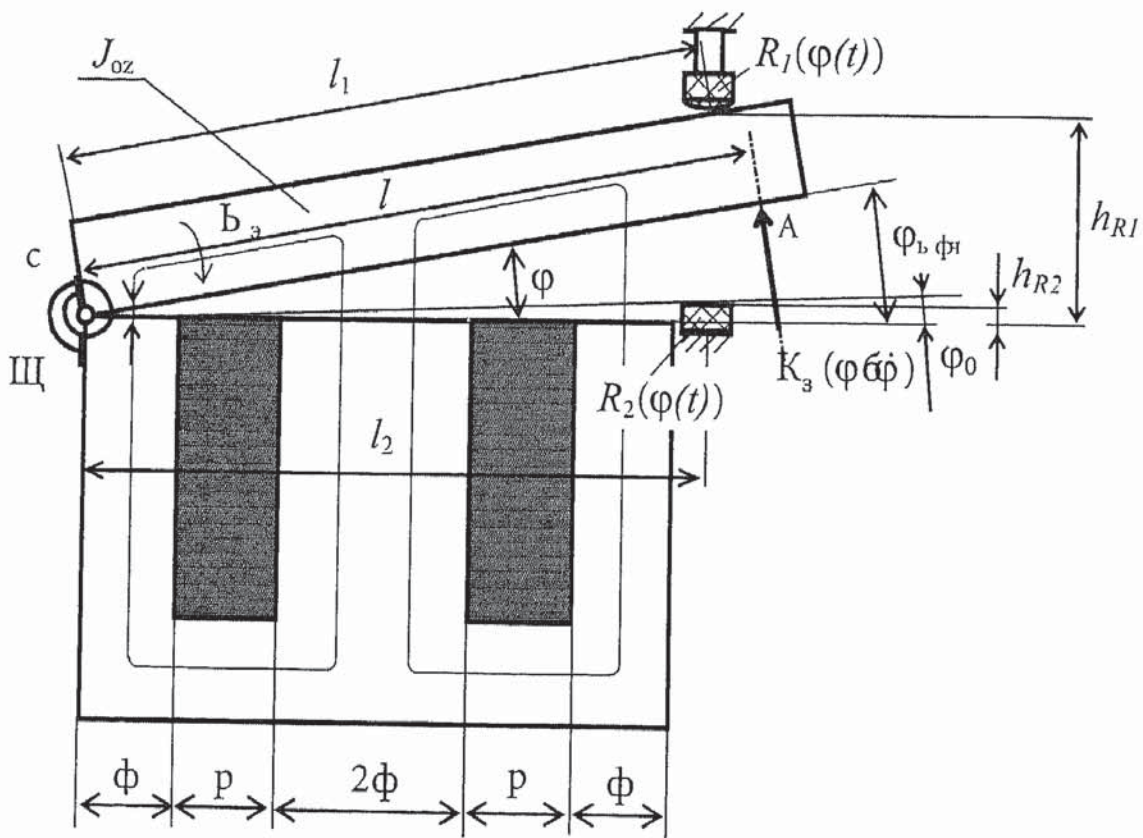


Рис. 2. Расчетная схема электромагнитного вибропривода с качающимся якорем и вязкоупругими ограничителями

Клапан массой m крепится к якорю электромагнита в точке A , а угол поворота якоря изменяется в пределах

$$\varphi_0 < \varphi < \varphi_{\max},$$

где φ_0 — значение угла поворота якоря при контакте с нижним ограничителем; φ — текущее значение угла поворота якоря; φ_{\max} — значение угла поворота якоря при контакте с верхним ограничителем.

Закон изменения угла поворота, а стало быть и закон движения клапана, зависит от величины зазоров в электромагните, а также параметров упругодиссипативных элементов

подвески клапана с параметрами упругости c , вязкости μ , и величины электромагнитного момента M_3 . При выходе угла φ на границы интервала на якорь дополнительно действуют силы со стороны упруго-вязких ограничителей с параметрами c_1, μ_1 .

Дифференциальные уравнения, приближенно описывающие движение качающегося якоря электромагнитного вибропривода, записываются в виде

$$\begin{cases} J_{0z} \ddot{\varphi} = M_3 + M_p + M_{R1} + M_c + M_{R2} \\ \dot{\Phi} = E(t) - R \frac{\Phi (8a\varphi + 4h\varphi)}{z^2 ab\mu_0} \end{cases} \quad (1)$$

где J_{0z} — приведенный момент инерции якоря электромагнита и клапана относительно точки O .

Энергия магнитного поля W , запасенная в воздушных зазорах, определяется по формуле

$$W = \frac{1}{2\mu_0} \int_{(V)} B^2 dV. \quad (2)$$

Энергия поля в зазорах, вычисляемая согласно (2), будет пропорциональна объему зазоров и окончательно, в предположении постоянства магнитной индукции B , для всей энергии поля принимает вид

$$W = \frac{B^2 \sum_{i=1}^n V_i}{2\mu_0}. \quad (3)$$

где μ_0 — магнитная проницаемость воздуха, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ ГН/м; V_i — объем воздушного зазора в i -ом магнитном контуре; n — число зазоров; l — плечо силы, действующей со стороны клапана на якорь электромагнита; l_1 — плечо силы реакции сферического ограничителя; l_2 — плечо силы реакции плоского ограничителя; Φ — магнитный поток через контур тока обмотки электромагнита; $E(t)$ — ЭДС источника питания электромагнита; R — активное сопротивление обмотки электромагнита; z — число витков обмотки; a, h — геометрические параметры сердечника; b — ширина сердечника электромагнита, φ — угол поворота якоря.

Для определения электромагнитного момента M_3 использована формула

$$M_3 = \frac{\partial W}{\partial \varphi}. \quad (4)$$

Определим величину электромагнитного момента для электромагнита вибропривода с качающимся якорем, представленным на рис. 3, учитывая переменность зазоров $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ между якорем и статором в различных сечениях электромагнита.

Средние величины рабочих зазоров определяются по формулам

$$\begin{cases} \delta_1 = \varphi \frac{a}{2} \\ \delta_2 = \varphi(1,5a + h) \\ \delta_3 = \varphi(2,5a + h) \\ \delta_4 = \varphi(3,5a + 2h) \end{cases} \quad (5)$$

Величины объемов рабочих зазоров

$$\begin{cases} V_1 = ab\varphi \frac{a}{2} \\ V_2 = ab\varphi(1,5a+h) \\ V_3 = ab\varphi(2,5a+h) \\ V_4 = ab\varphi(3,5a+2h) \end{cases} \quad (6)$$

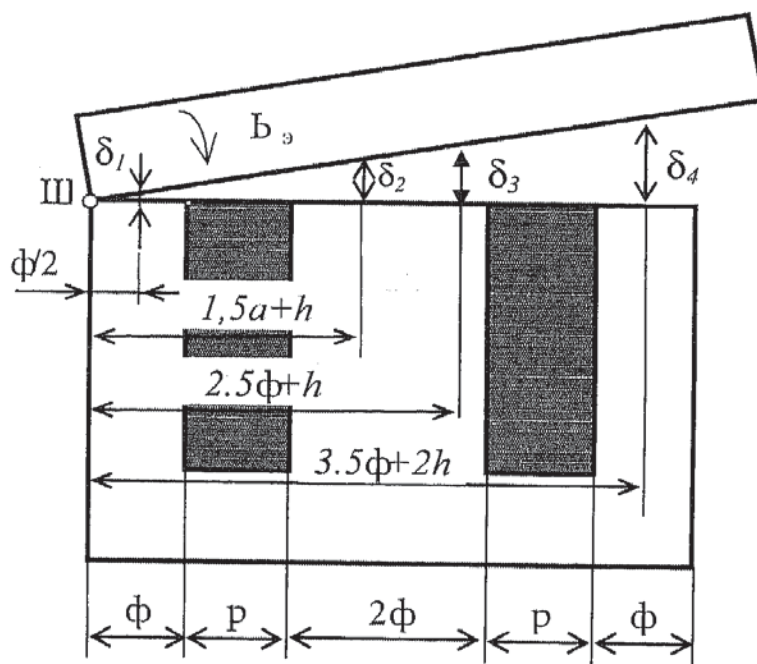


Рис. 3. Расчетная схема для определения электромагнитного момента

Подставляя в (3) выражения (5) и (6) магнитного сопротивления сердечника и якоря, получим

$$W = \frac{B^2}{2\mu_0} (V_1 + V_2 + V_3 + V_4), \quad (7)$$

учитывая, что поток Φ через контур тока равен $\Phi = \Phi'z$, где Φ' — потокосцепление. Переходя от магнитной индукции к потоку через выражение $B = \Phi'/S = \Phi/(zS)$, получим из (7)

$$W = \frac{1}{2} \Phi^2 \frac{(8\varphi a + 4h)}{z^2 ab\mu_0}. \quad (8)$$

Ток в обмотках электромагнита определяется так:

$$I = \frac{\partial W}{\partial \Phi} = \Phi \left(\frac{8\varphi a + 4h}{z^2 ab\mu_0} \right). \quad (9)$$

Таким образом, выражение для электромагнитного момента с учетом (8)

$$M_y = \frac{1}{2} \Phi^2 \frac{(8\varphi a + 4h)}{z^2 ab\mu_0}. \quad (10)$$

Момент силы упругости спиральной пружины $M_c = c\phi$. Момент M_p силы $R_p(\phi, \dot{\phi})$, действующей на якорь со стороны клапана, определим по формуле

$$M_p = R_p(\phi, \dot{\phi})l. \quad (11)$$

Закон изменения силы $R_p(\phi, \dot{\phi})$ зависит от конструкции клапана давления в цилиндре, силы трения между клапаном и направляющей втулкой и многого другого. Приближенно суммарное значение силы R_p , действующей на якорь, в каждый момент времени может быть определено с помощью выражения

$$R_p(\phi, \dot{\phi}) = F_p(\phi, \dot{\phi}) + F_{тр}(\phi, \dot{\phi}) + F_{пр}(\phi) + \mu_v \dot{\phi}, \quad (12)$$

где $F_p(\phi, \dot{\phi})$ — усилие от давления в камере сгорания; $F_{тр}(\phi, \dot{\phi})$ — сила сухого трения между поверхностями рабочего штока клапана и направляющими поверхностями втулки;

$F_{пр}(\phi) = c_p l(\phi_{пр} - \phi)$ — сила упругости рабочей пружины клапана; $\phi_{пр}$ — угол поворота якоря, соответствующий свободному состоянию рабочей пружины; μ_v — приведенный коэффициент эффективной вязкости, который в общем случае зависит от угла поворота якоря,

$$M_{R1} = \begin{cases} R_1(\phi(t))l_1, & \phi > \phi_{\max} \\ 0, & \phi \leq \phi_{\max} \end{cases} \quad \text{— момент силы реакции } R_1(\phi(t)) \text{ сферического} \\ \text{ограничителя,} \quad (13)$$

$$M_{R2} = \begin{cases} R_2(\phi(t))l_2, & \phi < \phi_0 \\ 0, & \phi \geq \phi_0 \end{cases} \quad \text{— момент силы реакции } R_2(\phi(t)) \text{ плоского} \\ \text{ограничителя.} \quad (14)$$

В расчетах использовались следующие параметры упругих элементов: при $\phi < \phi_0$ — $C = 10 \div 30 \times 10^3$ Н/м, а для $\phi > \phi_0$ — $C = 10^6$ Н/м.

Расчет движения клапана по уравнениям (1) позволяет изучить движение системы для различных видов напряжения питания электромагнитов.

Исследование движения клапана с помощью вычислительного эксперимента

Дифференциальное уравнение движения двухстороннего электромагнитного привода клапана с учетом (1) — (14) имеет вид

$$\begin{cases} J_{0z} \ddot{\phi} = M_{\phi 1} + M_{\phi 2} + M_p + M_{R1} + M_c + M_{R2} \\ \ddot{\phi}_1 + R_i = U_1(t) \\ \ddot{\phi}_2 + R_i = U_2(t) \end{cases} \quad (15)$$

Рассмотрим задачу динамики, которую можно сформулировать при изучении рассматриваемой системы. Определим закон движения клапана по известному закону электрического напряжения, подаваемого на катушку электромагнита. В этой работе моделировались следующие законы подачи напряжения:

$$U_1 = \begin{cases} A \sin(\omega t) + U_0, \sin(\omega t) > 0 \\ U_0, \sin(\omega t) \leq 0 \end{cases}$$

$$U_2 = \begin{cases} A \sin(\omega t + \varphi) + U_0, \sin(\omega t + \varphi) > 0 \\ U_0, \sin(\omega t + \varphi) \leq 0 \end{cases}$$

Исследовалась зависимость амплитуды колебаний (перемещения) массы при изменении сдвига фаз φ между синусоидами при постоянных амплитудах A и $U_0 = 0$.

Исследование влияния постоянной составляющей напряжения показывает, что при значениях постоянной составляющей, превышающих определенный уровень, происходит «прилипание» клапана к одному из электромагнитов. В то же время при постоянной составляющей, меньшей этого уровня, крайне трудно достичь «залипания» массы.

Ниже рассмотрены возможные варианты параметров подаваемого напряжения и закон движения клапана (рис. 4—10).

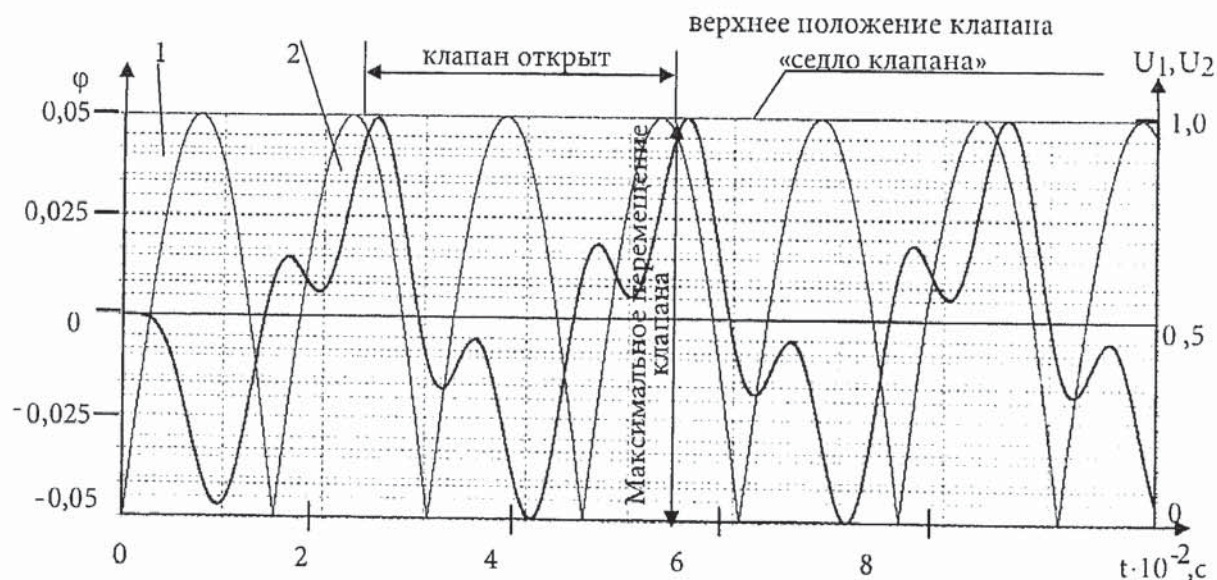


Рис. 4. Закон движения клапана при $A = 1$, $\varphi = 180^\circ$, $U_0 = 0$

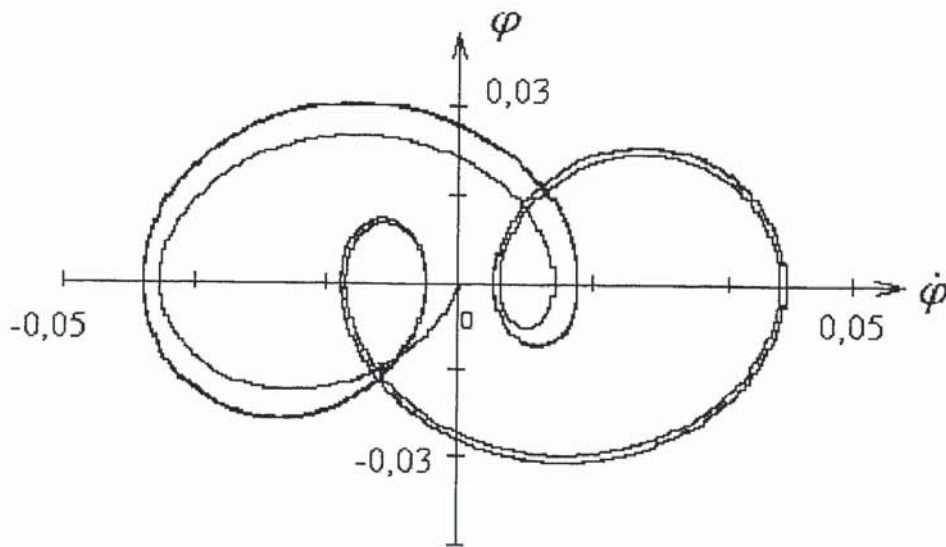


Рис. 5. Фазовый портрет движения клапана

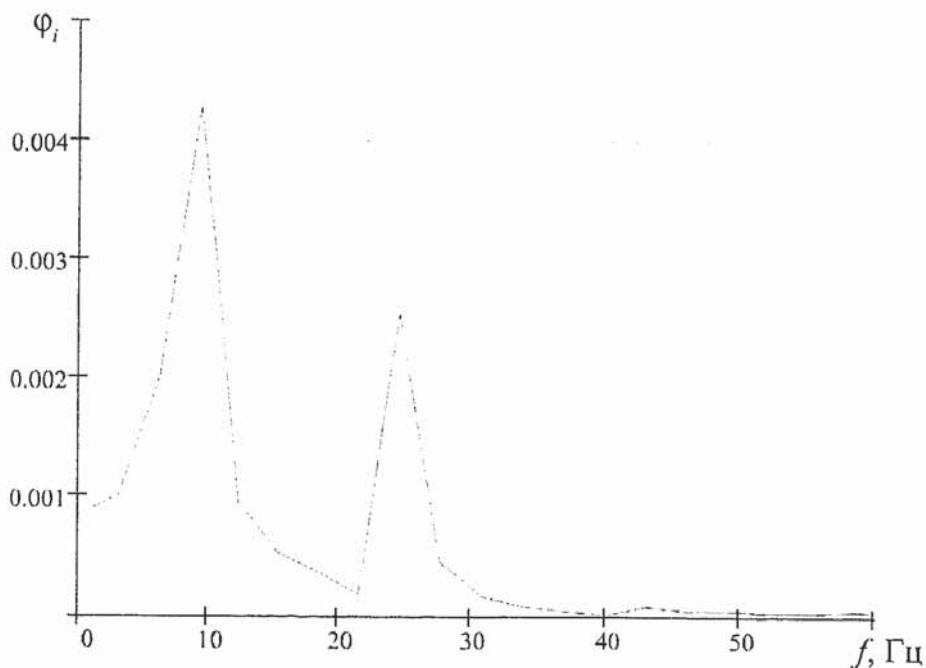


Рис. 6. Спектр закона движения клапана

Как показывают вычисления, при отсутствии постоянной составляющей и низкой амплитуде постоянного сигнала, независимо от значений сдвига фаз, не удастся достичь больших перемещений массы, и она совершает вынужденные колебания без контакта с ограничителями.

С увеличением амплитуды переменной составляющей A и нулевой постоянной составляющей напряжения мы достигаем максимально возможных значений перемещения. Небольшие изменения постоянной составляющей напряжения (например, от 0 до 0,5 В) также не приводят к продолжительному залипанию клапана.

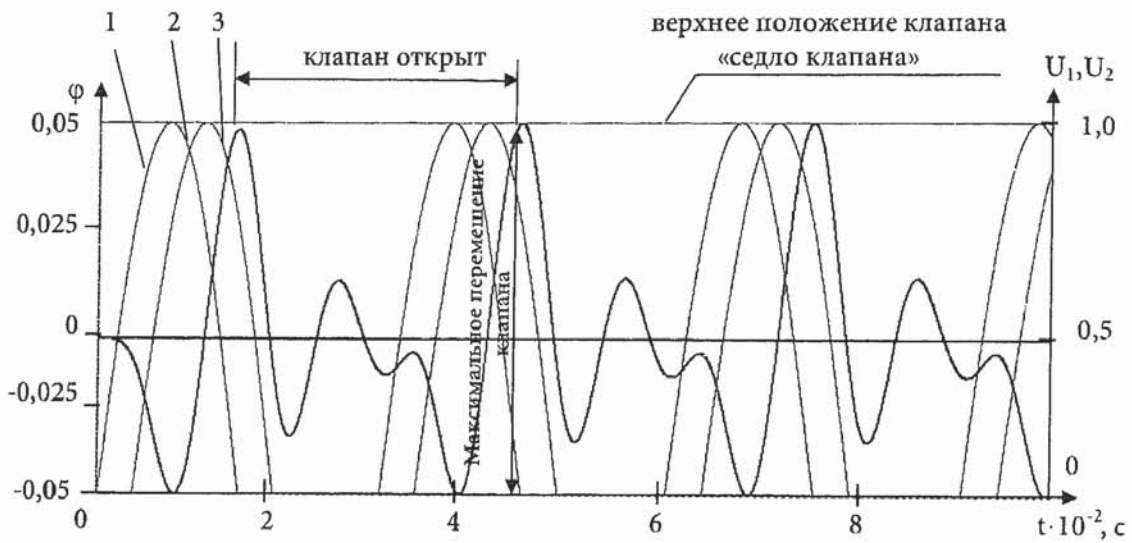


Рис. 7. Закон движения клапана при $A = 1$, $\varphi = 45^\circ$, $U_0 = 0$

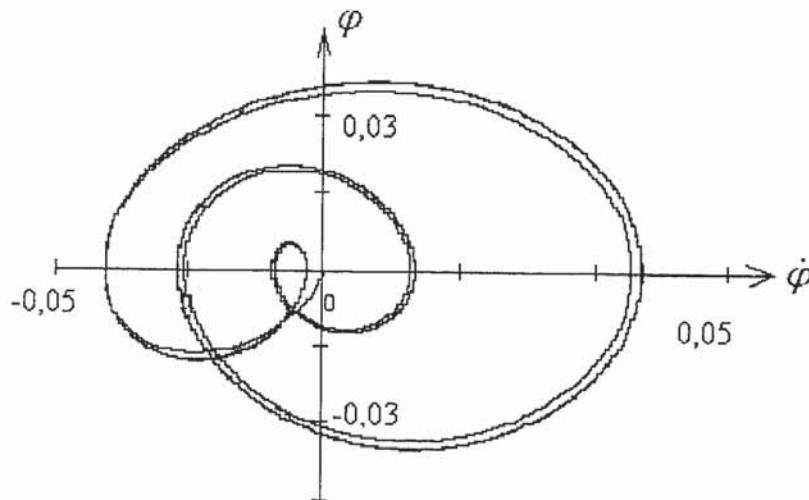


Рис. 8. Фазовый портрет движения клапана

Выводы

1. В результате проведенных исследований установлено, что импульсное питание двух электромагнитов индивидуального привода клапана ДВС позволяет обеспечить движение клапана по траектории, близкой к заданной.

2. В результате проведенных исследований установлено, что существует область параметров электрического питания электромагнитов, при которых происходит «прилипание» клапана к одному из электромагнитов.

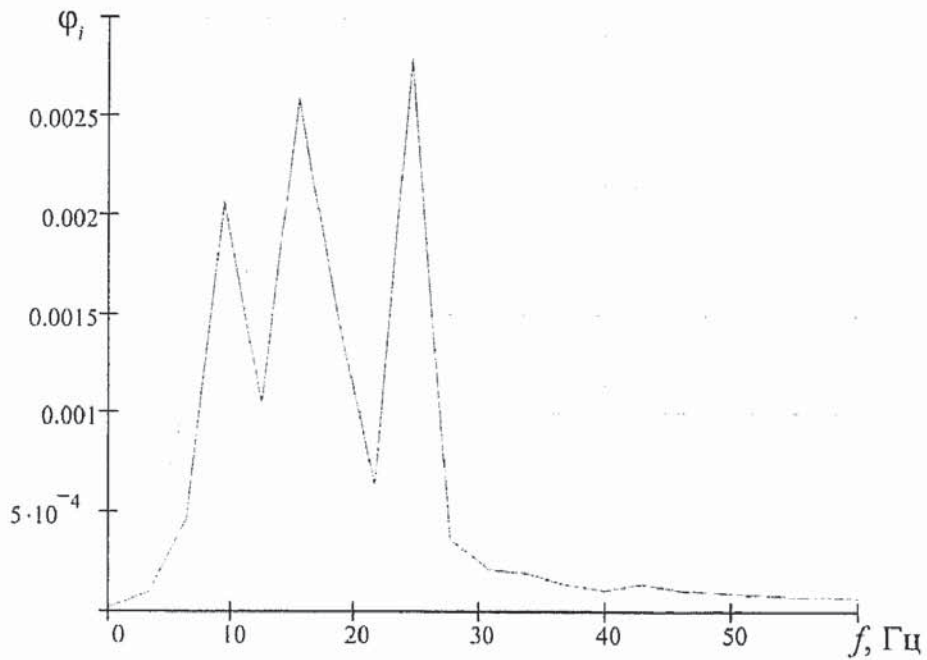


Рис. 9. Спектр закона движения клапана

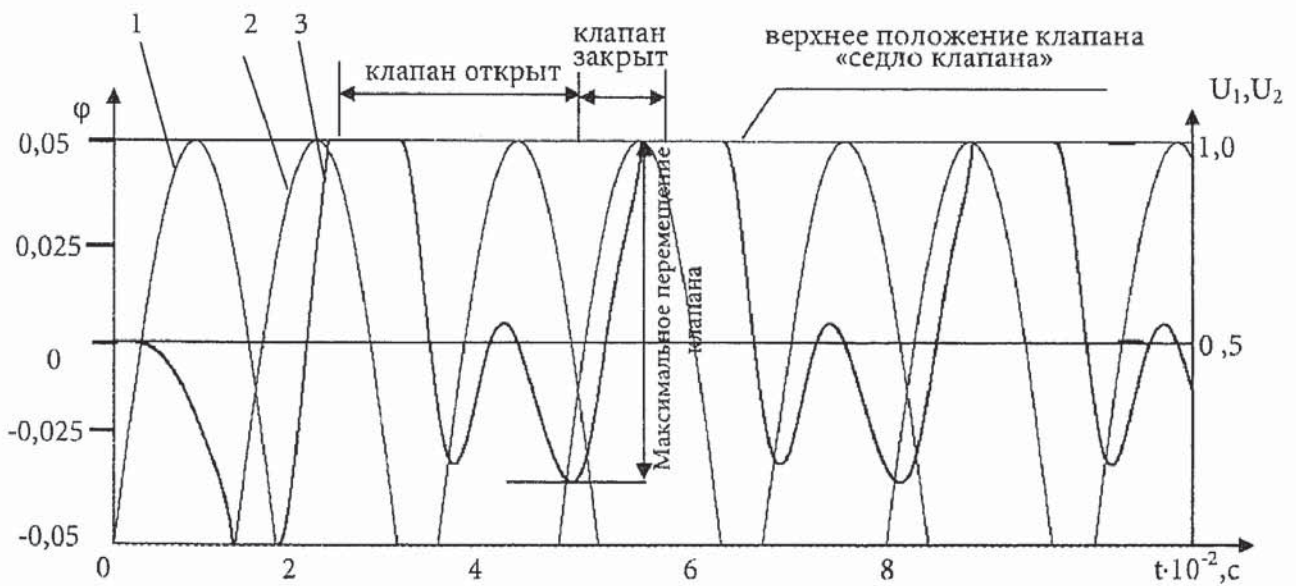


Рис. 10. Закон движения клапана при $A = 5$ В, $\varphi = 135^\circ$, $U_0 = 0$ В

3. Выявлена область параметров, когда происходит устойчивое периодическое движение клапана, что определяет область рациональных параметров системы электрического питания электромагнита.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дэниэлс Джеф. Современные автомобильные технологии. — М.: Астрель, АСТ. — 2003. — 223 с.
2. Любчик М. А. Оптимальное проектирование силовых электромагнитных механизмов. — М.: Энергия, 1974. — 392 с.
3. Ряшенцев А. П., Алабужев П. М., Никишин Н. И. Ручные электрические машины ударного действия. — М.: Недра, 1979. — 192 с.
4. Смелягин А. И. Максимальный КПД электромагнита // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 1982. — № 4. — С. 119—122.
5. Смелягин А. И., Мисюк Ю. П. Выбор возвратного элемента по заданному времени и постоянному усилию однокатушечного электромагнитного двигателя // Электрические импульсные системы. — Новосибирск: ИГД СО АН СССР, 1976. — С. 66—72.
6. Яцун С. Ф., Гапонов Ю. А., Маслова О. Г. Анализ периодических процессов движения вибромашин с электромагнитным приводом // Известия вузов. Машиностроение. — 1991. — №4—6. — С. 42—46.
7. Яцун С. Ф., Емельянова О. В. Моделирование динамического процесса движения форсунки ДВС // Вибрационные машины и технологии: в 2 ч. Ч.1: Сб. науч.тр. Курск. гос. техн. ун-та. — Курск, 2005. — 208 с.

621.43.001

УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТЬЮ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 12 ГД ЧН 26/26, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ СТАЦИОНАРА

Д-р техн.наук. И.Н. АРИНИН, канд.техн.наук Ю.В. БАЖЕНОВ, асп. Ю.Г. БИЛЫК

Предложена система управления режимами ТО и ремонта газодизельного двигателя «по состоянию». В качестве управляющего элемента системы выбрана информация о температуре отработавших газов в каждом из цилиндров. Обоснованы нормативные значения диагностических параметров для оценки технического состояния двигателя. Разработаны алгоритмы поиска неисправностей при отклонении параметров за пределы допуска.

The control system of maintenance and repair of a gas diesel engine « as is » is offered. Information on temperature of the completed gases in each of the cylinders served as an operating element in the system. Normative values of diagnostic parameters for estimation of engine maintenance were justified. Algorithms of inaccuracies search at the aberration of parameters beyond the limits of tolerance were developed.

В последние годы темпы роста энергопотребления в стране в несколько раз превышают все плановые показатели. Как итог — некоторые регионы живут в условиях энергодефицита. Кроме того, излишняя централизация энергообеспечения страны приводит к целому ряду негативных последствий. В связи с этим в настоящее время все большее внимание уделяется созданию компактных электростанций, снабжающих электроэнергией небольшие города, поселки, крупные предприятия. В качестве силовых установок на таких электростанциях используют, в основном, двигатели внутреннего сгорания.

Газодизельный двигатель 12 ГД ЧН 26/26 представляет собой довольно сложную энергетическую установку, характеризующуюся большой мощностью и теплонапряженностью. Это 12-ти цилиндровый, четырехтактный, V-образный двигатель с газотурбинным наддувом номинальной мощностью 1775 кВт. К таким двигателям предъявляются повышенные требования по долговечности, безотказности и эксплуатационной технологичности, что и вызвало необходимость разработки системы управления их работоспособностью.

В основе системы управления лежит принцип технического обслуживания (ТО) и