

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ МАГНИТОРЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРИВОДНЫХ СИСТЕМ

К.В. Найгерт¹, В.А. Целищев²

¹Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

²Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

В статье рассмотрен вариант оптимизации рабочих процессов магнитоэологических приводных систем, применяющих комбинированный способ реализации регулирования. Рассмотрено влияние спиральности потока на расходные характеристики магнитоэологического устройства комбинированного типа, что является хорошей качественной и количественной характеристикой вихревых течений. Принимая во внимание наличие дифференциальных электромагнитных блоков управления, целесообразно использование многофазного алгоритма управления, так как регулирование гидравлического сопротивления в рабочей зоне магнитоэологических устройств осуществляется в зависимости от скорости изменения характеристик электромагнитного поля и частоты переключения элементов дифференциальной обмотки блоков электромагнитного управления. Очевидно, что значительного улучшения динамики и увеличения глубины регулирования магнитоэологических приводных систем возможно добиться за счет оптимизации параметров управляющего электромагнитного поля. Поэтому направлением параметрической оптимизации рабочего процесса в данной работе выбран частотно-фазовый принцип. Рационализация значений параметров осуществляется на основании описанной численной модели рабочего процесса магнитоэологического устройства комбинированного типа. Результаты численного моделирования иллюстрируют рациональность выбранного подхода оптимизации, доказывают адекватность модели, эффективность и хорошую динамику комбинированного способа регулирования в магнитоэологических приводных системах. Также результаты численного моделирования показывают, что скорость изменения спиральности потока является хорошей мерой динамики скоростных параметров вихревого движения потока магнитоэологической жидкости в рабочих полостях. Обоснована целесообразность моделирования сигнала управления в виде синусоиды для магнитоэологических и магнитоэологических устройств. Продемонстрирован способ достижения стабильности расходных характеристик и общей динамики магнитоэологических и магнитоэологических устройств с дифференциальными блоками электромагнитного управления.

Ключевые слова: магнитоэологическое устройство комбинированного типа, динамика магнитоэологических приводных систем.

Введение

В распространенных магнитоэологических системах реализовано управление, основанное на изменении вязкости рабочей среды во внешних электромагнитных полях, что накладывает на магнитоэологические приводы существенные ограничения по диапазону параметров регулирования. Прежде всего, это связано с неспособностью увеличения вязкости магнитоэологической среды во внешних электромагнитных полях более чем на 30–50 % и сложностью стабилизации ее температуры. Очевидно, что нестабильность реологических характеристик и лимитированность роста вязкостных параметров негативно отражаются на динамике и глубине регулирования магнитоэологических приводов. Наиболее распространенные конструкции регулирующих устройств, применяемых в магнитоэологических приводных системах, и способы организации управления в них приведены в работах [1–12].

Актуальность. Приводы являются неотъемлемой частью автоматизированных систем и во многом определяют их эффективность, надежность и точность отработки сигнала управления, поэтому оптимизация рабочих характеристик магнитоэологических приводных систем актуальна и востребована.

Задача исследовательской работы: разработать способ улучшения динамики и увеличения глубины регулирования магнитоэологических приводных систем. Для предлагаемого способа произвести параметрическую оптимизацию процесса регулирования расходных характеристик.

Способ регулирования характеристик магнитоологических приводных систем

В рамках данной исследовательской работы рассмотрим комбинированный способ реализации регулирования в магнитоологических приводных системах как за счет изменения вязкости и генерирования гидродинамических и реологических эффектов во вращающихся и винтовых управляющих электромагнитных полях, так и путем сочетания объемного и дроссельного методов. Как известно, объемный метод управления расходом энергетически более эффективен в сравнении с дроссельным методом. Реализация объемного метода при помощи классической гидравлической аппаратуры не всегда экономически целесообразна, что связано с высокими затратами на производство источников давления, а конструкции магнитодинамических насосов и магнитоологических дросселей принципиально схожи и не имеют существенной разницы в стоимости. Комбинированный способ регулирования в магнитоологических приводных системах организован следующим образом. С целью улучшения динамических параметров регулирования привода, для создания перепада давления и запираания потока магнитоологической жидкости применяется сочетание эффектов изменения вязкости и динамического запираания потока, которые возникают при организации вращающегося движения рабочей жидкости в кольцевом канале, что реализовано посредством управляющего электромагнитного поля. Вращающееся управляющее электромагнитное поле создается группой элементов блока электромагнитного управления потоком, расположенных по периферии кольцевого канала проточной части; при последовательном включении элементов блока электромагнитного управления потоком магнитоологическая жидкость движется вращательно-поступательно, образуя эффект динамического вихревого запираания потока. Регулирование гидравлического сопротивления в рабочей зоне магнитоологического устройства осуществляется в зависимости от скорости изменения характеристик электромагнитного поля и частоты переключения элементов кольцевой дифференциальной обмотки блока электромагнитного управления. Магнитодинамический насос (рис. 1) обеспечивает повышение эффективности и снижение потерь электрической мощности привода, так как применяется управление не только посредством магнитоологических дросселей, но дополнительно используется регулируемый магнитодинамический насос.

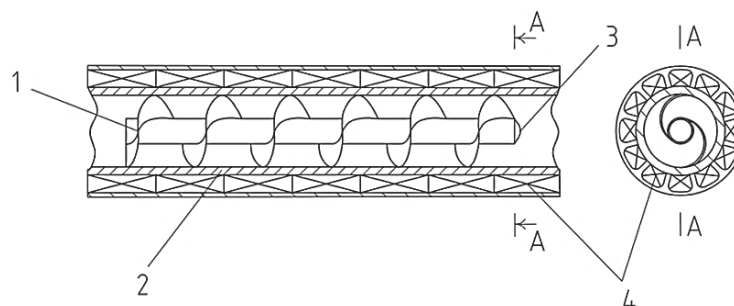


Рис. 1. Магнитодинамический насос: 1 – шнек, 2 – корпус, 3 – обтекатель, 4 – каскад блоков электромагнитного управления потоком

Изменение параметров, частоты смены сигналов на элементах блоков управления магнитодинамического насоса и длительности электрических импульсов приводит к изменению гидравлических параметров потока магнитоологической жидкости, а изменение частоты смены сигналов и длительности электрических импульсов, подаваемых на блоки электромагнитного управления магнитоологических дросселей, позволяет осуществлять точное дорегулирование рабочих характеристик магнитоологического привода. Подача рабочей среды магнитодинамическим насосом осуществляется бегущим винтовым электромагнитным полем, индуцируемым каскадом блоков электромагнитного управления потоком, которые состоят из элементов дифференциальной обмотки и образуют рабочие зоны магнитодинамического насоса. По сигналу контроллера происходит включение обмоток каждого последующего блока, при этом включение обмотки блока начинается со смещения на один элемент дифференциальной обмотки, то есть с угловым сдвигом.

Развернутое описание предлагаемого способа приведено в опубликованных ранее работах [13–15].

Численное описание рабочего процесса при эксплуатации магнитореологических устройств, применяющих вращающиеся и винтовые управляющие электромагнитные поля

Так как в предлагаемых устройствах реализованы вращающиеся и винтовые управляющие электромагнитные поля, для описания гидродинамики рабочего процесса введем понятие спиральности потока [16]. Скорость изменения спиральности потока можно представить в виде:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + v \nabla h = \omega \left(P_v + \text{grad} \frac{v^2}{2} - \frac{1}{\rho} \text{grad} P \right) + v \text{rot} P_v - \vartheta \omega \text{rot} \omega - \vartheta v \text{rot} (\text{rot} \omega);$$

$$h = v \omega; \omega = \text{rot} v,$$

где P_v – вектор плотности объемных сил, ω – завихренность, v – скорость, h – спиральность, t – время, P – давление, ϑ – кинематическая вязкость, ρ – плотность. В безразмерном виде:

$$\frac{v_0^2}{l_0 t_0} \frac{\partial W}{\partial \tau} + \frac{v_0^3}{l_0^3} U \nabla W = \frac{v_0}{l_0} (\nabla U \cdot P_v) + \frac{v_0^3}{l_0^3} \nabla U \text{Grad} \frac{U^2}{2} - \frac{v_0}{l_0^2 \rho} \nabla U \text{Grad} P +$$

$$+ \frac{v_0}{l_0} (U \cdot \nabla P_v) - \vartheta \frac{v_0^2}{l_0^3} (\nabla U) \cdot (\nabla \nabla U) - \vartheta \frac{v_0^2}{l_0^3} U (\nabla \nabla \nabla U);$$

$$W = \frac{h}{v_0^2} l_0 = U (\nabla U); v = U v_0; r = R l_0; t = \tau t_0; h = v \text{rot} v = \frac{v_0^2}{l_0} U \nabla U; \omega = \frac{v_0}{l_0} \nabla U,$$

где l_0 – показатель размера, t_0 – показатель времени, v_0 – показатель скорости, $U; R; \tau$ – безразмерные величины соответствующие физическим величинам, $l_0; t_0; v_0; \nabla; \text{Grad}$ – дифференцирование по безразмерной координате. Или:

$$\frac{l_0}{v_0 t_0} \frac{\partial W}{\partial \tau} + U \nabla W = \frac{l_0 g}{v_0^2} (\nabla U) + \nabla U \text{Grad} \frac{U^2}{2} - \frac{1}{v_0^2 \rho} \nabla U \text{Grad} P -$$

$$\frac{\left[\left(\left(\frac{\tau_{sh}}{\gamma} + \mu_r \right) + \frac{1}{4} \frac{\tau M(H)}{1 + (\tau \tau_s H M(H) / J)} \right) / \rho \right]}{v_0 l_0} (\nabla U) \cdot (\nabla \nabla U) -$$

$$\frac{\left[\left(\left(\frac{\tau_{sh}}{\gamma} + \mu_r \right) + \frac{1}{4} \frac{\tau M(H)}{1 + (\tau \tau_s H M(H) / J)} \right) / \rho \right]}{v_0 l_0} U (\nabla \nabla \nabla U).$$

В критериальном виде:

$$\frac{1}{W_0} \frac{\partial W}{\partial \tau} + U \nabla W =$$

$$= \frac{We_v}{U} \left[\frac{1}{Fr} \frac{g}{|g|} + \text{Grad} \frac{U^2}{2} - Eu \frac{\text{Grad} P}{P_\infty} - \frac{1}{Re} (\nabla \nabla U) \right] - \frac{1}{Re} U e_v (\nabla \nabla \nabla U),$$

где e_v – единичный вектор в направлении тока. Критерий гомотромности:

$$W_0 = \frac{v_0 t_0}{l_0}.$$

Критерий Фруда:

$$Fr = \frac{v_0^2}{l_0 g}.$$

Критерий Эйлера:

$$Eu = \frac{P}{v_0^2 \rho}.$$

Критерий Рейнольдса:

$$Re = \frac{v_0 l_0}{\left[\left(\left(\frac{\tau_{sh}}{\dot{\gamma}} + \mu_r \right) + \frac{1}{4} \frac{\tau M(H)}{1 + (\tau \tau_s H M(H) / J)} \right) / \rho \right]}.$$

Оценим влияние интенсивности завихренности k на скоростные характеристики потока:

$$rot v = kv; v\omega = kv^2; h = kv^2.$$

В безразмерном виде:

$$W = KU^2; W = \frac{h}{v_0^2} l_0; K = kl_0; U = |U| = \frac{v}{v_0};$$

$$v = |v|; h = v\omega = |v||\omega| \cos \alpha; \alpha = \pi n; \cos \alpha = \frac{k|v|}{|\omega|}.$$

Запишем уравнение сохранения энергии с учетом воздействия на поток электромагнитного поля [16–17]:

$$\begin{aligned} \rho \frac{d}{dt} \left(c_v T + \frac{v^2}{2} \right) &= \rho P_v v - \operatorname{div} \left\{ \rho v \left(i + \frac{v^2}{2} \right) - \right. \\ &- \left. \left(\left(\frac{\tau_{sh}}{\dot{\gamma}} + \mu_r \right) + \frac{1}{4} \frac{\tau M(H)}{1 + (\tau \tau_s H M(H) / J)} \right) \operatorname{grad} \left(v^2 + \frac{i}{Pr} \right) - \right. \\ &- \left. \left(\left(\frac{\tau_{sh}}{\dot{\gamma}} + \mu_r \right) + \frac{1}{4} \frac{\tau M(H)}{1 + (\tau \tau_s H M(H) / J)} \right) [\omega v] + \frac{2}{3} \mu \operatorname{div} v \right\} + F; \\ i = c_p T &= c_v T + P / \rho; Pr = \left(\left(\frac{\tau_{sh}}{\dot{\gamma}} + \mu_r \right) + \frac{1}{4} \frac{\tau M(H)}{1 + (\tau \tau_s H M(H) / J)} \right) c_p / \lambda; \\ F &= \frac{1}{4\pi} [\operatorname{rot} H \cdot H], \end{aligned}$$

где $c_v; c_p$ – удельная теплоемкость среды при постоянных объеме и давлении, T – температура, λ – теплопроводность, F – сила Лоренца [18]. Электродинамика рабочего процесса описывается системой уравнений Максвелла [18–20]:

$$\frac{\partial B}{\partial t} = \operatorname{rot}([v \cdot B] - E); \operatorname{rot} \frac{1}{\mu} B = 4\pi j;$$

$$\operatorname{div} B = 0; B = \mu H,$$

где H – напряженность магнитного поля, B – магнитная индукция, E – напряженность электрического поля, j – плотность тока, μ – магнитная проницаемость. Выразим электромагнитные параметры через векторный потенциал A :

$$B = \operatorname{rot} A; E = -\frac{\partial A}{\partial t} + [v \cdot \operatorname{rot} A];$$

$$\operatorname{rot} \frac{1}{\mu} B = -\operatorname{rot} \frac{1}{\mu} \operatorname{rot} A; B = B_m \sin(\omega_m t + \psi_m),$$

где B_m – вектор амплитуды индукции магнитного поля, ω_m – частота магнитного поля, ψ_m –

фаза. Улучшение динамики, снижение времени переходных процессов и увеличение глубины регулирования магнитореологических приводных систем возможно за счет оптимизации базовых физических параметров управляющего электромагнитного поля. Так как управление расходными характеристиками происходит посредством электромагнитного поля, приравняем скорость бегущего магнитного поля к скоростным параметрам потока магнитореологической среды. Очевидно, что скорость в магнитодинамической модели зависит от вектора амплитуды индукции магнитного поля и частоты магнитного поля. Поэтому проведем параметрическую оптимизацию рабочего процесса по частотно-фазовому принципу.

Результаты численного эксперимента и обсуждение результатов

Зададим изменения магнитной индукции управляющего поля по синусоидальному закону (рис. 2, 3).

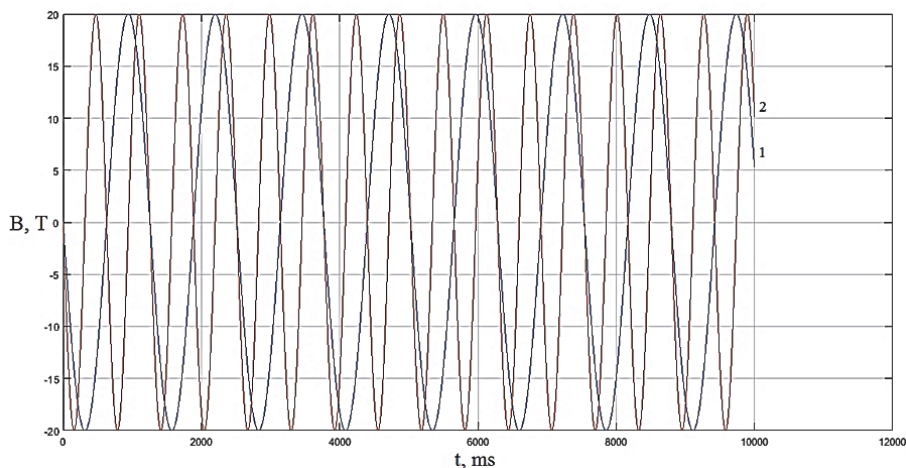


Рис. 2. Частотные характеристики индукции магнитного поля при значении частот 1: $\omega_m = 5\text{Hz}$; 2: $\omega_m = 10\text{Hz}$ и фазы, равной $\psi_m = \pi$

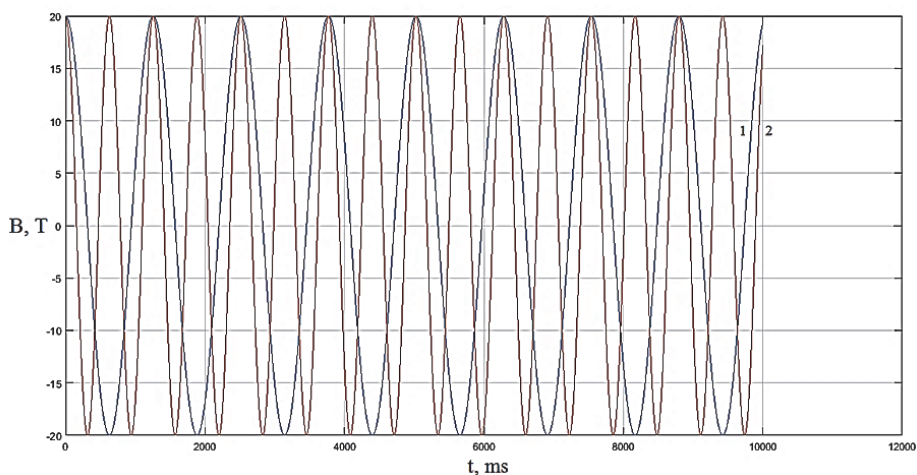


Рис. 3. Частотные характеристики индукции магнитного поля при значении частот 1: $\omega_m = 5\text{Hz}$; 2: $\omega_m = 10\text{Hz}$ и фазы, равной $\psi_m = \pi/2$

Создаваемое поле изменяется во времени, меняя направление вектора магнитной индукции на противоположное, принимая значения размагничивающего поля, позволяя производить размагничивание и последующее перемагничивание частиц магнетика. На основе заданных частотно-фазовых параметров получим значения скорости изменения спиральности потока, позволяющие оценить динамику изменения гидродинамического вихря в потоке (рис. 4–7). Расчетные графики динамики скорости изменения спиральности потока иллюстрируют существенную зависимость рассматриваемого параметра от частотных и фазовых характеристик управляющего электромагнитного поля, так как являются функцией частоты и скорости. Результаты численного моделирования показывают, что скорость изменения спиральности потока является хорошей мерой динамики скоростных параметров вихревого движения потока магнитореологической жидкости.

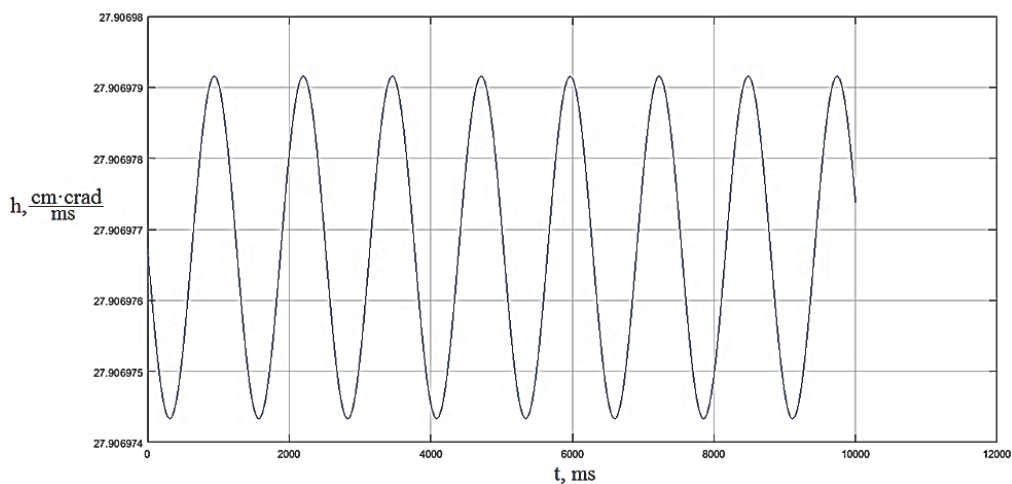


Рис. 4. Динамика скорости изменения спиральности потока при значении частоты $\omega_m = 5\text{Hz}$ и фазы, равной $\psi_m = \pi$

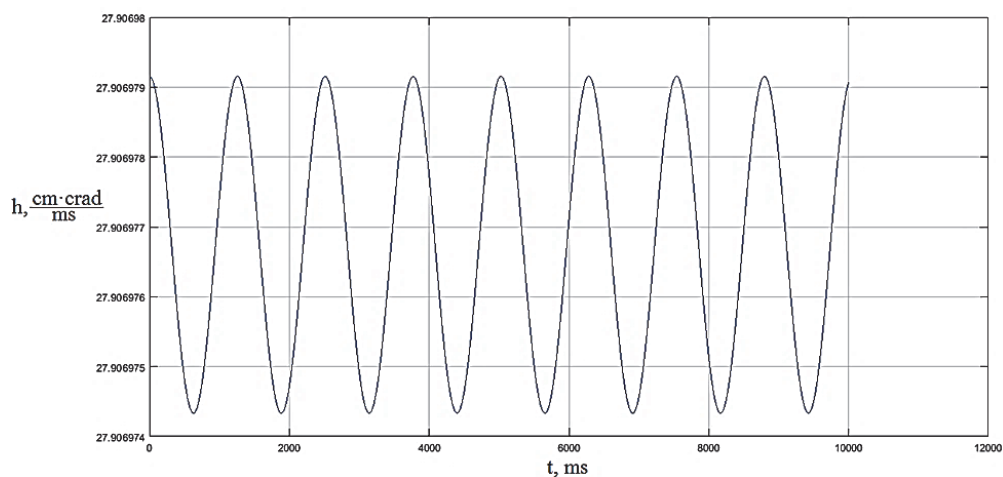


Рис. 5. Динамика скорости изменения спиральности потока при значении частоты $\omega_m = 5\text{Hz}$ и фазы, равной $\psi_m = \pi / 2$

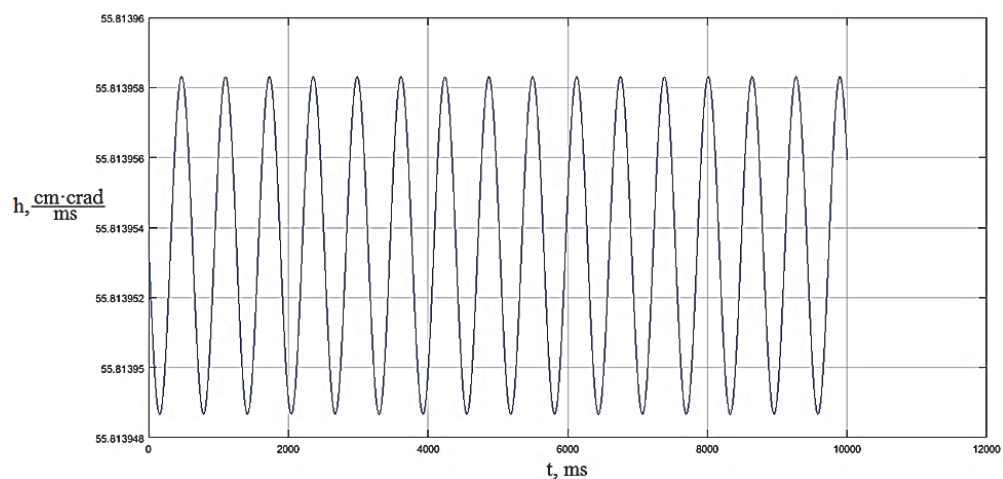


Рис. 6. Динамика скорости изменения спиральности потока при значении частоты $\omega_m = 10\text{Hz}$ и фазы, равной $\psi_m = \pi$

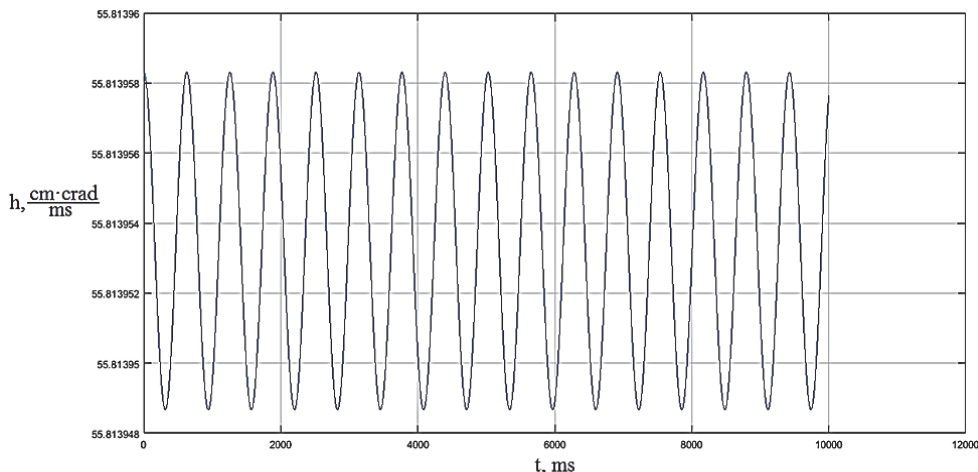


Рис. 7. Динамика скорости изменения спиральности потока при значении частоты $\omega_m = 10\text{Hz}$ и фазы, равной $\psi_m = \pi/2$

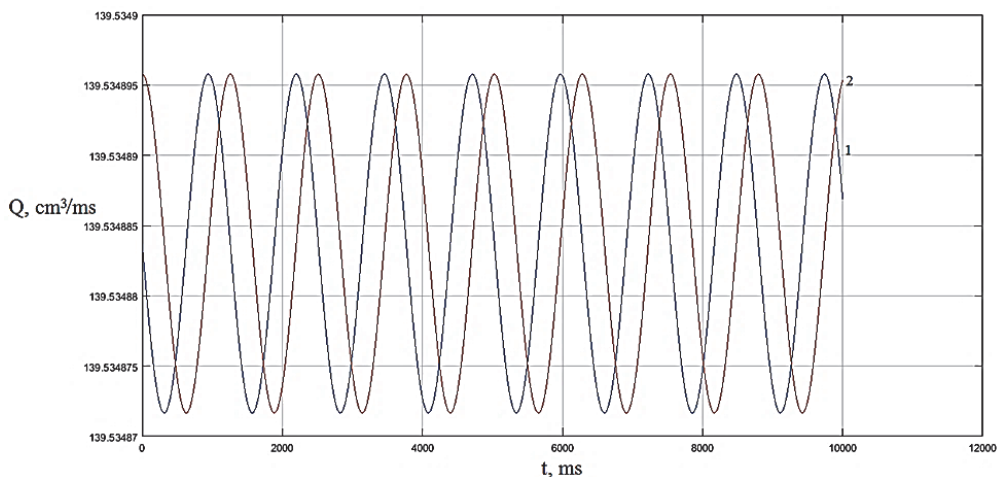


Рис. 8. Динамика изменения расхода при значении частоты $\omega_m = 5\text{Hz}$ и фаз 1: $\psi_m = \pi$; 2: $\psi_m = \pi/2$

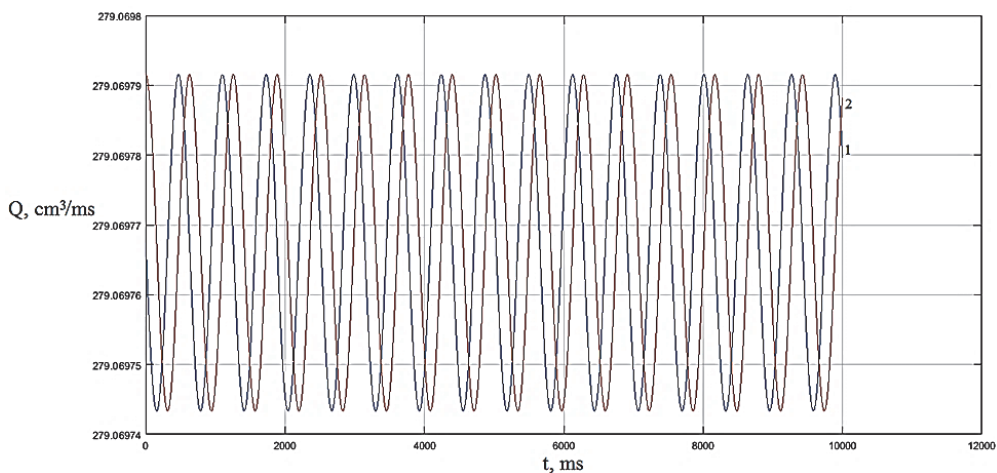


Рис. 9. Динамика изменения расхода при значении частоты $\omega_m = 10\text{Hz}$ и фаз 1: $\psi_m = \pi$; 2: $\psi_m = \pi/2$

Моделирование сигнала управления в качестве синусоиды значительно упрощает частотное регулирование рабочих параметров магнитоэологических и магнитодинамических устройств. На рис. 8–11 представлена динамика изменения расходных характеристик при фазовом регулировании. Очевидно, что динамические электромагнитные управляющие поля, в зависимости от

Численные методы моделирования

частоты, имеют выраженную нестабильность расходных характеристик (см. рис. 8, 9). Борьба с данной нестабильностью возможна путем частотно-фазовой модуляции (см. рис. 10–11). Хорошей стабильности расходных характеристик и общей динамики устройств можно добиться повышением частот управляющих полей и увеличением числа фаз блоков электромагнитного управления. Для магнитодинамических насосов оптимизация частотно-фазовых параметров базируется на предпочтительных или предельно допустимых значениях пульсации расходных характеристик. Рациональное повышение рабочих частот электромагнитного поля, в пределах допустимых значений исходя из времени, необходимого для сохранения релаксационных процессов частиц рабочей среды, а также увеличение количества фаз, число которых должно быть кратным трем, позволяют оптимизировать рабочие процессы магнитодинамических устройств. В случае магнитореологических устройств частотно-фазовые параметры выбираются путем согласования соотношения вязкостных и частотных характеристик. Повышение вязкости магнитореологической среды приводит к росту гидродинамического трения, высоким энергетическим потерям и снижению скоростных параметров потока.

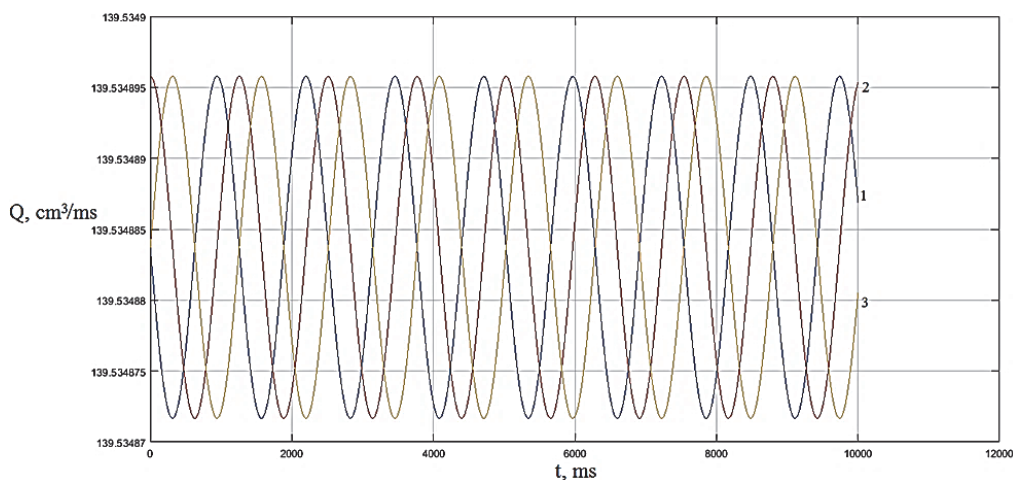


Рис. 10. Динамика изменения расхода при значении частоты $\omega_m = 5 \text{ Hz}$ и фаз 1: $\psi_m = \pi$; 2: $\psi_m = \pi/2$; 3: $\psi_m = 0$

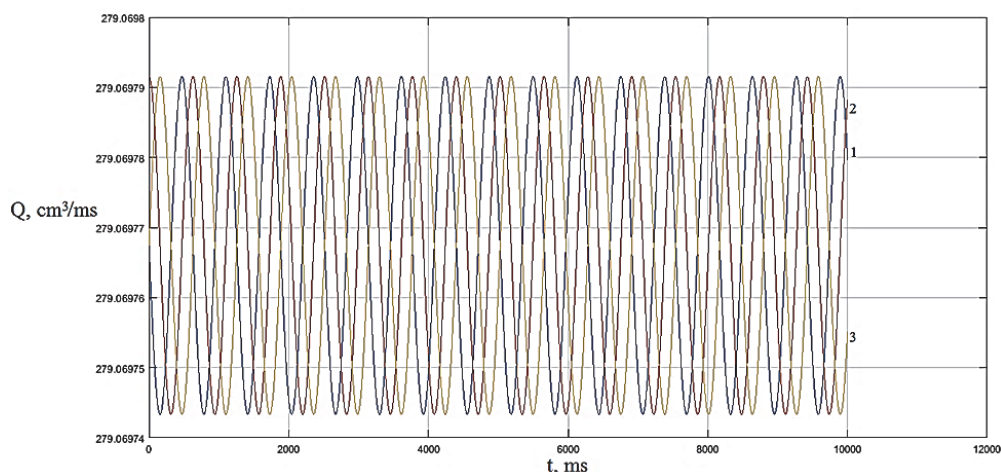


Рис. 11. Динамика изменения расхода при значении частоты $\omega_m = 10 \text{ Hz}$ и фаз 1: $\psi_m = \pi$; 2: $\psi_m = \pi/2$; 3: $\psi_m = 0$

Предложенный способ – частотно-фазовый способ оптимизации эффективен и промышленно применим. Параметр скорости изменения спиральности потока является хорошей качественной и количественной характеристикой вихревого течения потока магнитореологической среды.

Новизна. Разработан способ регулирования характеристик магнитореологических приводных систем, отличающийся от ранее известных тем, что для управления потоком рабочей среды применен комбинированный тип управления, реализованный за счет изменения вязкости и генерирова-

ния гидродинамических и реологических эффектов во вращающихся и винтовых управляющих электромагнитных полях. Произведена параметрическая оптимизация предложенного способа регулирования характеристик магнитореологических приводных систем по частотно-фазовому принципу с учетом параметра скорости изменения спиральности потока магнитореологической среды.

Выводы

Оптимизация рабочего процесса магнитореологических устройств, применяющих вращающиеся и винтовые управляющие электромагнитные поля по частотно-фазовому принципу, рациональна и высокоэффективна.

Предложенный способ позволяет улучшить динамику и глубину регулирования магнитореологических приводных систем.

При оптимизации рабочих характеристик магнитореологических устройств, применяющих вращающиеся и винтовые управляющие электромагнитные поля, целесообразно рассмотрение параметра – спиральность потока.

Литература

1. Балагуров, В.А. Проектирование электрических аппаратов авиационного электрооборудования / В.А. Балагуров, Ф.Ф. Галтеев, А.В. Гордон. – М.: Оборонгиз, 1960. – 515 с.

1. Пат. РФ № 2145394. Магнитожидкостное устройство для гашения колебаний / В.Н. Бурченков и др. – Оpubл. 10.02.2000, Бюл. № 4.

2. Пат. РФ № 2449188. Регулируемый магнитореологический пневматический амортизатор / А.Б. Корчагин и др. – Оpubл. 27.04.2012, Бюл. № 12.

3. Пат. РФ № 2232316 Магнитореологический амортизатор / Е.П. Гусев и др. – Оpubл. 27.10.2003, Бюл. № 30.

4. Пат. РФ № 2106551. Магнитореологический виброгаситель / Ю.Б. Кудряков и др. – Оpubл. 10.03.1998.

5. Пат. РФ № 2354867. Динамический гаситель / И.А. Яманин и др. – Оpubл. 10.05.2009, Бюл. № 13.

7. Беляев, А.В. Конвекция магнитной жидкости под действием переменного магнитного поля / А.В. Беляев, Б.Л. Смородин // Прикладная механика и техническая физика. – 2009. – Т. 50, № 4. – С. 18–27.

8. Лебедев, А.В. Динамика магнитной жидкости в переменных полях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.В. Лебедев. – Пермь: Ин-т механики сплошных сред Урал. отд-ния РАН, 2005.

9. Steven R.A. A Review of Power Harvesting Using Piezoelectric Materials / R.A. Steven, A.S. Henry // Smart Mater. Struct. – 2007. – Vol. 16, no. 1. – P. 43–50. DOI: 10.1088/0964-1726/16/3/R01

10. New Composite Elastomers with Giant Magnetic Response / A.V. Chertovich, G.V. Stepanov, E.Y. Kramarenko, A.R. Khokhlov // Macromolecular Materials and Engineering. – 2010. – Vol. 295, no. 4. – P. 336–341. DOI: 10.1002/mame.200900301

11. Magnetization reversal of Ferromagnetic Nanoparticles Induced by a Stream of Polarized Electrons / M.A. Kozhushner, A.K. Gatin, M.V. Grishin et al. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2016. – Vol. 414. – P. 38–44. DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.04.045

12. Magnetic Properties of Gamma-Fe₂O₃ Nanoparticles Obtained by Vaporization Condensation in a Solar Furnace / B. Martinez, A. Roig, X. Obradors // J. Appl. Phys. – 1996. – Vol. 79. – P. 2580–2586. DOI: 10.1063/1.361125

13. Патент № 2634163 РФ, МПК F15B 13/043, F15B 21/06. Магнитореологический привод прямого электромагнитного управления характеристиками потока верхнего контура гидравлической системы золотника / К.В. Найгерт, С.Н. Редников. – № 2015138981, заявл. 18.08.2014; опубл. 24.10.2017, Бюл. № 30.

14. Naigert, K.V. Hardware Implementation of Automatic Control System for New Generation Magnetorheological Supports / K.V. Naigert, V.A. Tselishev // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2019. – P. 2219–2228.

15. Naigert, K.V. New Generation Magnetorheological, Magnetodynamic, and Ferrofluid Control Devices with Nonstationary Electromagnetic Fields / K.V. Naigert, V.A. Tselishev // Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – 2019. – P. 1375–1384.

16. Митрофанова, О.В. Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок / О.В. Митрофанова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 288 с.

17. Такетоми, С. Магнитные жидкости / С. Такетоми, С. Тикадзуми. – М.: Мир, 1993. – 272 с.

18. Воронков, А.В. Математическое моделирование работы МГД-насоса / А.В. Воронков, М.П. Галанин, А.С. Родин // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2010. – № 51. – 36 с.

19. Гуревич, А.Г. Ферриты на сверхвысоких частотах / А.Г. Гуревич. – М.: Физматгиз, 1960. – 408 с.

20. Ландау, Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 512 с.

Найгерт Катарина Валерьевна, кандидат технических наук, докторант, кафедра «Автомобильный транспорт», Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, kathy_naigert@mail.ru.

Целищев Владимир Александрович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладной гидромеханики», Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, pgl.ugatu@mail.ru.

Поступила в редакцию 17 мая 2019 г.

DOI: 10.14529/engin190405

PARAMETRIC OPTIMIZATION OF WORKFLOW PROCESSES OF MAGNETORHEOLOGICAL DRIVE SYSTEMS

K.V. Naigert¹, kathy_naigert@mail.ru,

V.A. Tselishev², pgl.ugatu@mail.ru

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

²Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

The article describes the optimization option of workflow processes of magnetorheological drive systems, which apply the combined method of implementing regulation. Considered impact of flow helicity on flow characteristics of combined magnetodynamic device is a good qualitative and quantitative characteristic of eddy currents. At availability of differential electromagnetic control units, it is advisable the use of multiphase control algorithm and regulation of hydraulic resistance in working area of magnetorheological devices. Algorithm is carried out under depending on rate of changes in characteristics of electromagnetic field and frequency of differential electromagnetic control unit elements. Significant improvement in the dynamics and increase in the depth of regulation of magnetorheological drive systems is achieved by optimizing the parameters of the control electromagnetic field, it is obviously. Therefore, the direction of parametric optimization of the workflow in this work is chosen the frequency phase principle. Rationalization of parameter values is based on described numerical model of workflow of combined magnetodynamic device. Numerical simulation results illustrate the rationality of chosen optimization approach and prove the adequacy of the model, efficiency and good dynamics of combined control method in magnetorheological drive systems. Results of numerical simulations show also, that the rate of change in flow helicity values is a good measure of velocity parameters' dynamics of vortex motion of magnetorheological fluid flow in working cavities. The expediency of modeling the control signal in the form of a sine wave for magnetorheological and magnetodynamic devices is justified. Way to achieve the stability of flow rate and dynamics of magnetorheological and magnetodynamic devices with differential electromagnetic control units is demonstrated.

Keywords: combined magnetodynamic device, dynamics of magnetorheological drive systems.

References

1. Balagurov V.A., Galteev F.F., Gordon A.V. *Proyektirovaniye elektricheskikh apparatov aviatsionnogo elektrooborudovaniya* [Projecting of Electrical Apparatus of Aviation Electrical Equipment]. Moscow, 1960. 515 p.

2. Burchenkov V.N. et. al. *Magnitozhidkostnoye ustroystvo dlya gasheniya kolebaniy* [MR Device for Vibration Damping]. Patent RF, no. 2145394, 2000.
3. Korchagin A.B. et. al. *Magnitореологический амортизатор* [Adjustable Magnetorheological Pneumatic Damper]. Patent RF, no. 2449188, 2012.
4. Gusev E.P., Plotnikov A.M., Voevodov S.Yu. *Magnitореологический амортизатор* [MR Shock Absorber]. Patent RF, no. 2232316, 2003.
5. Kudryakov Yu.B. et. al. *Magnetorheological vibration damper* [MR Vibration Damper]. Patent RF, no. 2106551, 1998.
6. Yamanin I.A. et. al. *Dinamicheskiy gasitel'* [Dynamic Absorber]. Patent RF, no. 2354867, 2009.
7. Belyaev A.V., Smorodin B.L. [Convection of Magnetic Fluid under the Action of an Alternating Magnetic Field]. *Applied Mechanics and Technical Physics*, 2009, vol. 50, no. 4, pp. 18–27. (in Russ.)
8. Lebedev A.V. *Dinamika magnitnoy zhidkosti v peremennykh polyakh. Avtoref. dokt. diss.* [Magnetic Fluid Dynamics in Variable Fields. Abstract of Doct. Diss.]. Perm', 2005. 130 p.
9. Steven R.A., Henry A.S. A Review of Power Harvesting Using Piezoelectric Materials. *Smart Mater. Struct.*, 2007, vol. 16, no. 1, pp. 43–50. DOI: 10.1088/0964-1726/16/3/R01
10. Chertovich A.V., Stepanov G.V., Kramarenko E.Y., Khokhlov A.R. New Composite Elastomers with Giant Magnetic Response. *Macromolecular Materials and Engineering*, 2010, vol. 295, no. 4, pp. 336–341. DOI: 10.1002/mame.200900301
11. Kozhushner M.A., Gatin A.K., Grishin M.V. et al. Magnetization reversal of Ferromagnetic Nanoparticles Induced by a Stream of Polarized Electrons. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 2016, vol. 414, pp. 38–44. DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.04.045
12. Martinez B., Roig A., Obradors X. Magnetic Properties of Gamma-Fe₂O₃ Nanoparticles Obtained by Vaporization Condensation in a Solar Furnace. *J. Appl. Phys.*, 1996, vol. 79, pp. 2580–2586. DOI: 10.1063/1.361125
13. Naigert K.V., Rednikov S.N. *Magnitореологический привод прямого электромагнитного управления характеристиками потока верхнего контура гидравлической системы с гидравлическим мостиком* [The Magnetorheological Drive for Directly Electro-Magnetically Controlling Flow Characteristics of an Upper Contour of a Hydraulic System Which Includes a Hydraulic Bridge]. Patent RF, no. 2634166, 2017.
14. Naigert K.V., Tselishev V.A. Hardware Implementation of Automatic Control System for New Generation Magnetorheological Supports. *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019, pp. 2219–2228.
15. Naigert K.V., Tselishev V.A. New Generation Magnetorheological, Magnetodynamic, and Ferrofluid Control Devices with Nonstationary Electromagnetic Fields. *Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2018. Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019, pp. 1375–1384.
16. Mitrofanova O.V. *Gidrodinamika i teploobmen zakruchennykh potokov v kanalakh yadernо-energeticheskikh ustanovok* [Hydrodynamics and Heat Transfer of Swirling Flows in Channels of Nuclear Power Plants]. Moscow, 2010. 288 p.
17. Taketomi S., Tikadzumi S. *Magnitnyye zhidkosti* [The Magnetic Fluids]. Moscow, Mir Publ., 1993. 272 p.
18. Voronkov A.V., Galanin M.P., Rodin A.S. [Mathematical Modeling of the MHD Pump Operation]. *Preprint M.V. Keldysh*, 2010, no. 51. 36 p. (in Russ.)
19. Gurevich A.G. *Ferrity na sverkhvysokikh chastotakh* [Ferrites at Ultra-High Frequencies]. Moscow, Fizmatgiz, 1960. 408 p.
20. Landau L.D., Lifshitz E.M. *Teoriya polya* [Field Theory]. Moscow, Nauka Publ., 1988. 512 p.

Received 17 May 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Найгерт, К.В. Параметрическая оптимизация рабочих процессов магнитоореологических приводных систем / К.В. Найгерт, В.А. Целищев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 39–49. DOI: 10.14529/engin190405

FOR CITATION

Naigert K.V., Tselishev V.A. Parametric Optimization of Workflow Processes of Magnetorheological Drive Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Mechanical Engineering Industry*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 39–49. (in Russ.) DOI: 10.14529/engin190405