

УДК 681.5.033.5

ОБОБЩЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОГИДРОУСИЛИТЕЛЯ

П. В. ПЕТРОВ¹, А. А. КОЕВА², В. А. ЦЕЛИЩЕВ³

¹ pgl.petrov@mail.ru, ² kerargirit@rambler.ru, ³ pgl.ugatu@mail.ru

ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

Поступила в редакцию 4 апреля 2014 г.

Аннотация. Представлены обобщенные характеристики устойчивости и впервые построены обобщенные диаграммы динамического состояния нелинейных моделей ЭГУ с учетом некоторых нелинейных явлений. Полученные характеристики позволяют проводить обобщенный анализ и осуществлять предварительный синтез нелинейных систем типа ЭГУ. Также рассмотрено влияние на динамику ЭГУ присоединенного к золотнику объема, показана возможность получения более адекватной модели ЭГУ, основанной на фундаментальных законах сохранения и реализованной методами компьютерного моделирования.

Ключевые слова: математическое моделирование; численный эксперимент; система автоматического регулирования; обобщенная математическая модель; критерии подобия.

ВВЕДЕНИЕ

Электрогидравлические устройства (ЭГУ) являются типичными механотронными устройствами [1], где управление осуществляется быстросрабатывающей электрической частью, а исполнение – инерционным гидромеханическим двигателем. Поэтому согласование характеристик этих частей является первоначальной задачей исследователей.

Основное назначение ЭГУ – преобразование маломощного электрического импульса в мощный гидравлический сигнал; коэффициент усиления по мощности современных ЭГУ достигает 100–200. ЭГУ является ключевым устройством, определяющим в значительной мере статические и динамические характеристики электрогидравлического следящего привода (ЭГСП); производство ЭГУ находится на грани технических и технологических возможностей. В данной работе рассматривается электрогидравлический усилитель с упругой обратной связью (ЭГУ-2).

Характерными особенностями традиционного моделирования ЭГУ является, во-первых, линейность уравнений и, во-вторых, допущение о малой статической и динамической нагрузке

на золотнике. Во всех известных авторам моделях рассматривается лишь одно колебательное звено, описывающее процессы в электромеханическом преобразователе; золотник при этом считается безынерционным.

Предварительный анализ показал, что в реальных устройствах постоянная времени золотника значительно превышает постоянную времени ЭМП и, следовательно, динамика ЭГУ должна в значительной мере определяться свойствами золотника.

Конструктивное исполнение ЭГУ имеет много особенностей, которые могут оказывать существенное влияние на его характеристики. В данной статье рассмотрена одна из таких особенностей как присоединенные объемы, т. е. объемы, образованные вследствие особенностей технологического процесса изготовления корпуса электрогидроусилителя. Задачей данной статьи является исследование влияния этих объемов на характеристики устойчивости и управляемости ЭГУ (рис. 1, 2).

Линейная математическая модель ЭГУ [2] как правило, сводится к системе линейных дифференциальных уравнений третьего порядка, что позволяет выполнять анализ точности и управляемости, но лишь при малых сигналах и, конечно же, без учета упомянутых нелинейностей.

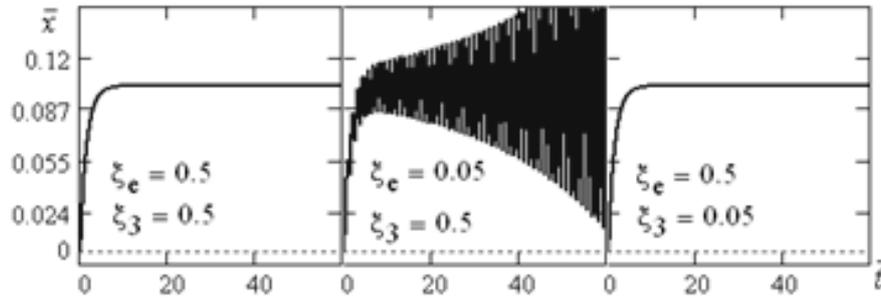


Рис. 1. Влияние коэффициента ξ_e при малых присоединенных объемах

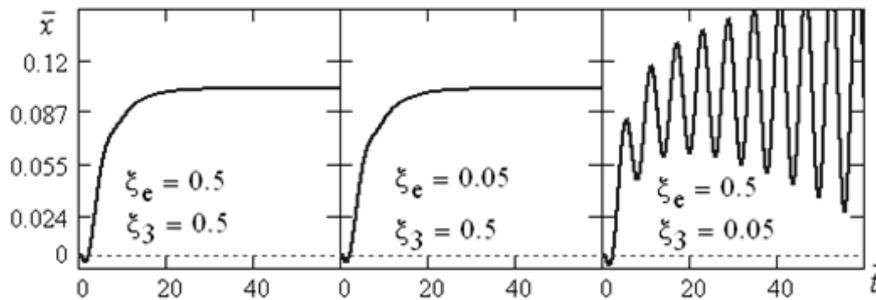


Рис. 2. Влияние коэффициента ξ_3 при больших присоединенных объемах

Алгоритмическое моделирование, основанное на фундаментальных законах сохранения, позволяет исследовать влияние различных факторов, в том числе существенных нелинейностей, согласовывать характеристики элементов системы и обоснованно выбирать их параметры.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭГУ

Конструктивное исполнение электрогидравлического усилителя (ЭГУ) имеет много особенностей, которые могут оказывать существенное влияние на его характеристики. К одной из таких особенностей можно отнести присоединенные объемы.

В настоящей статье приводится комплексное исследование ЭГУ с учетом влияния присоединенного объема. Присоединенный объем возникает вследствие технологических операций при изготовлении корпуса золотника. Для того чтобы выполнить полость под золотник, необходимо сделать дополнительные каналы, которые в дальнейшем закрываются заглушками. Эти каналы и образуют так называемый дополнительный присоединенный объем (рис. 3). Расчеты показывают, что фактический присоединенный объем оказывается намного больше расчетного, т. е. $V_0/V \gg 1$ ($V \approx f_3 \cdot x_m$).

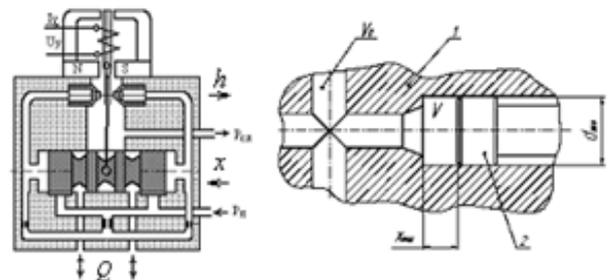


Рис. 3. Конструктивная схема ЭГУ

Комплексное исследование ЭГУ с учетом влияния присоединенного объема осуществляется по ранее разработанной модели ЭГУ в безразмерном виде [3].

При обобщении результатов численного исследования электрогидравлического усилителя (ЭГУ) получены обобщенные характеристики устойчивости [3], и впервые построены и исследованы обобщенные диаграммы динамического состояния нелинейных моделей ЭГУ с учетом влияния присоединенного объема.

В процессе исследования были определены зоны автомодельности. Выявлено, что при малых значениях присоединенных объемов (до 300) демпфирование ЭГУ возможно только за счет ЭМП, а коэффициент демпфирования золотника практически не оказывает никакого влияния на качество переходного процесса (рис. 1).

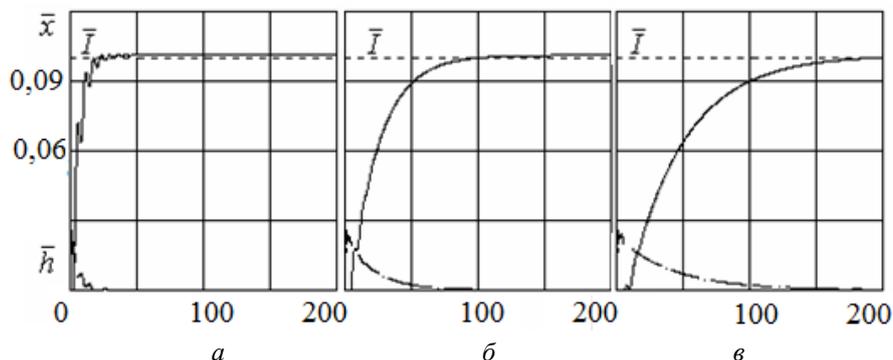


Рис. 4. Влияние присоединенного объема на переходные процессы:
 $\bar{V} = 1,67 \cdot 10^4$ (а); $\bar{V} = 8,33 \cdot 10^4$ (б); $\bar{V} = 1,67 \cdot 10^5$ (в)

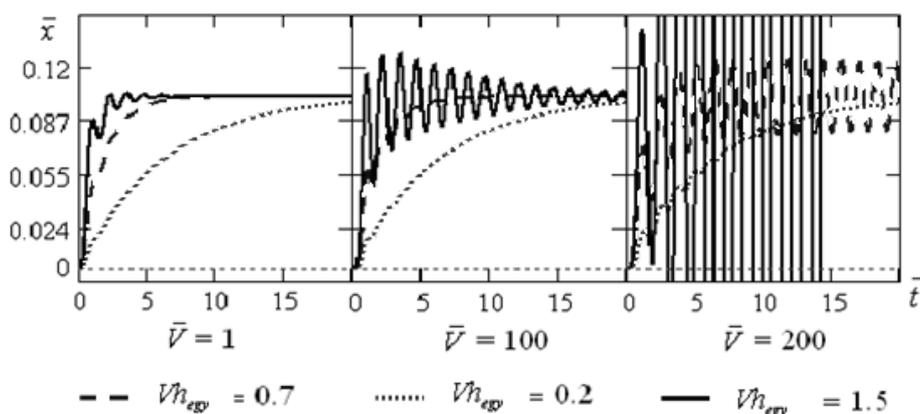


Рис. 5. Влияние присоединенного объема на переходные процессы при различных критериях Vh_{ey}

Анализ переходных процессов [4] показал, что влияние присоединенного объема, на первый взгляд, представляется весьма необычным. При последовательном изменении его от $\bar{V} = 1$ до 500–1000 устойчивость ЭГУ ухудшается, но при дальнейшем увеличении объема – увеличивается; другими словами, имеется некий диапазон присоединенных расходов ($\bar{V} \approx 500$ –1000), где условия устойчивости являются наилучшими.

Для малых объемов ($\bar{V} < 500$) демпфирование ЭГУ возможно только за счет ЭМП, а коэффициент демпфирования золотника практически не оказывает влияния на качество переходного процесса (рис. 1).

В случае больших объемов ($\bar{V} > 1000$), напротив, наиболее существенное демпфирование может осуществляться с помощью золотника. Влияние коэффициента демпфирования ЭМП в этом случае практически отсутствует (рис. 2).

Также здесь следует отметить, что на переходном процессе при больших присоединенных объемах отчетливо наблюдается возвратное движение золотника (см. рис. 2), обусловленное

действием ЭМП; на малых объемах (см. рис. 1) этот эффект отсутствует, по-видимому, из-за относительно больших градиентов давления.

Наличие области автомодельности по ξ_e в области больших присоединенных объемов и по ξ_s в области малых объемов позволяют строить однозначные границы устойчивости.

Увеличение присоединенного объема при больших $\bar{V} > 1000$ демпфирует систему, но одновременно ухудшает ее быстродействие.

Так на рис. 4 приведены переходные процессы с нарастающим присоединенным объемом. Видно, что колебательность уменьшается, а время переходного процесса увеличивается.

Увеличение присоединенного объема до $\bar{V} \approx 1000$ приводит к возникновению в системе колебательных процессов и уже при значениях присоединенных объемов $\bar{V} \approx 200$ система становится абсолютно неустойчивой (рис. 5). Комплекс Vh_{egy} , который определяется по формуле

$$Vh_{egy} = \frac{T_3 \cdot h_0}{T_{gy} \cdot x_m} = \frac{\sqrt{\frac{m_3}{C_{oc}}}}{f_3} \cdot \frac{h_0}{x_m} \cdot \frac{1}{(\mu \cdot b \cdot \sqrt{P_k / \rho})}$$

в данном случае является критерием быстродействия (относительная добротность привода) [3].

Увеличение присоединенного объема при больших объемах $\bar{V} > 1000$ демпфирует систему, но одновременно ухудшает ее быстродействие. В этом случае колебательность уменьшается, а время переходного процесса увеличивается.

Анализ переходных процессов [1] показал, что влияние больших присоединенных объемов, на первый взгляд, так же как и в предыдущем случае, представляется весьма неоднозначным. Так, если при изменении объемов от $\bar{V} = 1$ до 1000, устойчивость ЭГУ ухудшается. При дальнейшем увеличении значений присоединенных объемов $\bar{V} > 1000$ система становится вновь устойчивой; другими словами, имеется некий диапазон присоединенных объемов ($\bar{V} \approx 500 \dots 1000$), где условия устойчивости являются наилучшими. Отсюда следует, что увеличение присоединенного объема до больших значений демпфирует систему, но одновременно с этим ухудшает ее быстродействие.

ОБОБЩЕННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭГУ

Основной задачей исследования ЭГУ является получение безразмерной зависимости $\bar{x} = \bar{x}(\bar{J}, Vh_{egy}, T_{gy}, \xi_e, \xi_3)$ и построение на этой основе обобщенных критериальных динамических характеристик.

Предварительно система уравнений как обычно приводилась к форме Коши. В выражения вводились поправки на возможность появления обратных потоков и ограничения изменения $\bar{h}, \bar{x}, \bar{P}_3, \bar{P}_4$.

В работе рассматривается ЭГУ-2, отличающейся рядом преимуществ [2]. Его различные математические модели представлены во многих книгах [1]. Характерной особенностью рассматриваемых моделей является допущение о малой статической нагрузке на золотник (допущение о «свободно» плавающем золотнике). На основании этого хорошо аргументированного и не вызывающего сомнения положения следует допущение об отсутствии динамической нагрузки на золотнике. Поэтому все упомянутые

модели содержат по одному колебательному (ЭМП) и инерционному (гидроусилитель) контуру.

Однако предварительно выполненный анализ показал, что в реальных ЭГУ-2 механическая постоянная времени золотника соизмерима и даже превышает постоянную ЭМП, другими словами, динамика ЭГУ-2 в значительной мере определяется свойствами золотника.

Уравнения, описывающие баланс расходов в плечах гидравлического моста, записываются в обычном общепринятом виде [1]. Здесь для упрощения не учитывается гидравлическое сопротивление внутренних каналов сопел, не принимаются во внимание и некоторые другие подробности, связанные с конкретной конструкцией дроссельных управляющих устройств и кинематики ЭГУ.

Покажем, что применение обобщенных переменных позволяет существенно усилить результаты численных вычислений, придавая им в некоторых отношениях статус аналитических выражений.

Методика численного эксперимента включала в себя серии расчетов по безразмерным моделям и для различных значений определяющих критериев Vh, \bar{p}_Π и различных сигналов управления \bar{x} . Определяемыми критериями являлись коэффициент демпфирования – ξ , показатель быстродействия \bar{T}_1 и относительная скоростная ошибка $\bar{\varepsilon}_\infty$.

Так как система уравнений является очень простой, и значения параметров изменяются от нуля до единицы, то интегрирование выполнялось методом Рунге–Кутты с фиксированным шагом, используя математический пакет Mathcad 14.

В статье представлены серии расчетов по безразмерной модели с целью построения обобщенных характеристик в виде зависимостей определяемых критериев ξ и ξ_e от определяющих критериев $\bar{T}_{ГУ} = \frac{T_{ГУ}}{T_m}$; $\bar{T}_e = \frac{T_e}{T_m}$;

$T_m = \sqrt{\frac{m}{C_r}}$ и параметрических комплексов \bar{k}_{Fl} , \bar{k}_{px} , \bar{f} , $\frac{E}{p_k}$, $\frac{x_m}{h_0}$ на границе устойчивости. Так

как влияние параметров различно при различных присоединенных объемах, то исследование выполняется сначала для больших, а затем для малых объемов.

Обобщенные динамические характеристики привода строились путем обработки результа-

тов численных экспериментов в виде критериальных зависимостей $\xi = \xi(Vh)$ на границах одинакового качества регулирования, $\bar{T}_1 = T(Vh, p_{II})$ и $\bar{\varepsilon}_\infty = \varepsilon(Vh)$.

Границы, разделяющие области неустойчивых, устойчивых, монотонных и аperiodических переходных процессов, определялись визуально. Если граница устойчивости определяется очень точно (коэффициент демпфирования на границе устойчивости определяется с точностью до третьего знака после запятой), то границы монотонного и особенно аperiodического процессов определяются с погрешностью 0,5–2%.

Косвенную оценку быстродействия для не колебательных режимов можно выполнить в процессе интегрирования по формуле

$$\bar{T}_1 = \frac{\bar{y}(\infty)}{\max(\dot{v})},$$

где $\bar{y}(\infty)$ – полное перемещение; $\max(\dot{v})$ – максимальное значение скорости.

Так как рассматриваемая система имеет астатизм первого порядка, то статическая ошибка должна отсутствовать. Действительно, анализ модели показывает, что $\bar{y}(\infty) = \bar{x}/k_{oc}$, т. е. статическая ошибка отсутствует.

ОБОБЩЕННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭГУ ПРИ БОЛЬШИХ ПРИСОЕДИНЕННЫХ ОБЪЕМАХ

Наиболее существенное влияние на динамику ЭГУ, как указывалось в предварительном исследовании, оказывают определяющие критерии $\bar{T}_{ГУ}$ и \bar{T}_e . С ростом $1/\bar{T}_{ГУ}$ и \bar{T}_e требуемые значения коэффициента демпфирования золотника на границе устойчивости растут примерно пропорционально (см. рис. 6).

Данные на рис. 6 можно аппроксимировать с помощью зависимостей вида $\xi_3 = \frac{a}{\bar{T}_{ГУ}} + b$.

Значения коэффициентов представлены на рис. 7.

Границы устойчивости на рис. 6 построены при постоянном значении коэффициента демпфирования ЭМП ($\xi_e = 0,209$) в предположении существования области автомодельности, однако влияние этого коэффициента при больших присоединенных объемах хотя и незначительное, но имеет место. Так, на рис. 8 видно, что границы устойчивости ЭМП несколько расходятся по ξ_e .

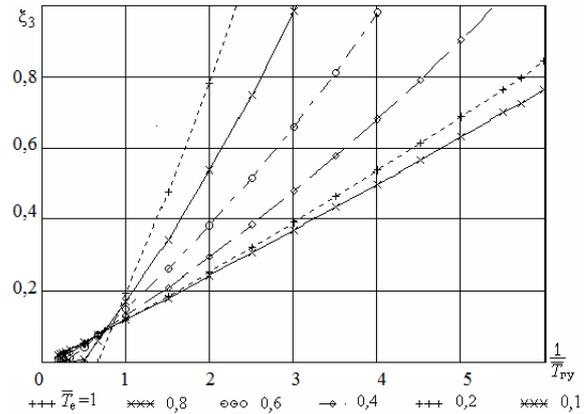


Рис. 6. Потребные значения коэффициента демпфирования золотника: $\bar{V} = 1,67 \cdot 10^4$; $\xi_e = 0,209$; $\bar{f} = 0,46$; $E/p_k = 10$;

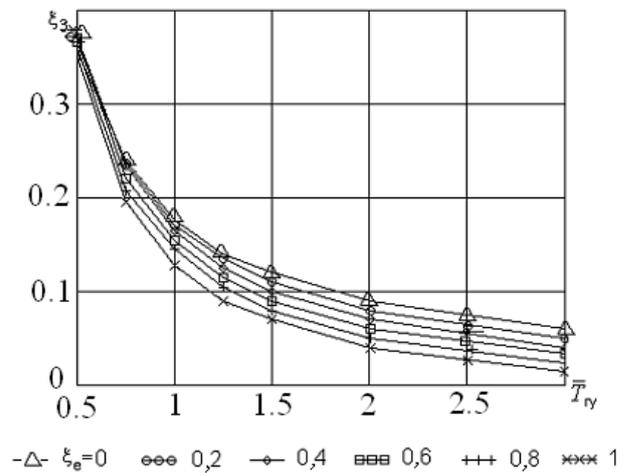


Рис. 7. Влияние ξ_e на границы устойчивости ЭМП

Существенное влияние на положение границ устойчивости (рис. 8) оказывает относительная площадь нерегулируемых дросселей. Здесь также точки соответствуют численному расчету, а пунктирные линии их аппроксимации по выражению: $\xi_e = 0,185 \cdot \frac{\bar{f}}{\bar{T}_{ГУ}}$.

В случае больших присоединенных объемов заметно влияние параметрического комплекса E/p_k (рис. 9).

Увеличение требуемых значений коэффициента демпфирования с увеличением комплекса связано с соответствующим ростом градиентов давления на торцах золотника. Следует иметь в виду, что модуль упругости и давление питания входят в другие комплексы, где их воздействие имеет противоположный характер. Быстродействие ЭГУ в случае аperiodических переход-

ных процессов можно условно оценить по соотношению: $\bar{T}_1 = \bar{T} / \bar{v}_{\max}$.

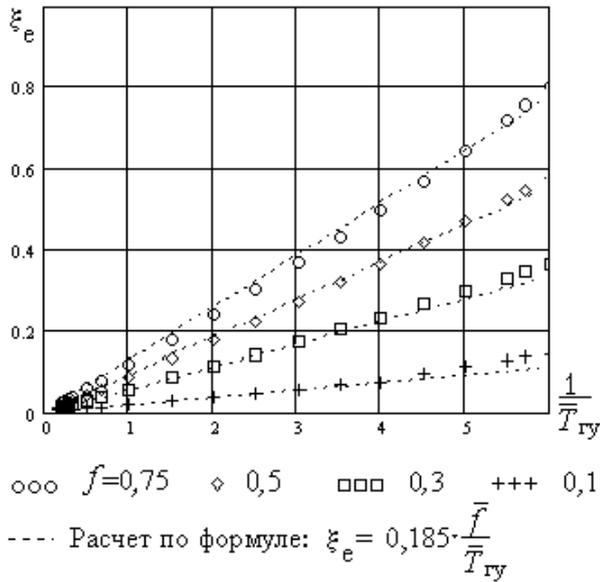


Рис. 8. Влияние относительной проводимости на границы устойчивости ($\bar{V} = 1,667 \cdot 10^4$; $\bar{T}_e = 0,2$; $E/p_k = 10$)

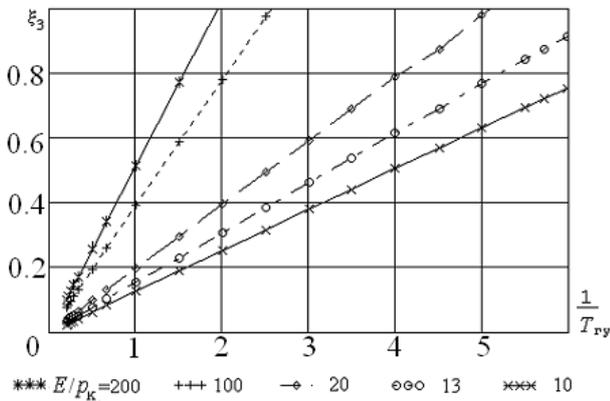


Рис. 9. Влияние комплекса E/p_k

В общем случае быстродействие определяется быстродействием ЭМП и гидроусилителя, однако как следует из рис. 10, в случае больших присоединенных объемов быстродействие даже увеличивается с ростом постоянной времени ЭМП.

ОБОБЩЕННЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭГУ ДЛЯ СЛУЧАЯ МАЛЫХ ПРИСОЕДИНЕННЫХ ОБЪЕМОВ

В случае малых присоединенных объемов устойчивость ЭГУ определяется коэффициентом демпфирования ЭМП, а влияние демпфирования золотника практически отсутствует. По-

этому границы устойчивости (рис. 11) определены в виде зависимостей ξ_e от относительных постоянных времени гидроусилителя и ЭМП; коэффициент демпфирования золотника принимался при этом равным нулю.

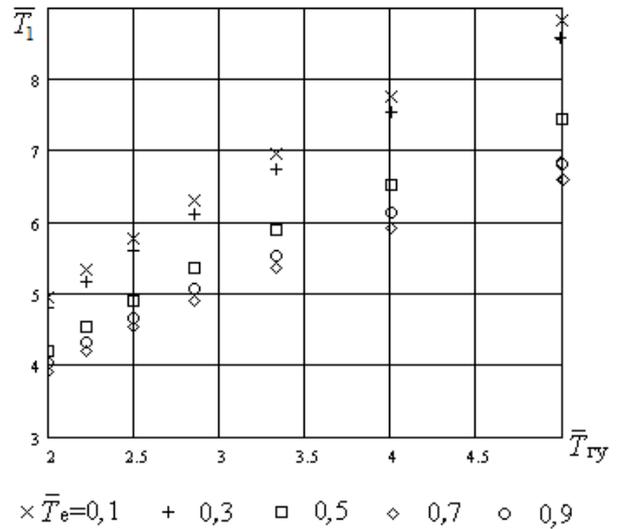


Рис. 10. Характеристика быстродействия ЭГУ при больших присоединенных объемах ($\bar{V} = 1,6667$; $\xi_e = 0,3$; $\bar{T}_e = 0,7$; $\gamma = 0,429$; $\bar{T} = 0,1$)

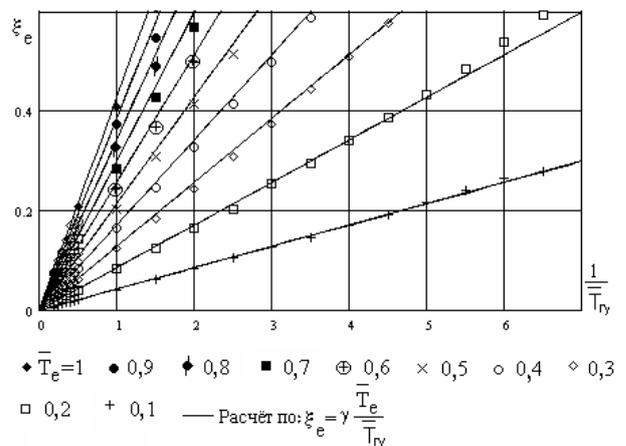


Рис. 11. Обобщенная характеристика устойчивости ЭГУ при малых присоединенных объемах ($\bar{V} = 1$; $\xi_3 = 0$; $\gamma = 0,429$; $\bar{f} = 0,46$; $\bar{T} = 0,1$)

На рис. 11 точками показаны значения коэффициента демпфирования для каждого сочетания постоянных времени, а линиями – соответствующая аппроксимация по эмпирической

формуле $\xi_e = \gamma \cdot \frac{\bar{T}_e}{\bar{T}_{Гу}}$, которая качественно совпадает с теоретическим выражением.

Существенное влияние на положение границ устойчивости (рис. 12) оказывает относительная площадь нерегулируемых дросселей. Здесь также точки соответствуют численному расчету, а пунктирные линии – их аппроксимации по выражению: $\xi_e = 0,185 \cdot \frac{\bar{f}}{T_{\Gamma y}}$.

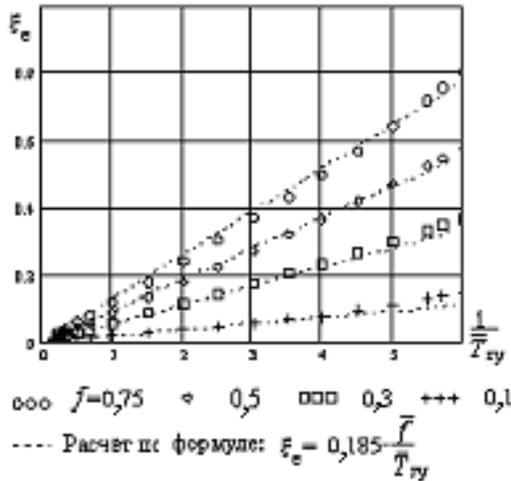


Рис. 12. Границы устойчивости при различной относительной площади нерегулируемых отверстий

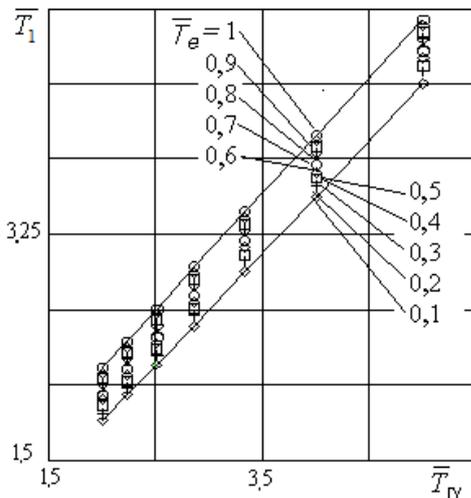


Рис. 13. Влияние постоянной времени ЭМП на быстродействие ЭГУ при малых присоединенных объемах ($\bar{V}=1$; $\xi_e = 0,3$; $\gamma = 0,429$; $\bar{T} = 0,1$)

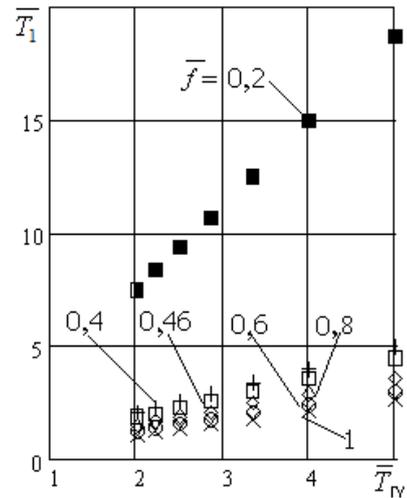


Рис. 14. Влияние относительной площади нерегулируемых отверстий на быстродействие ЭГУ при малых присоединенных объемах ($\bar{V}=1$; $\xi_e = 0,3$; $\gamma = 0,429$; $\bar{T} = 0,1$)

Следует отметить, что в отличие от больших присоединенных объемов влияние параметрического комплекса E/p_k на положение границы устойчивости в данном случае отсутствует.

Быстродействие в случае малых объемов значительно выше, чем при больших. С увеличением \bar{T}_e и уменьшением площади \bar{f} время \bar{T}_1 (показатель инерционности) увеличивается (рис. 13, 14).

ВЫВОДЫ

В данной работе, на примере рассмотрения динамики ЭГУ с учетом присоединенного объема, показана возможность получения более адекватной модели ЭГУ, чем при линейных аналитических методах исследования.

По результатам предварительного исследования установлено, что основными обобщенными координатами ЭГУ-2 являются $Vh_{егу}$, \bar{T}_e ; с использованием этих комплексов выполнено систематическое исследование и построены обобщенные динамические характеристики устойчивости электрогидроусилителя.

При обобщении результатов численного исследования получены обобщенные характеристики устойчивости [5] и впервые построены обобщенные диаграммы динамического состояния нелинейных моделей гидравлической системы с учетом некоторых нелинейных явлений. Данные диаграммы сравнимы с диаграммами Вышнеградского, которые разработаны для линейных систем. Они позволяют проводить

обобщенный анализ и осуществлять предварительный синтез нелинейных систем типа ЭГУ.

Для достижения максимальной чувствительности устройства следовало бы относительную площадь принимать равной единице, т. е. $\bar{f} = 1$. Однако из-за ограничения перепада давления на соплах в ЭГУ эта величина редко превышает 0,3–0,5. Кроме того, при изменении относительной проводимости необходимо корректировать значение давлений в плечах гидравлического потенциометра, которые, кстати, входят в начальные условия.

Таким образом, влияние различных факторов для больших и малых присоединенных объемов является весьма неоднозначным, поэтому систематическое исследование для этих случаев должно выполняться отдельно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров П. В., Целищев В. А. Основы алгоритмического моделирования нелинейных гидромеханических устройств: учеб. пособие. Уфа: УГАТУ, 2012. 137 с. [P. V. Petrov, V. A. Tselishev, *Bases of nonlinear hydromechanical devices algorithmic modeling*, (in Russian). Ufa: Ufa state aviation technical university, 2005.]

2. Коева А. А., Петров П. В., Целищев В. А. Концепция исследований устройств гидроавтоматики сложных энергетических систем // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 5 (50). С. 103–108. [А. А. Коева, P. V. Petrov, and V. A. Tselishev, "Concept of compound energy systems hydroautomatic devices researches," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 5 (50), pp. 103-108, 2012.]

3. Петров П. В., Целищев В. А., Коева А. А. Методические основы исследования систем автоматического регулирования авиационного двигателя // Вестник УГАТУ. 2012. Т. 16, № 8 (53). С. 7–14. [P. V. Petrov, V. A. Tselishev, and A. A. Koeva, "Methodical bases of aviation engine automatic control systems research," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 16, no. 8 (53), pp. 7-14, 2012.]

4. Петров П. В., Сунарчин Р. А., Целищев В. А., Коева А. А. Влияние нерастворенного воздуха на рабочие характеристики гидромеханического привода ЛА // Вестник УГАТУ. 2010. Т. 14, № 1 (36). С. 11–19. [P. V. Petrov, R. A. Sunarchin, V. A. Tselishev, and A. A. Koeva, "Influence of not dissolved air on performance data of aircraft hydromechanical drive," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 14, no. 1 (36), pp. 11-19, 2010.]

5. Петров П. В., Целищев В. А., Коева А. А. Автоматизация численного моделирования гидромеханических регуляторов двигателей летательных аппаратов // Вестник УГАТУ. 2011. Т. 15, № 4 (44). С. 143–148. [P. V. Petrov, V. A. Tselishev, and A. A. Koeva, "Numerical simulation automation of aircraft engines hydromechanical regulators," (in Russian), *Vestnik UGATU*, vol. 15, no. 4 (44), pp. 143-148, 2011.]

ОБ АВТОРАХ

ПЕТРОВ Павел Валерьевич, доц каф. прикладной гидромеханики. М-р техн. и технол. по гидравл., вакуумн. и компрес. технике (УГАТУ, 2006). Канд. техн. наук по гидравл. машинам и гидропневмоагр. (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. систем автоматики ЛА.

КОЕВА Анна Александровна, ст. преп. каф. прикладной гидромеханики. М-р техн. и технол. по гидравл., вакуумн. и компрес. технике (УГАТУ, 2009). Иссл. в обл. моделир. и диагностики устройств гидроавтоматики.

ЦЕЛИЩЕВ Владимир Александрович, проф., зав. каф. прикладной гидромеханики. Дипл. инж.-мех. (УАИ, 1982). Д-р техн. наук по тепл. двигателям (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. систем автоматики ЛА и двиг. установок; проектир. и моделир. струйных электрогидр. рулевых приводов для систем управления ЛА.

METADATA

Title: The generalised analysis of electrohydraulic booster dynamic characteristics.

Authors: P. V. Petrov¹, A. A. Koeva², V. A. Tselishev³

Affiliation:

Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

Email: ²kerargirit@rambler.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18 no. 3 (64), pp. 40-47, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: The stability generalized characteristics are presented and for the first time the dynamic condition generalized charts of electrohydraulic devices (EHD) nonlinear models taking into account some nonlinear phenomena are constructed. The received characteristics allow to carry out the generalized analysis and to carry out preliminary synthesis of EHD type nonlinear systems. In article influence on dynamics of EHD attached to a volume directional valve spool is also considered, receiving possibility more adequate EHD model based on fundamental laws of preservation and realized by computer modeling methods is shown.

Key words: mathematical modelling; numerical experiment; automatic control system; generalised mathematical model; criteria of similarity.

About authors:

PETROV, Pavel Valerievich, Assoc. Prof., Dept. of Applied hydromechanics. Master of Technics & Technology (UGATU, 2006). Cand. of Tech. Sci. (UGATU, 2009).

KOEVA, Anna Aleksandrovna, Assis. Prof., Dept. of Applied hydromechanics. Master of Technics & Technology (UGATU, 2009).

TSELISHEV, Vladimir Aleksandrovich, Prof., Head, Dept. of Applied hydromechanics. Dipl. Mech. Engineer (UGATU, 1982). Dr. of Tech. Sci. (UGATU, 2000).