

УДК 62-522.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ И РЕГУЛИРОВОЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВУХДРОССЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ НА СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РУЛЕВОЙ МАШИНЫ РАКЕТНОГО БЛОКА

© 2020 г. О. Б. Белоногов*

*Публичное акционерное общество Ракетно-космическая корпорация “Энергия”
им. С.П. Королева, Королев, Россия*

**e-mail: obelonogoff@mail.ru*

Поступила в редакцию 12.11.2019 г.

После доработки 28.11.2019 г.

Принята к публикации 29.11.2019 г.

В статье рассматриваются результаты исследований влияния конструкционных и регулировочных параметров двухдрессельного электрогидравлического усилителя на статические характеристики рулевой машины ракетного блока. Исследования проводятся с помощью итерационных методов статического анализа, включающих методы расчета статических характеристик автономной однокаскадной рулевой машины с двухдрессельным электрогидравлическим усилителем с отрицательным перекрытием дроссельных окон золотниковыми плунжерами. В результате исследований показывается, что рулевая машина обладает статической устойчивостью при вариации всех исследуемых параметров. Показывается, что угол наклона скоростной характеристики рулевой машины и ее ток трогания наиболее удобно регулировать вариацией параметра локальной толщины набегающей стенки гильзы (ведомой оси трехшестеренного насоса). Следовательно, с помощью вариации этого параметра можно регулировать коэффициент усиления рулевой машины и ее зону нечувствительности. Предлагаются конструкционные решения рулевой машины, позволяющие улучшить ее выходные характеристики и облегчить регулировку.

Ключевые слова: конструкционные и регулировочные параметры, электрогидравлический усилитель, рулевая машина, статические характеристики

DOI: 10.31857/S0002331019060037

ВВЕДЕНИЕ

Функцию исполнительных органов систем управления вектором тяги (СУВТ) жидкостных ракетных двигателей баллистических ракет, космических летательных аппаратов и их разгонных блоков (РБ) выполняют автономные однокаскадные аналоговые электрогидравлические рулевые машины (РМ), включающие электронасосный агрегат, электрогидравлический усилитель (ЭГУ) и силовой гидроцилиндр [1].

Двухдрессельный ЭГУ РМ (рис. 1) состоит из электромеханического узла управления (УУ) и двух простейших двухходовых золотниковых гидрораспределителей (ГР) [2–4], каждый из которых включает золотниковый плунжер и гильзу. В гильзе предусмотрены сквозные радиальные круглые отверстия, образующие вместе с золотниковым плунжером дроссельные окна сегментной формы.

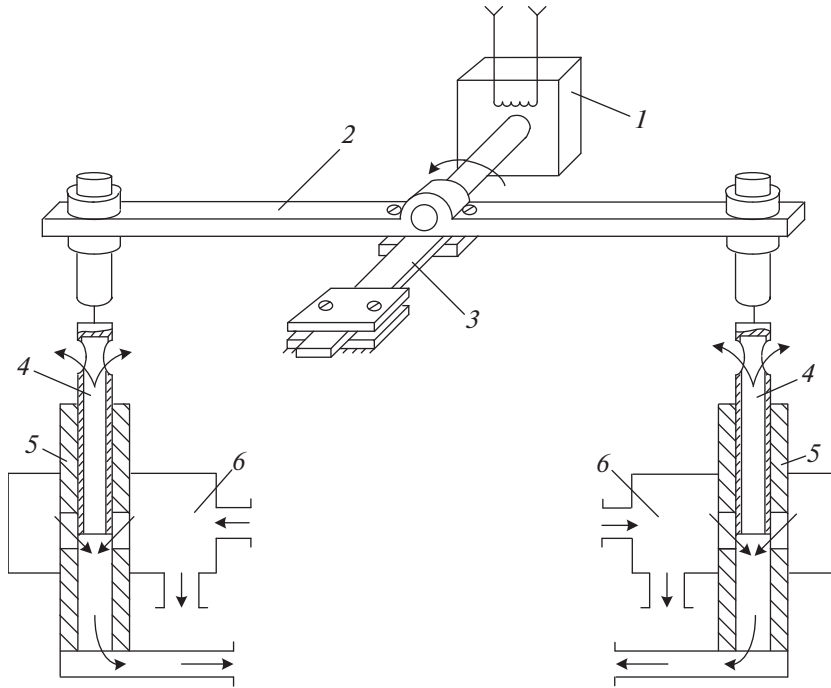


Рис. 1. Схема двухдроссельного электрогидравлического усилителя: 1 – электромеханический преобразователь-поляризованное реле; 2 – коромысло; 3 – плоская нагрузочная пружина; 4 – золотниковый плунжер; 5 – гильза (ось насоса); 6 – рабочая полость ЭГУ.

Основной конструктивной особенностью ЭГУ РМ является размещение золотниковых плунжеров в полых вращающихся осях трехшестеренных насосов, исполняющих роль гильз золотниковых ГР. Исследования рабочих процессов золотниковых ГР ЭГУ показали, что это решение положительно сказывается на функционировании РМ, так как сухое трение между золотником и гильзой в них практически полностью замещается вязким [5], а стационарная составляющая гидродинамической силы, действующей на золотниковые плунжеры, существенно уменьшается из-за изменения углов истечения потоков в дроссельных окнах и изменения их проводимости по сравнению с ГР, имеющими стационарные гильзы. Кроме этого, было установлено, что на углы истечения потоков в дроссельных окнах и коэффициенты их расхода влияют такие комплексные безразмерные параметры, как отношение линейной скорости кругового движения средней поверхности гильзы V_r к средней скорости течения потока рабочей жидкости в дроссельном окне V_o , а также отношение локальной толщины стенки гильзы в зоне дроссельного окна δ_r к ширине дроссельного окна b [7].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей проводимых исследований являлся поиск путей схемно-параметрической оптимизации по критерию электропотребления такого класса РМ. Важными параметрами для оптимизации РМ являются угол наклона ее скоростной характеристики и ток трогания. Поэтому целью исследований являлся поиск параметров, наиболее существенным образом влияющих на эти характеристики.

Исследования проводились посредством проведения статического анализа, включающего методы расчетов статических (скоростных и силовых) характеристик [6]. Для вычислительных экспериментов использовались математические модели статических режимов работы РМ с двухдроссельным электрогидравлическим усилителем, обеспечивающие погрешность расчетов статических характеристик не более $\pm 2\%$ в широком диапазоне температур и напряжений питания РМ [7].

В процессе проведения экспериментов исследовалось влияние на статические характеристики РМ вариаций следующих параметров:

- относительного коэффициента упругости плоской нагрузочной пружины УУ ЭГУ $\overline{K_{мп}}$, определяемого как $\overline{K_{мп}} = K_{мп} / K_{мп}^H$, где $K_{мп}$ – коэффициент упругости плоской нагрузочной пружины; $K_{мп}^H$ – номинальное значение коэффициента упругости плоской нагрузочной пружины;

- относительного начального открытия сливных дроссельных окон $\overline{X_{30}}$, определяемого как $\overline{X_{30}} = X_{30} / X_{30}^H$, где X_{30} – начальное открытие сливных дроссельных окон; X_{30}^H – номинальное значение начального открытия сливных дроссельных окон;

- относительного диаметра дроссельных отверстий в гильзе $\overline{d_o}$ при фиксированных значениях начальных площадей дроссельных окон, определяемого как $\overline{d_o} = d_o / d_o^H$, где d_o – диаметр дроссельных отверстий в гильзе, d_o^H – номинальное значение диаметра дроссельных отверстий в гильзе;

- количества дроссельных отверстий в гильзе n_o при фиксированных значениях начальных площадей дроссельных окон;

- относительной локальной толщины стенки гильзы в зоне дроссельного отверстия $\overline{\delta_r}$, определяемой как $\overline{\delta_r} = \delta_r / \delta_r^H$, где δ_r – локальная толщина стенки гильзы в зоне дроссельного отверстия; δ_r^H – номинальная локальная толщина стенки гильзы в зоне дроссельного отверстия.

ОПИСАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе проведения исследований определялось влияние указанных выше параметров на следующие статические характеристики РМ:

- скоростную характеристику РМ $V_{п} = f(i_k)$ при противодействующей нагрузке на штоке 1000 Н, где $V_{п}$ – скорость движения поршня РМ, i_k – командный ток;

- силовую характеристику РМ $F_{п} = f(i_k)$, где $F_{п}$ – усилие, развиваемое штоком поршня РМ;

- зависимость гидравлической силы F_r , действующей на золотниковые плунжеры, от перемещения золотникового плунжера X_3 при противодействующей нагрузке на штоке 1000 Н и при полностью заторможенном поршне $F_r = f(X_3)$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ

- Влияние относительного коэффициента упругости плоской нагрузочной пружины узла управления ЭГУ $\overline{K_{мп}}$ на статические характеристики РМ иллюстрируется рис. 2, на котором представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных при вариации указанного параметра.

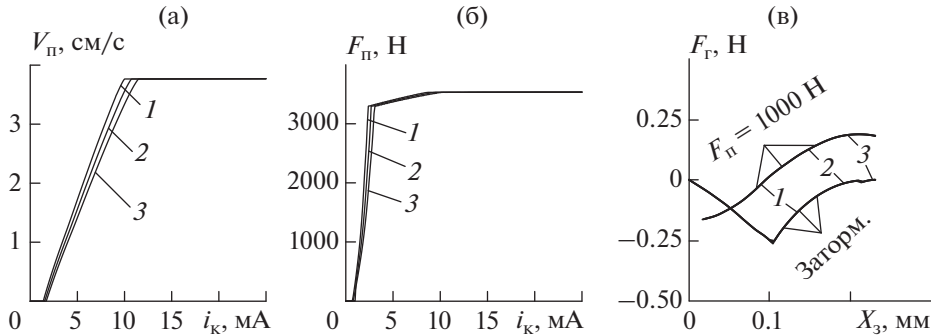


Рис. 2. Влияние $\overline{K_{мп}}$ на статические характеристики РМ. (а) Влияние $\overline{K_{мп}}$ на $V_p = f(i_k)$; (б) влияние $\overline{K_{мп}}$ на $F_p = f(i_k)$; (в) влияние $\overline{K_{мп}}$ на $F_r = f(X_3)$. 1 – $\overline{K_{мп}} = 0.91666$; 2 – $\overline{K_{мп}} = 1.00000$; 3 – $\overline{K_{мп}} = 1.08333$.

Анализ влияния параметра $\overline{K_{мп}}$

Как видно из графиков статических характеристик РМ, представленных на рис. 2а, вариация параметра $\overline{K_{мп}}$ приводит к одновременному смещению скоростной характеристики по оси i_k и изменению угла ее наклона к этой оси, при этом уменьшение $\overline{K_{мп}}$ приводит к уменьшению тока трогания РМ, которое сопровождается увеличением угла наклона скоростной характеристики, а увеличение $\overline{K_{мп}}$ приводит к увеличению тока трогания, которое сопровождается уменьшением угла наклона скоростной характеристики, т.е. приводит к обратному эффекту.

Из рассмотрения графиков статических характеристик, представленных на рис. 2б, видно, что вариация параметра $\overline{K_{мп}}$ приводит к некоторому изменению крутизны силовой характеристики РМ, при этом уменьшение исследуемого параметра приводит к увеличению крутизны.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 2в, можно увидеть, что вариация параметра $\overline{K_{мп}}$ практически не влияет на значения гидравлической силы как при противодействующей нагрузке на штоке РМ 1000 Н, так и при заторможенном поршне РМ. А из рассмотрения графиков зависимостей $F_r = f(X_3)$ при заторможенном поршне видно, что все характеристики выходят из начала координат. Это означает, РМ обладает статической устойчивостью при вариации параметра $\overline{K_{мп}}$.

- Влияние относительного начального открытия сливных дроссельных окон $\overline{X_{30}}$ на статические характеристики РМ иллюстрируется рис. 3, на котором представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных при вариации указанного параметра.

Анализ влияния параметра $\overline{X_{30}}$

Как видно из графиков статических характеристик РМ, представленных на рис. 3а, вариация параметра $\overline{X_{30}}$ приводит к небольшому изменению угла наклона скоростной характеристики РМ к оси i_k , при этом уменьшение $\overline{X_{30}}$ приводит к уменьшению тока трогания РМ, а увеличение $\overline{X_{30}}$ – к его увеличению. Необходимо отметить, что изменение угла наклона скоростной характеристики к оси i_k при вариации исследуемого параметра сравнительно мало.

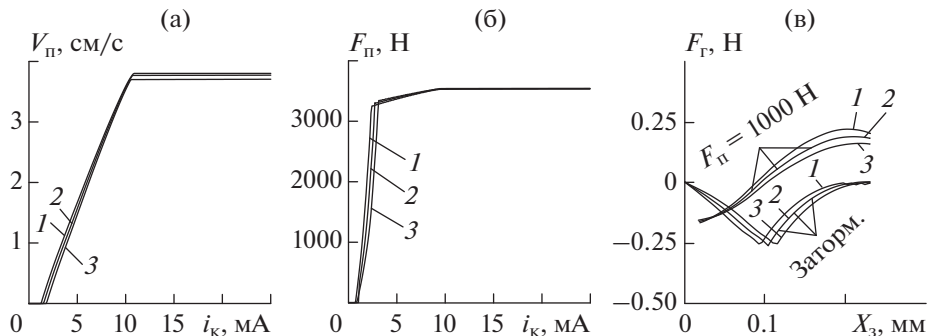


Рис. 3. Влияние $\overline{X}_{30}$ на статические характеристики РМ. (а) Влияние $\overline{X}_{30}$ на $V_{\text{п}} = f(i_{\text{к}})$; (б) влияние $\overline{X}_{30}$ на $F_{\text{п}} = f(i_{\text{к}})$; (в) влияние $\overline{X}_{30}$ на $F_{\text{г}} = f(X_3)$. 1 – $\overline{X}_{30} = 0.95833$; 2 – $\overline{X}_{30} = 1.00000$; 3 – $\overline{X}_{30} = 1.04166$.

Из рассмотрения графиков статических характеристик, представленных на рис. 3б, видно, что вариация параметра X_{30} приводит к некоторому изменению крутизны силовой характеристики РМ, при этом уменьшение исследуемого параметра приводит к увеличению крутизны. Влияние этого параметра на величину зоны нечувствительности силовой характеристики незначительно.

Рассмотрев графики зависимостей $F_{\text{г}} = f(X_3)$, представленные на рис. 3в, можно увидеть, что увеличение параметра $\overline{X}_{30}$ при противодействующей нагрузке на штоке РМ 1000 Н приводит к увеличению гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а уменьшение параметра $\overline{X}_{30}$ приводит к уменьшению значений этой силы. А из рассмотрения графиков зависимостей $F_{\text{г}} = f(X_3)$ при заторможенном поршне видно, что при уменьшении параметра $\overline{X}_{30}$ величина отрицательной гидравлической силы по модулю несколько увеличивается, при этом все характеристики выходят из начала координат. Это означает, что РМ при вариации параметра $\overline{X}_{30}$ обладает статической устойчивостью.

- Влияние относительного диаметра дроссельных отверстий в гильзе $\overline{d}_0$ при фиксированных начальных площадях дроссельных окон на статические характеристики РМ иллюстрируется рис. 4, на котором представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных при вариации указанного параметра.

Анализ влияния параметра $\overline{d}_0$

Как видно из графиков статических характеристик РМ, представленных на рис. 4а, вариация параметра $\overline{d}_0$ приводит к почти параллельному смещению скоростной характеристики по оси $i_{\text{к}}$, при этом уменьшение $\overline{d}_0$ приводит к увеличению тока трогания РМ, а увеличение $\overline{d}_0$ приводит к уменьшению тока трогания, т.е. приводит к обратному эффекту.

Из рассмотрения графиков статических характеристик, представленных на рис. 2б, видно, что вариация параметра $\overline{d}_0$ приводит к некоторому изменению крутизны силовой характеристики РМ, при этом увеличение исследуемого параметра приводит к увеличению крутизны. Влияние этого параметра на величину зоны нечувствительности силовой характеристики незначительно.

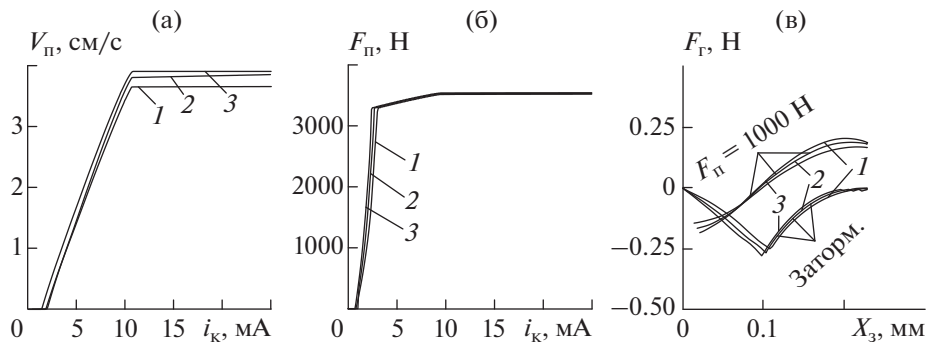


Рис. 4. Влияние $\bar{d}_0$ на статические характеристики РМ. (а) Влияние $\bar{d}_0$ на $V_p = f(i_k)$; (б) влияние $\bar{d}_0$ на $F_p = f(i_k)$; (в) влияние $\bar{d}_0$ на $F_r = f(X_3)$. 1 – $\bar{d}_0 = 0.85714$; 2 – $\bar{d}_0 = 1.00000$; 3 – $\bar{d}_0 = 1.14285$.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 4в, можно увидеть, что увеличение параметра $\bar{d}_0$ при противодействующей нагрузке на штоке РМ 1000 Н приводит к уменьшению гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а уменьшение параметра $\bar{d}_0$ приводит к увеличению значений этой силы.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 4в при заторможенном поршне, можно увидеть, что уменьшение параметра $\bar{d}_0$ приводит к уменьшению по модулю отрицательной гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а увеличение параметра $\bar{d}_0$ приводит к увеличению по модулю значений этой силы, при этом все характеристики выходят из начала координат. Это означает, что РМ при вариации параметра $\bar{d}_0$ обладает статической устойчивостью.

- Влияние количества дроссельных отверстий в гильзе n_0 при фиксированных начальных площадях дроссельных окон на статические характеристики РМ иллюстрируется рис. 4, на котором представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных при вариации указанного параметра.

Анализ влияния параметра n_0

Как видно из графиков статических характеристик РМ, представленных на рис. 5а, вариация параметра n_0 приводит к одновременному смещению скоростной характеристики по оси i_k и изменению угла ее наклона к этой оси, при этом уменьшение n_0 приводит к увеличению тока трогания РМ, которое сопровождается уменьшением угла наклона скоростной характеристики, а увеличение n_0 приводит к уменьшению тока трогания, которое сопровождается увеличением угла наклона скоростной характеристики, т.е. приводит к обратному эффекту. Необходимо отметить, что изменение угла наклона скоростной характеристики к оси i_k при вариации исследуемого параметра сравнительно мало.

Из рассмотрения графиков статических характеристик, представленных на рис. 5б, видно, что вариация параметра n_0 приводит к значительному изменению крутизны силовой характеристики РМ, при этом увеличение исследуемого параметра приводит к увеличению крутизны.

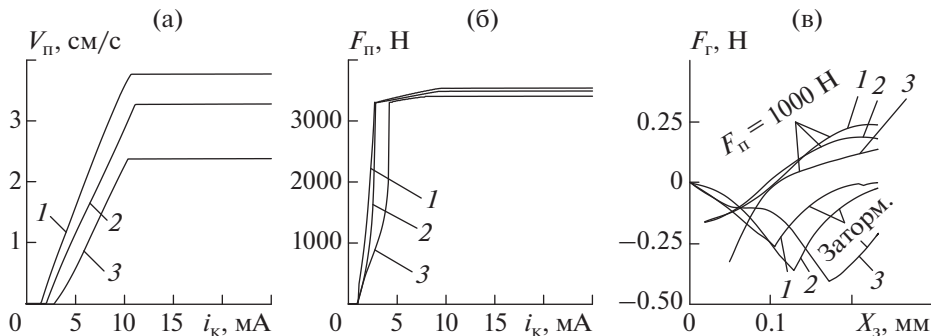


Рис. 5. Влияние n_0 на статические характеристики Р. (а) Влияние n_0 на $V_n = f(i_k)$; (б) влияние n_0 на $F_n = f(i_k)$; (в) влияние n_0 на $F_r = f(X_3)$. 1 – $n_0 = 4$; 2 – $n_0 = 3$; 3 – $n_0 = 2$.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 5в, можно увидеть, что увеличение параметра n_0 при противодействующей нагрузке на штоке РМ 1000 Н приводит к увеличению гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а уменьшение параметра n_0 приводит к уменьшению значений этой силы.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 5в при заторможенном поршне, можно увидеть, что уменьшение параметра n_0 приводит к значительному увеличению по модулю отрицательной гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а увеличение параметра n_0 приводит к уменьшению по модулю значений этой силы, при этом все характеристики выходят из начала координат. Это означает, что РМ при вариации параметра n_0 обладает статической устойчивостью.

- Влияние относительной локальной толщина стенки гильзы в зоне дроссельного отверстия $\bar{\delta}_r$ на статические характеристики РМ иллюстрируется рис. 6, на котором представлены результаты вычислительных экспериментов, проведенных при вариации указанного параметра.

Анализ влияния параметра $\bar{\delta}_r$

Как видно из графиков статических характеристик РМ, представленных на рис. 6а, уменьшение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к уменьшению угла наклона скоростной характеристики к оси i_k и к уменьшению тока трогания, а увеличение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к обратному эффекту. Из рассмотрения графиков статических характеристик, представленных на рис. 6б, видно, что уменьшение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к увеличению крутизны силовой характеристики РМ и уменьшению зоны нечувствительности силовой характеристики, а увеличение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к обратному эффекту.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 6в, можно увидеть, что уменьшение параметра $\bar{\delta}_r$ при противодействующей нагрузке на штоке РМ 1000 Н приводит к увеличению гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а увеличение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к уменьшению значений этой силы.

Рассмотрев графики зависимостей $F_r = f(X_3)$, представленные на рис. 5в при заторможенном поршне, можно увидеть, что уменьшение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к значи-

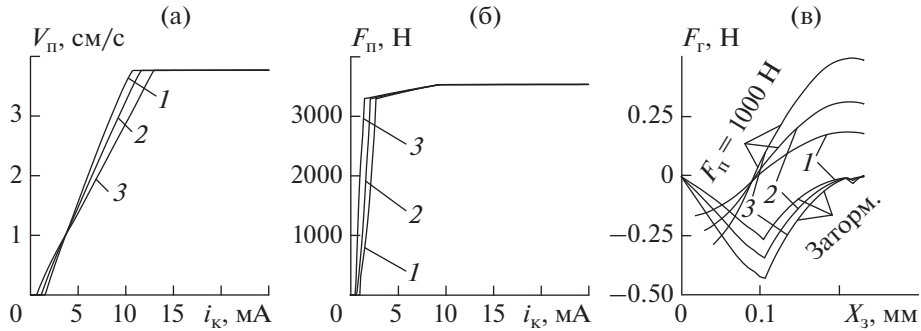


Рис. 6. Влияние $\bar{\delta}_r$ на статические характеристики РМ. (а) Влияние $\bar{\delta}_r$ на $V_{\Pi} = f(i_K)$; (б) влияние $\bar{\delta}_r$ на $F_{\Pi} = f(i_K)$; (в) влияние $\bar{\delta}_r$ на $F_r = f(X_3)$. 1 – $\bar{\delta}_r = 1.0000$; 2 – $\bar{\delta}_r = 0.9375$; 3 – $\bar{\delta}_r = 0.8750$.

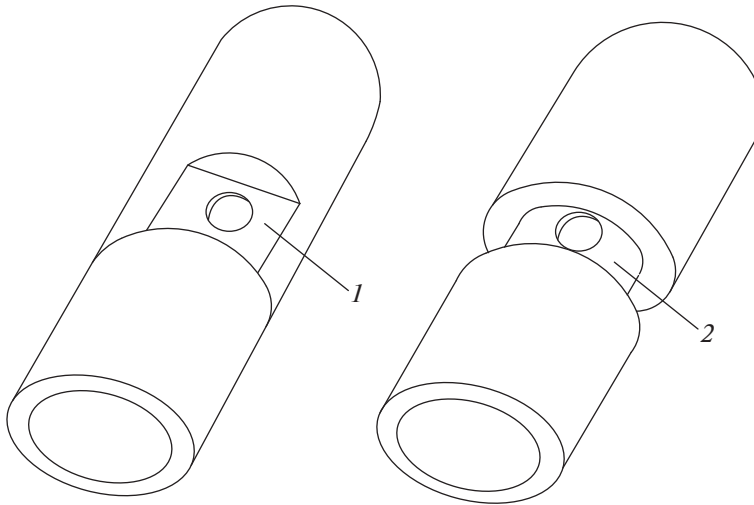


Рис. 7. Конструктивно-технические решения гильз. 1 – паз (патент RU 2240260 C2); 2 – кольцевая канавка (патент RU 2293687 C2).

тельному увеличению по модулю отрицательной гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, а увеличение параметра $\bar{\delta}_r$ приводит к уменьшению по модулю значений этой силы, при этом все характеристики выходят из начала координат. Это означает, что РМ при вариации параметра $\bar{\delta}_r$ также обладает статической устойчивостью.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных исследований выявлено, что РМ с двухдроссельным ЭГУ при вариации всех исследованных параметров обладает статической устойчивостью. Анализ влияния на статические характеристики РМ вариаций исследованных параметров показывает, что повысить чувствительность РМ (уменьшить ток трогания) и

обеспечить требуемый коэффициент усиления РМ (изменить угол наклона скоростной характеристики) возможно путем вариации нескольких параметров. Однако одновременно повысить чувствительность РМ и обеспечить требуемый коэффициент ее усиления возможно только вариацией параметра $\overline{\delta_r}$. Кроме этого, вариация этого параметра удобна еще и тем, что подразумевает введение конструкционного изменения, которое будет автоматически работать на всех изготавливаемых РМ.

Для практической реализации полученного результата исследований предложены новые конструкционно-технические решения РМ, заключающиеся в том, что вращающиеся гильзы золотниковых плунжеров ЭГУ в зоне дроссельных отверстий содержат пазы [8] (рис. 6а) или кольцевые канавки [9] (рис. 6б), уменьшающие локальную толщину стенок вращающихся гильз. В результате их воздействие на потоки в дроссельных окнах ослабляется, способствуя увеличению гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, за счет чего уменьшается угол наклона скоростной характеристики РМ и уменьшается ее зона нечувствительности, характеризующаяся током трогания.

Указанные конструкционно-технические решения были внедрены в процесс производства рулевых машин, устанавливаемых в маршевые двигатели разгонных блоков типа ДМ-SL (проект “Морской старт”), ДМ-SLB (проект “Наземный старт”) и на новых вариантах типа ДМ [10].

Внедрение этих решений в производство полностью подтвердило результаты исследований и позволило существенно облегчить регулировку РМ в цехе-изготовителе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В итоге проведенных исследований получены следующие основные результаты:

- установлено, что РМ с двухдроссельным ЭГУ обладает статической устойчивостью при вариации всех исследованных параметров;
- установлено, что повысить чувствительность РМ (уменьшить ток трогания) и обеспечить требуемый коэффициент усиления РМ (изменить угол наклона скоростной характеристики) наиболее удобно вариацией локальной толщины стенки гильзы в зоне дроссельного отверстия.

Вывод по результатам проведенных в работе исследований:

- для управления наклоном скоростной характеристики РМ и зоной ее нечувствительности предложены конструкционно-технические решения РМ, заключающиеся в том, что вращающиеся гильзы золотниковых плунжеров ЭГУ (оси ведомых шестерен трехшестеренного насоса) в зоне дроссельных отверстий содержат или пазы или кольцевые канавки, уменьшающие локальную толщину стенок вращающихся гильз, в результате чего их воздействие на потоки в дроссельных окнах ослабляется, способствуя увеличению гидравлической силы, действующей на золотниковые плунжеры, благодаря чему уменьшается угол наклона скоростной характеристики РМ и уменьшается ее ток трогания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kudryavtsev V.V., Stepan G.A., Shutenko V.I., Chertok B.E. The rocket steering actuators. IAC'94 International Aerospace congress. Theory, Applications, Technologies. Abstracts. August 15–19, 1994, Moscow, Russia.
2. Мелкозеров П.С. Приводы в системах автоматического управления (энергетический расчет и выбор параметров) М.—Л.: Энергия, 1966. 334 с.
3. Weule H. Eine Durchfluggleichung für den laminar-turbulenten Stromungsbereich // Olhydraulik und Pneumatik 18 (1974) 1, S. 57–67.
4. Backe W. Systematik der hydraulischen Widerstandsschaltungen in Ventilen und Regelkreisen / Krausskopf-Verlag GmbH, Mainz, 1974. 223 s.

5. Крассов И.М. Гидравлические элементы в системах управления. Изд. 2-е, переработ. и доп. М.: Машиностроение, 1967. 256 с.
6. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / И.И. Бажин, Ю.Г. Беренгард, М.М. Гайцгори и др.; Под общ. ред. Ермакова С.А. М.: Машиностроение, 1988. 312 с.
7. Белоногов О.Б. Итерационные методы статического анализа двухдроссельной электрогидравлической рулевой машины ракетных блоков // Космическая техника и технологии. № 2(21). 2018. С. 93–105.
8. Патент РФ 2131827. Российская федерация. Рулевая машина. Белоногов О.Б., Чеканов В.В. заявитель и патентообладатель ОАО РКК “Энергия”; приоритет от 20.04.1998; Публикация патента 20.06.1999. Бюллетень № 17.
9. Патент РФ 2293687. Российская федерация. Рулевая машина. Белоногов О.Б., Чеканов В.В. заявитель и патентообладатель ОАО РКК “Энергия”; приоритет от 01.02.2005; Публикация патента 20.02.2007. Бюллетень № 5.
10. Вачнадзе В.Д., Овечко-Филиппов Э.В., Смоленцев А.А., Соколов Б.А. Разработка, этапы модернизации и итоги пятидесятилетней эксплуатации первого отечественного жидкостного ракетного двигателя замкнутой схемы // Космическая техника и технологии. № 2. 2015. С. 82–90.

Investigation of the Influence of Structural and Adjusting Parameters of a Double-Orifices Electrohydraulic Amplifier on the Static Characteristics of Rocket Pack Steering Actuator

O. B. Belonogov*

Korolev Rocket and Space Public Corporation Energia (RSC Energia), Korolev, Russia

**e-mail: obelonogoff@mail.ru*

The article discusses the results of studies of the influence of the construction and adjustment parameters of a two-throttle electrohydraulic amplifier on the static characteristics of the steering actuator of the rocket pack. The studies are conducted using iterative static analysis methods, including methods for calculating the static characteristics of an autonomous single-stage steering actuator with a double-orifices electrohydraulic amplifier with a negative overlapping of throttling windows of rectangular shape with spool plugs. As a result of the research, it is shown that the steering actuator is static resistant when all the parameters studied are varied. It is shown that the angle of inclination of the speed characteristic of the steering machine and its starting current are most conveniently controlled by varying the parameter of the local thickness of the incident wall of the liner (the driven axis of a three-gear pump). Consequently, with the help of variations of this parameter, it is possible to adjust the gain of the steering gear and its deadband. Steering actuator design solutions are offered to improve their output characteristics and facilitate adjustment.

Keywords: structural and adjusting parameters, electro-hydraulic amplifier, steering actuator, static characteristics