

Транспортное и энергетическое машиностроение

УДК 62-522

Сравнение динамических характеристик гидравлических приводов при двух способах управления золотниковым распределителем

М.И. Салман

Для систем управления различными техническими объектами все более широкое применение находят электрогидравлические следящие приводы с пропорциональным управлением золотниковыми распределительными устройствами. Такие устройства дешевле электрогидравлических усилителей с сервоуправлением золотниковым распределителем. Они надежнее в эксплуатации благодаря меньшей чувствительности к загрязнению рабочей жидкости и ее расходу при отсутствии сигналов управления. В результате компьютерного моделирования решены задачи сближения динамических характеристик электрогидравлического следящего привода с пропорциональным управлением и с сервоуправлением золотниковым распределителем. Исследование показало, что при пропорциональном управлении применение в электрогидравлических следящих приводах электронного регулятора обеспечивает переходные характеристики, близкие к характеристикам с сервоуправлением золотниковым распределителем.

Ключевые слова: привод следящий, распределитель золотниковый, серво-управление, управление пропорциональное, характеристики переходные.

Dynamic Characteristics Comparison of Hydraulic Drives under Two Methods of Spool Valve Control

M.A. Salman

For various technical objects control the electrohydraulic servo drives with proportional control of spool-type switchgears are being increasingly imple-



САЛМАН
Мунзер Иса
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

SALMAN
Munzer Aisa
(Moscow, Russian Federation,
Bauman Moscow State
Technical University)

mented. These devices are cheaper than electrohydraulic amplifiers with servo spool valve. They are more reliable in operation due to the reduced sensitivity to contamination of the hydraulic fluid and also to its flow in the absence of control signals. As a result of computer simulation the problem of convergence of the dynamic characteristics of the electro-hydraulic servo drive with proportional control and servo-controlled spool valve was solved. The study showed that with a proportional control of electro-hydraulic servo drives the use of electronic regulator provides transitional characteristics similar to the characteristics of servo-controlled spool valve.

Keywords: servo drive, spool valve, servo control, proportional control, transitional characteristics.

В настоящее время для систем управления различными техническими объектами все более широкое применение находят электрогидравлические следящие приводы (ЭГСП) с пропорциональным управлением золотниковыми распределителями. Такие устройства дешевле электрогидравлических усилителей (ЭГУ) с сервоуправлением золотниковым распределителем. Они надежнее в эксплуатации благодаря меньшей чувствительности к загрязнению рабочей жидкости и ее расходу при отсутствии сигналов управления. Однако эти устройства уступают ЭГУ с сервоуправлением золотниковым распределителем по своим динамическим характеристикам. В данной работе рассматривается задача сближения динамических характеристик ЭГСП, имеющих ЭГУ двух видов — с пропорциональным управлением золотниковым распределителем и с сервоуправлением золотниковым распределителем. Электрогидравлические приводы с пропорциональным управлением распределительным устройством могут найти широкое применение в транспортной и грузоподъемной технике.

В электрогидравлическом приводе с сервоуправлением золотниковым распределителем входной сигнал после электронного усилителя (ЭУ) и электромеханического преобразователя (ЭМП) преобразуется в перемещение элементов (заслонки, струйной трубки) первой ступени ЭГУ. На второй ступени ЭГУ распределительный золотник регулирует поток жидкости

под давлением, которая подводится от источника энергопитания гидропривода (рис. 1) [1].

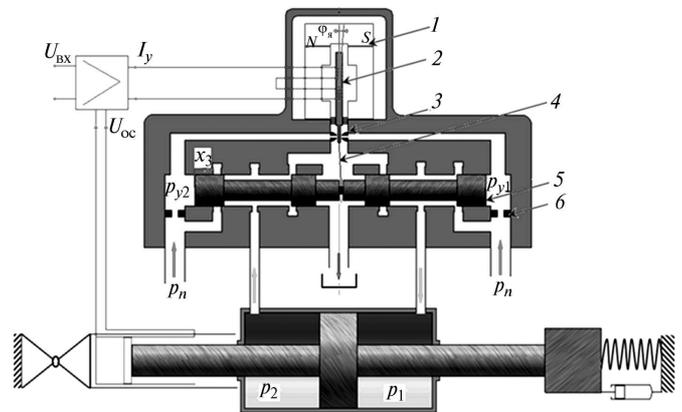


Рис. 1. ЭГУ с сервоуправлением золотниковым распределителем с двумя ступенями усиления:

- 1 — ЭМП; 2 — якорь магнита ЭМП; 3 — сопла первой ступени гидроусилителя; 4 — упругий стержень обратной связи от золотника к заслонке;
- 5 — золотник; 6 — дроссели первой ступени гидроусилителя

В электрогидравлических усилителях с пропорциональным управлением распределительным золотником якоря ЭМП непосредственно соединен с золотником (рис. 2).

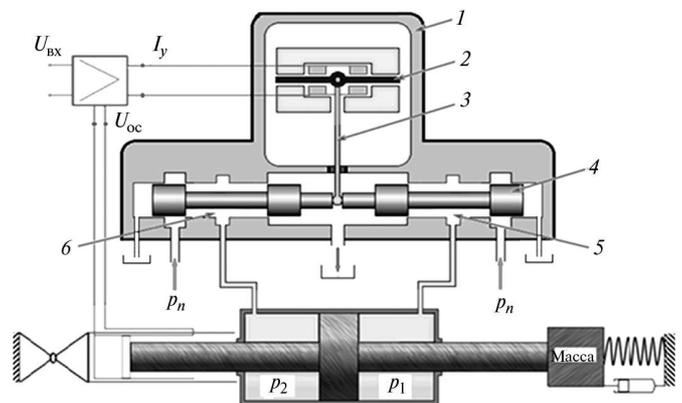


Рис. 2. ЭГУ с пропорциональным управлением золотниковым распределителем с одной ступенью усиления:

- 1 — ЭМП; 2 — якорь магнита ЭМП; 3 — жесткий стержень; 4 — золотник; 5 — вторая полость;
- 6 — первая полость

Исходные данные. $P_{\max} = 75 \text{ кН}$ — сила полного торможения выходного звена привода; $V_{\max} = 16 \cdot 10^{-2} \text{ м/с}$ — скорость движения выходного звена привода без нагрузки; $Y_{\max} = 120 \text{ мм}$ — максимальное перемещение выходного звена

привода из одного крайнего положения в другое; $m = 1\ 800$ кг — приведенная к выходному звену масса; $p_n = 25$ МПа — давление питания; $p_c = 0,5$ МПа — давление слива.

Электрогидравлический усилитель с сервоуправлением золотниковым распределителем. При помощи компьютерного моделирования проверена устойчивость электрогидравлического усилителя с соплом заслонкой, определен коэффициент усиления разомкнутого контура привода K . В случае необходимости предусмотрены корректирующие устройства — регуляторы, которые включаются в цепь управления ЭГУ. Структурная схема ЭГСП ЭГУ с соплом заслонкой, охваченного обратной связью от золотника к заслонке, представлена на рис. 3. На рисунке показаны два замкнутых контура — основной 1 и внутренний 2.

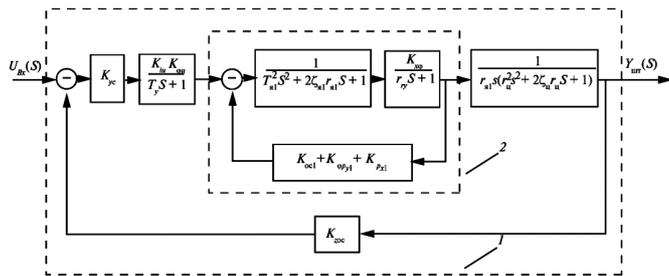


Рис. 3. Структурная схема ЭГСП ЭГУ с соплом заслонкой с обратной связью от золотника к заслонке:

1 — основной контур; 2 — внутренний контур

Для контура 2 определены значения коэффициентов и постоянных времени:

$T_{я1}, c$	$\zeta_{я1}$	$K_{хр}, M$	$T_{г\gamma}, c$	$K_x, рад/м$
0,000336735	0,6	4,28598	0,02913	13,69782

Результат расчета переходного процесса для золотника с сервоуправлением представлен на рис. 4.

Электрогидравлический усилитель с пропорциональным управлением золотниковым распределителем [1]. Рассмотрим наиболее часто встречающийся в современных следящих приводах ЭМП с поворотным якорем. Используя

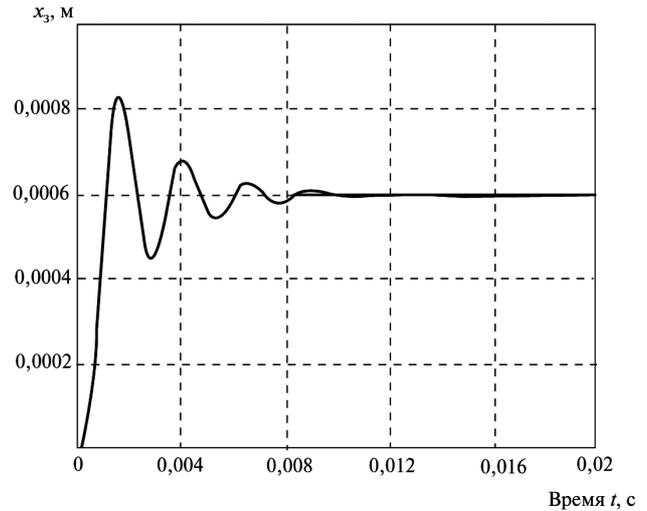


Рис. 4. Переходный процесс золотника с сервоуправлением

уравнение вращения твердого тела вокруг неподвижной оси, получаем

$$M_{я} - M_{тр} - P_{я} I_{я} = J_{я} \frac{d^2 \varphi_{я}}{dt^2}, \quad (1)$$

где $M_{я}$ — момент, вызванный действием магнитного поля на якорь; $M_{тр}$ — момент, изгибающий разделительную трубку; $P_{я}$ — сила, действующая на управляемый элемент нагрузки; $I_{я}$ — расстояние между осью золотника и центром вращения якоря; $J_{я}$ — момент инерции якоря и управляемого элемента относительно оси вращения якоря; $\varphi_{я}$ — угол отклонения якоря.

Уравнение движения управляемого золотника имеет вид

$$m_3 \frac{d^2 x_3}{dt^2} + K_{тр.з} \frac{dx_3}{dt} + 2C_{гд} x_3 = P_{я}. \quad (2)$$

Здесь m_3 — масса управляемого элемента; x_3 — смещение золотника,

$$x_3 = I_{я} \tan \varphi_{я} = I_{я} \varphi_{я}; \quad (3)$$

$K_{тр.з}$ — коэффициент трения золотника; $C_{гд}$ — коэффициент жесткости гидродинамической пружины.

Внешнюю моментную характеристику преобразователя без учета магнитного гистерезиса можно представить наклонными параллельными прямыми. Тогда ее уравнение, описывающее эти кривые можно представить в следующем виде:

$$M_{я} - M_{тр} = K_{MI} i_y - K_{мф} \phi_{я}, \quad (3)$$

где K_{MI} и $K_{мф}$ — коэффициенты изменения момента якоря соответственно для тока управления и угла отклонения якоря; i_y — ток управления.

В изображениях по Лапласу используем уравнения, с помощью которых находим передаточные функции [1, 2]. По этим передаточным функциям построена структурная схема, показанная на рис. 5.

Коэффициенты контура 2 (см. рис. 5) рассчитывают по следующим формулам:

$$K_{про} = \frac{K_{MI} I_{я}}{K_{мф} + 2I_{я}^2 C_{гд}};$$

$$T_{про} = \sqrt{\frac{I_{я}^2 m_3 + I_{я}}{K_{мф} + 2I_{я}^2 C_{гд}}};$$

$$\zeta_{про} = \frac{I_{я}^2 + K_{тр3}}{2 \sqrt{\frac{I_{я}^2 m_3 + I_{я}}{(K_{мф} + 2I_{я}^2 C_{гд})(K_{мф} + 2I_{я}^2 C_{гд})}}};$$

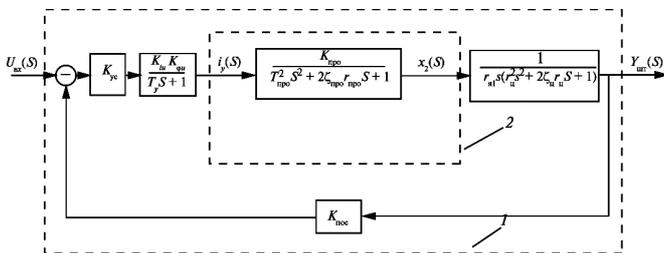


Рис. 5. Структурная схема ЭГСП ЭГУ с пропорциональным управлением золотниковым распределителем

Коэффициенты усиления определены для трех гидродинамических сил, так как ток управления зависит от значения этих сил [3, 4]:

Значения коэффициентов и постоянных времени ЭГУ с сервоуправлением и с пропорциональным управлением золотниковым распределителем

ЭГУ	$T_{гп}, c$	$T_{ц}, c$	$\zeta_{ц}$	$K_{пос}, B/m$	K_{yc}	T_y, c	$K_{иу}, A/B$	$K_{фил}, рад/А$
С сервоуправлением золотниковым распределителем	$1,384 \cdot 10^{-3}$	$3,91 \cdot 10^{-3}$	0,4	200	2,168	0,0048	$4 \cdot 10^{-3}$	0,938
С пропорциональным управлением золотниковым распределителем	$1,384 \cdot 10^{-3}$	$3,91 \cdot 10^{-3}$	0,4	200	2,168	0,018	0,01	2,327

1) $P_{з. гд1}$ — гидродинамическая сила, вычисленная аналитическим методом для непрофилированного золотника;

2) $P_{з. гд2}$ — гидродинамическая сила, определенная методом конечных элементов (МКЭ) для непрофилированного золотника в пакете ANSYS.13 CFX;

3) $P_{з. гд3}$ — гидродинамическая сила, вычисленная методом МКЭ для профилированного золотника в пакете ANSYS.13 CFX.

Значения коэффициентов и постоянных времени даны ниже:

I_y, A	$K_{про}, m$	$T_{про}, c$	$\zeta_{про}$
0,840	$7,106 \cdot 10^{-4}$	$6,518 \cdot 10^{-4}$	0,189
0,786	$7,591 \cdot 10^{-4}$	$6,737 \cdot 10^{-4}$	0,195
0,468	$1,27 \cdot 10^{-3}$	$8,858 \cdot 10^{-4}$	0,248

Результаты расчета переходных процессов золотника с пропорциональным управлением представлены на рис. 6.

Для расчета переходных процессов в ЭГСП предварительно были вычислены коэффициенты усиления и постоянные времени контура 1, изображенные на рис. 3 и 5, которые могут быть определены по формулам [1, 2].

В таблице даны значения коэффициентов и постоянных времени ЭТУ с сервоуправлением и с пропорциональным управлением золотниковым распределителем.

Результаты расчета переходных процессов выходного звена ЭГСП (штока гидроцилиндра) для двух способов управления золотниковым распределителем показаны на рис. 7.

Чтобы приблизить переходный процесс 2 к процессу 1 (см. рис. 7) в электронный усилитель ЭГСП был введен электронный пропор-

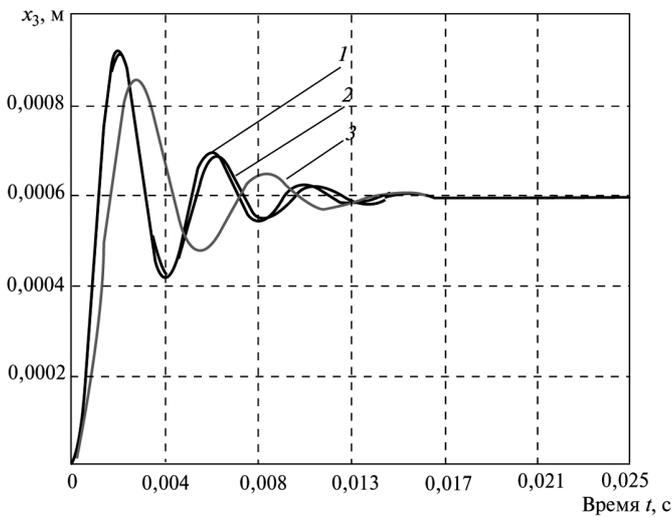


Рис. 6. Переходный процесс золотника с пропорциональным управлением:

1 — аналитический метод; 2 — в программе ANSYS.13 CFX для непрофилированного золотника; 3 — в программе ANSYS.13 CFX для профилированного золотника

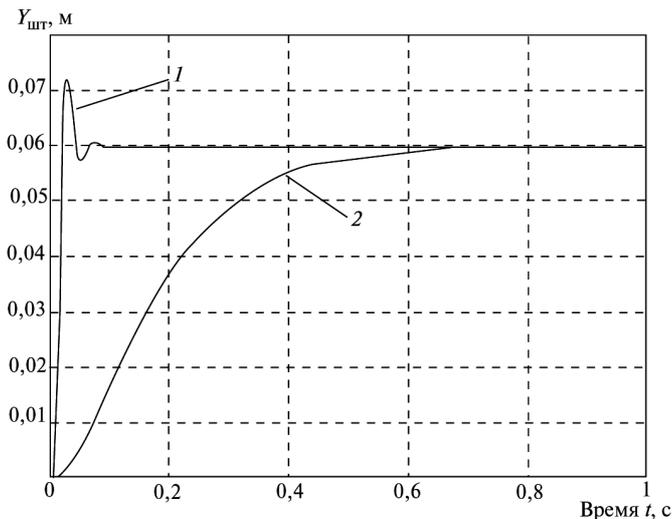


Рис. 7. Переходные процессы выходного звена ЭГСП:

1 — ЭГУ с сервоуправлением золотниковым распределителем; 2 — ЭГУ с пропорциональным управлением золотниковым распределителем

ционально-дифференциальный (ПД) регулятор с передаточной функцией [5]

$$W_{\text{рег}}(s) = K_{\text{п}} \left(1 + \frac{T_{\text{д}} s}{T_3 s + 1} \right),$$

где $K_{\text{п}} = 0,6 K_{\text{авт. п}}$; $T_{\text{д}} = 0,125 T_{\text{авт}}$; $T_3 = 0,0001$ с.

Для определения этих параметров регулятора сначала коэффициент усиления ЭГСП увеличиваем до значения, при котором возникают автоколебания, а затем с помощью программы «Моделирование в технических устройствах» (МВТУ), разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана, находим постоянные времени регулятора. Переходные процессы показаны на рис. 8.

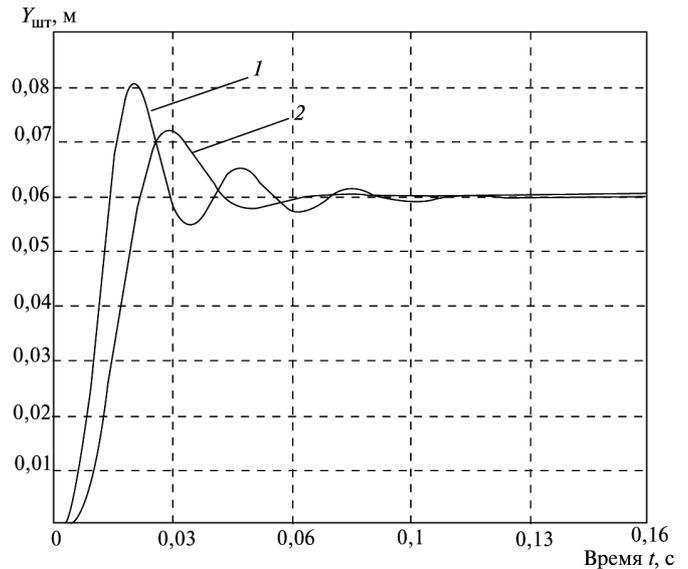


Рис. 8. Переходные процессы в ЭГСП:

1 — ЭГУ с сервоуправлением золотниковым распределителем без ПД-регулятора; 2 — ЭГУ с пропорциональным управлением золотниковым распределителем с ПД-регулятором

Таким образом, при использовании ЭГУ с пропорциональным управлением распределительным золотником применение электронного ПД-регулятора приближает динамические характеристики ЭГСП с таким ЭГУ к динамическим характеристикам ЭГСП с сервоуправлением золотниковым распределителем.

Литература

1. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. М.: Машиностроение, 1987. 467 с.
2. Попов Д.Н. Расчет и проектирование следящего электрогидравлического привода с дроссельным регулированием. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1990. 28 с.
3. Салман, М.И. Компьютерное исследование и расчет гидродинамических нагрузок на золотник [Электронный ресурс] / М.И. Салман, Д.Н. Попов // Наука и образование. 2012. № 10. DOI: 10.7463/1112.0491484. Дата обращения 08.04.2013.
4. Салман, М.И. Уравновешивание гидродинамических сил путем профилирования поверхности золотника [Электронный ресурс] / М.И. Салман, Д.Н. Попов // Наука и об-

разование. 2012. № 11. DOI:10.7463/1112.0491497. Дата обращения 08.04.2013.

5. Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV–2. Кн. 2. Гидро- и виброприводы / Под ред. Д.Н. Попова и В.К. Асташева. М.: Машиностроение, 2012. 303 с.

References

1. Popov D.N. *Dinamika i regulirovanie gidro- i pnevmosistem* [Dynamics and regulation of hydraulic and pneumatic systems]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1987. 467 p.

2. Popov D.N. *Raschet i proektirovanie slediashchego elektrogidravlicheskogo privoda s drossel'nyim regulirovaniem* [Calculation and design of electrohydraulic servo drive with throttle control]. Moscow, MSTU named after N.E. Bauman, 1990. 28 p.

3. Salman M.I., Popov D.N. Komp'yuternoe issledovanie i raschet gidrodinamicheskikh nagruzok na zolotnik [Computer

study and calculation of hydrodynamic loads on the valve]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education]. 2012, no. 10. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/file/out/507750> (Accessed 8 April 2013). Doi: 10.7463/1112.0491484.

4. Salman M.I., Popov D.N. Uravnoveshivanie gidrodinamicheskikh sil putem profilirovaniia poverkhnosti zolotnika [Balancing hydrodynamic forces by shaping valve's surface]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education]. 2012, no. 11. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/491497> (Accessed 8 April 2013). Doi:10.7463/1112.0491497.

5. *Mashinostroenie. Entsiklopediia. Gidro- i vibroprivody*. [Mechanical Engineering. Encyclopedia. Hydro and shakers]. Ed. Popov D.N., Astashev V.K., Gustomiasov A.N. Vol. 4–2, book 2. Moscow, Mashinostroenie publ., 2012. 303 p.

Статья поступила в редакцию 09.04.2013

Информация об авторе

САЛМАН Мунзер Иса (Москва) — аспирант кафедры «Гидромеханика, гидромашины и гидропневмоавтоматика». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: Salman.73@mail.ru).

Information about the author

SALMAN Munzer Aisa (Moscow) — Post-Graduate of «Hydromechanics, Hydraulic Machines and Hydropneumoautomation» Department. Bauman Moscow State Technical University (BMSTU, building 1, 2-nd Baumanskaya str., 5, 105005, Moscow, Russian Federation, e-mail: Salman.73@mail.ru).