

## АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ГИДРОУСИЛИТЕЛЕМ ТИПА «ЗОЛОТНИК- ЗОЛОТНИК»

**А.С. Шагинян, В.В. Болотский**

*Гомельский политехнический институт имени П. О. Сухого, Беларусь*

В настоящее время в быстродействующих электрогидравлических следящих системах дроссельного регулирования широкое применение получили гидроусилители типа "золотник-золотник" [1,2,3,4]. Применение гидроусилителя такого типа, прежде всего, оправдано его основными преимуществами: широким диапазоном рабочих частот и большой выходной мощностью.

Анализ динамики электрогидравлического преобразователя (ЭГП) с гидроусилителем типа "золотник — золотник" проведем на примере ЭГП, выпускаемого Гомельским научно-производственным объединением «Сейсмотехника» с 1975 года в составе вибрационных источников сейсмических сигналов, применяемых для разведки нефти и газа.

Создание преобразователя-усилителя электрогидравлического типа ЭГП-200 в НПО «Сейсмотехника» сопровождалось проведением большого комплекса конструкторско-технологических работ. Наиболее важными этапами в них являлись теоретическое обоснование выбора эффективных параметров ЭГП-200 и создание технологического участка прецизионной обработки деталей гидроусилителя и испытательного стенда для снятия характеристик.

Весьма сложными на стадии производства ЭГП-200 оказались аналитические исследования гидроусилителей по оценке их динамических характеристик, исследования устойчивости их функционирования, а также подгонка кромок управляющего и

распределительного золотников (установление отрицательного перекрытия в щелях между золотником и втулкой на рабочих и сливных кромках). Ранее выполненные аналитические расчеты при проектировании ЭГП-200 изобиловали большим количеством неточностей, которые позднее при разработке преобразователя-усилителя электрогидравлического типа ЭГП-350 автоматически были перенесены в документацию.

Настоящие исследования имеют целью существенно уточнить аналитические исследования ЭГП-200 с гидроусилителем типа "золотник — золотник", дополнить эти расчеты анализом переходного процесса системы.

В состав ЭГП в рассматриваемом случае входят усилитель сигнала рассогласования и два золотниковых каскада: управляющий и распределительный. Управляющий каскад состоит из электромеханического преобразователя (ЭМП) электромагнитного типа, якорь которого жестко соединен пружинной тягой с управляющим золотником. Распределительный каскад включает в себя распределительный золотник, датчик перемещения распределительного золотника, усилитель сигнала датчика перемещения. Совместная работа управляющего и распределительного каскадов описывается системой дифференциальных уравнений [1,2,3,4]:

— уравнение сил, действующих на управляющий золотник:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = AI + Bx - f \frac{dx}{dt} - C_{\text{мор}} x - C_{\text{зд}} x, \quad (1)$$

где

$m$  — приведенная к оси золотника, масса якоря, тяги и управляющего золотника [кг];  $x$  — перемещение управляющего золотника [м];  $A$  — постоянная электромеханической связи [Н/А];  $I$  — ток управления на входе ЭМП [А];  $B$  — магнитная жесткость [Н/м];  $f$  — коэффициент вязкого трения [Н с/м];  $C_{\text{мор}}$  — жесткость торсионов ЭМП [Н/м];  $C_{\text{зд}}$  — коэффициент гидродинамической жесткости [Н/м];

— уравнение расхода распределительного золотника:

$$S_p \frac{dy}{dt} = k_{\text{ОХ}} x, \quad (2)$$

где

$S_p$  — площадь поперечного сечения распределительного золотника [м<sup>2</sup>];  $y$  — перемещение распределительного золотника [м];  $k_{\text{ОХ}}$  — коэффициент усиления по перемещению управляющего золотника [м<sup>2</sup>/с].

Преобразуем уравнения (1),(2) по Лапласу при нулевых начальных условиях [5] и получим систему уравнений в изображениях:

$$\begin{cases} \left( \frac{m}{c} s^2 + \frac{f}{c} s + 1 \right) x(s) = \frac{A}{c} I(s) \\ y(s) = \frac{k_2}{s} x(s) \end{cases}$$

$$\text{где: } c = C_{\text{мор}} + C_{\text{зд}} - B; \quad k_2 = \frac{k_{\text{ОХ}}}{S_p}$$

Система уравнений в изображениях позволяет представить структурную схему ЭГП в виде динамической системы с обратной связью (рис.1).

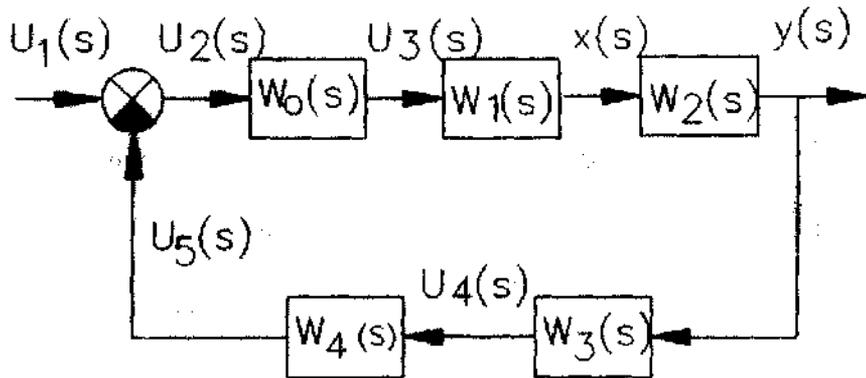


Рис.1

Передаточные функции отдельных звеньев этой системы приобретут вид:

— звено усилителя сигнала рассогласования:

$$W_0(s) = \frac{U_3(s)}{U_2(s)} = k_0,$$

где

$k_0$  — коэффициент усиления усилителя сигнала рассогласования [1];

— звено преобразования напряжения на входе ЭМП в перемещение управляющего золотника:

$$W_1(s) = \frac{x}{U_3(s)} = \frac{k_1}{(T_1 s + 1) \left( \frac{m}{c} s^2 + \frac{f}{c} s + 1 \right)},$$

где

$k_1$  — коэффициент усиления по перемещению управляющего золотника [м/В];

$T_1$  — постоянная времени [с];

— звено преобразования перемещения управляющего золотника в перемещение распределительного золотника:

$$W_2(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k_2}{s}$$

— звено датчика перемещения:

$$W_3(s) = \frac{U_4(s)}{y(s)} = k_3,$$

где

$k_3$  — коэффициент усиления датчика перемещения [В/м];

— звено усилителя сигнала датчика перемещения:

$$W_4(s) = \frac{U_5(s)}{U_4(s)} = \frac{k_4}{T_4 s + 1}$$

где

$k_4$  — коэффициент усиления усилителя сигнала датчика перемещения [1];

$T_4$  — постоянная времени усилителя сигнала датчика перемещения [с].

Общая передаточная функция этой структурной схемы будет иметь вид:

$$W(s) = \frac{y(s)}{U_1(s)} = \frac{W_0(s)W_1(s)W_2(s)}{1 + W_0(s)W_1(s)W_2(s)W_3(s)W_4(s)}$$

Подставив в полученное выражение общей передаточной функции  $W(s)$  значения параметров ЭПП-200 из таблицы 1

Таблица 1. Уточненные значения параметров ЭПП-200

п/п	Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Величина
1	Коэффициент усиления усилителя сигнала рассогласования	$k_0$	—	7
2	Коэффициент усиления по перемещению управляющего золотника	$k_1$	м/В	$2,65 \cdot 10^{-5}$
3	Постоянная времени ЭМП	$T_1$	с	$0,8 \cdot 10^{-3}$
4	Масса подвижных частей с учетом массы управляющего золотника	$m$	кг	$4,5 \cdot 10^{-2}$
5	Коэффициент вязкого трения управляющего золотника	$f$	$\frac{Н \cdot с}{м}$	4,5
6	Суммарная жесткость (торсионная, магнитная жесткость, гидродинамическая жесткость)	$C$	Н/м	$2,8 \cdot 10^5$
7	Коэффициент усиления по перемещению распределительного золотника	$k_2$	—	4100
8	Коэффициент усиления датчика перемещения распределительного золотника	$k_3$	В/м	200
9	Коэффициент усиления усилителя сигнала датчика перемещения распределительного золотника	$k_4$	—	5
10	Постоянная времени усилителя сигнала датчика перемещения распределительного золотника	$T_4$	с	$1,9 \cdot 10^{-4}$

и преобразовав его в частотную форму в результате счета на ЭВМ получим амплитудночастотную характеристику (рис.2), фазочастотную характеристику (рис.3).

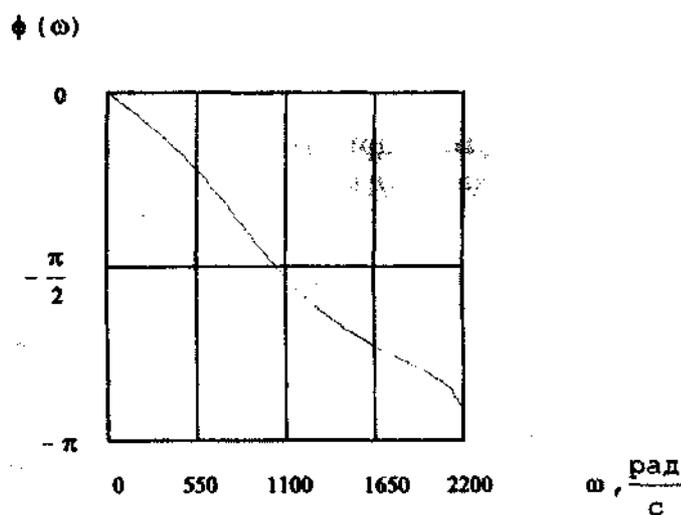


Рис.2

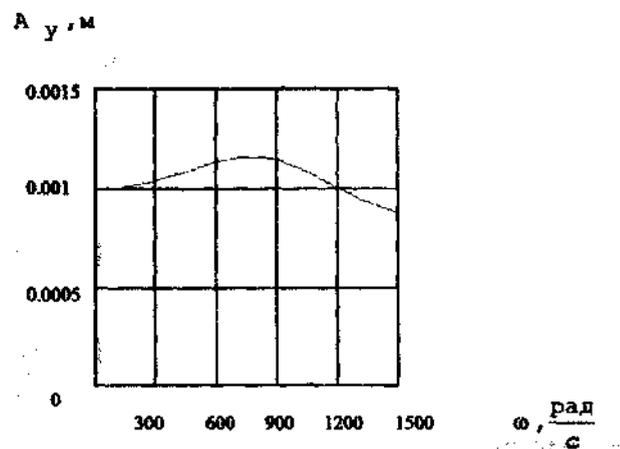


Рис.3

### Выводы

Анализ графиков, приведенных на рис.2,3 свидетельствует о том, что ЭПП-200 с гидроусилителем типа "золотник — золотник" с уточненными значениями параметров и исследуемой математической моделью, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным моделям вибрационных источников сейсмических сигналов, по широте диапазона рабочих частот, быстродействию и устойчивому режиму работы, необходимых при проведении разведки полезных ископаемых.

### Литература

- 1.Гамынин Н.С. Гидравлический привод систем управления. Москва: Машиностроение, 1972, 376 с.
- 2.Лещенко В.А. Гидравлические следящие приводы станков с программным управлением. Москва; Машиностроение, 1975, 287 с.
- 3.Гамынин Н.С, Каменир Я.А., Коробочкин Б.Л., Крассов И.М., Лещенко В.А., Хаймович Е.М. Гидравлический следящий привод. Москва: Машиностроение, 1968, 563 с.
- 4.Шагинян А.С. Динамика сейсмических вибраторов с электрогидравлическим сервоприводом. В книге «Исследование Земли невзрывными сейсмическими источниками». Москва: Наука, 1981, 184 с.
- 5.Попов Д.Н. Динамика и регулирования гидро- и пневмосистем. Москва: Машиностроение, 1976, 423 с.