

УДК 621.646-62-82

В.И. Соколов, профессор, д-р техн. наук,

Я.В. Соколова, доцент, канд. техн. наук,

Т.Я. Таванюк, аспирант

Восточноукраинский национальный университет им.В.Далы

кв. Молодёжный, 20-а, г. Луганск, Украина, 91034

stanki@snu.edu.ua

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА И ВЫБОР ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО СЛЕДЯЩЕГО ПРИВОДА СПЕЦИАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Разработана методика расчета ЭГСП с дроссельным регулированием, адаптированная на приводы специального технологического оборудования, позволяющая по значениям максимальной нагрузки, скорости и погрешности слежения производить оценку и выбор параметров элементов и устройств привода, прогнозировать его статические и динамические характеристики. Выполнен пример расчета параметров ЭГСП оборудования.

Ключевые слова: электрогидравлический привод, дроссельное регулирование, частотная характеристика.

Современные технологии обработки материалов, пластического формования конструкций машиностроения предъявляют всевозрастающие требования к техническим и функциональным характеристикам специального технологического оборудования [1,2]. Качество получаемых изделий при обработке давлением и пластическом формовании во многом зависит от возможности реализации оптимальных законов движения рабочих органов, точности регулирования их перемещений, стабильности скоростей деформаций в условиях переменной нагрузки. Поэтому актуальной является научно-техническая задача повышения точности и расширения функциональных возможностей оборудования для обработки давлением.

Достижение произвольной кинематики рабочего органа, возможности программной реализации оптимальных законов его движения обеспечивается применением автоматических гидравлических приводов [2,3] и, в частности, электрогидравлических следящих приводов (ЭГСП) с дроссельным регулированием в оборудовании мощностью до 8 кВт. В месте с тем, в настоящее время отсутствуют общепринятые методики расчета ЭГСП, адаптированные на приводы оборудования для обработки давлением, позволяющие по значениям максимальной нагрузки, скорости и погрешности слежения производить оценку и выбор параметров элементов и устройств привода, прогнозировать его статические и динамические характеристики.

Целью работы является разработка методики расчета и выбора основных параметров ЭГСП с дроссельным регулированием, ориентированной на автоматические приводы оборудования для обработки давлением.

На основании результатов выполненных теоретических и экспериментальных исследований можно предложить следующую методику расчета ЭГСП с дроссельным регулированием, адаптированную на приводы оборудования для обработки давлением, позволяющую производить оценку и выбор параметров элементов и устройств привода, прогнозировать его статические и динамические характеристики.

Исходными данными для расчета ЭГСП с поступательным движением выходного звена необходимо принять следующие параметры: R_{max} – максимальное усилие; V_{max} – максимальная скорость слежения без нагрузки; ε_{max} – максимальная погрешность слежения (или допустимая погрешность слежения при максимальной скорости); H – ход поршня (рабочего органа); m – приведенная масса подвижных частей.

Расчет выполняем в следующем порядке.

1. Построение расчетной схемы ЭГСП.

В расчетной схеме отражаются основные элементы и устройства ЭГСП, формируются связи между ними. За основу может быть принята схема, представленная на рисунке 1.

2. Выбор рабочей жидкости и номинального рабочего давления $P_{ном}$.

Рабочая жидкость выбирается исходя из технических требований, предъявляемых к оборудованию для обработки давлением, или рекомендаций, содержащихся в технических данных основного гидравлического оборудования.

Номинальное рабочее давление принимается в соответствии с возможностями гидроагрегатов, серийно выпускаемых для оборудования для обработки материалов давлением. Значение $P_{ном}$ задается из стандартного ряда (ГОСТ 12445-80), МПа: ...4; 6,3; 10; 12,5; 16; 20; 25; 32; 40 ...

3. Расчет конструктивных параметров и выбор гидроцилиндра.
Оценивается эффективная площадь гидроцилиндра

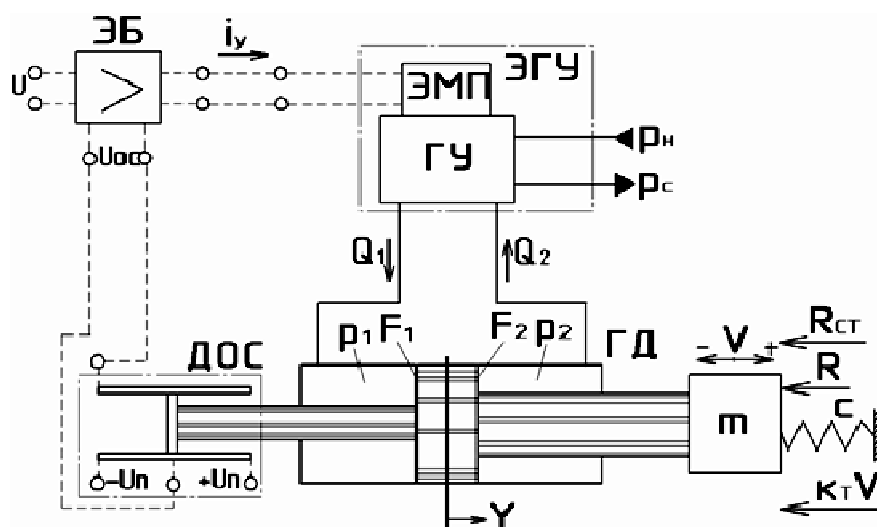


Рисунок 1 – Расчетная схема ЭГСП

$$F = (1,3...1,5) \frac{R_{\max}}{P_{\text{ном}}} . \quad (1)$$

По значению F определяется диаметр поршня. Для цилиндра с двусторонним штоком и соотношением диаметров штока и поршня $d_{\text{шт}}/D=1/2$

$$D = 4 \sqrt{\frac{F}{3\pi}} . \quad (2)$$

По параметрам $P_{\text{ном}}$, D , $d_{\text{шт}}$, H из справочной литературы [3] выбирается серийно выпускаемый гидроцилиндр. При отсутствии подходящего серийно выпускаемого двигателя составляется техническое задание на разработку оригинального гидроцилиндра.

4. Выбор ЭГУ.

Выбор ЭГУ производится по номинальному рабочему давлению с учетом того, что расход $Q_{\text{ЭГУ}}$ при указанном в технических данных перепаде давлений $\Delta P_{\text{ЭГУ}}$ должен удовлетворять условию

$$Q_{\text{ЭГУ}} \geq (1,1...1,2) F V_{\max} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ЭГУ}}}{P_{\text{ном}}}} . \quad (3)$$

В данном выражении $P_{\text{ном}}$ – номинальное рабочее давление, принятое в пп. 2, а не указанное в паспортных данных ЭГУ.

Для выбранного ЭГУ оценивается коэффициент усиления по расходу для ненагруженного привода, $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{а})$,

$$K_{Qi} = \frac{Q_{\text{ЭГУ}}}{i_{\text{ном}}} \sqrt{\frac{P_n}{\Delta P_{\text{ЭГУ}}}} , \quad (4)$$

где $i_{\text{ном}}$ – номинальный ток управления; P_n – подведенное давление (разность давлений в напорной и сливной линиях ЭГУ).

Рекомендуется принять

$$P_n = (0,75...0,85) P_{\text{ном}} . \quad (5)$$

5. Определение параметров ОС.

При формировании ОС посредством потенциометра сначала выбирается напряжение питания U_n (обычно 6, 12 или 27 В). Если крайним положениям поршня соответствует сигнал ОС $U_{\text{ос}} = \pm U_n$, то коэффициент передачи ОС составляет, В/м,

$$K_{\text{ос}} = \frac{2U_n}{H} . \quad (6)$$

6. Определение добротности $D_{\text{эсп}}$ и расчет коэффициента передачи электрического блока $K_{\text{эб}}$.

Добротность ЭГСП есть коэффициент усиления всего контура регулирования и назначается по выражению, $1/c$,

$$D_{\text{ЭГСП}} = (1,05 \dots 1,1) V_{\text{max}} / \varepsilon_{\text{max}}. \quad (7)$$

По значению $D_{\text{эсп}}$ определяется коэффициент передачи электрического блока, $1/Ом$,

$$K_{\text{эб}} = \frac{D_{\text{ЭГСП}} F}{K_{Qi} K_{oc}}. \quad (8)$$

Значение $K_{\text{эб}}$ и параметры обмотки управления из технических данных ЭГУ служат исходными данными для проектирования электрического блока.

7. Оценка статических характеристик ЭГСП.

Под статическими характеристиками ЭГСП следует понимать зависимости, связывающие скорость выходного звена V , нагрузку R и сигнал рассогласования $U_{\varepsilon} = U - U_{oc}$. Рекомендуется построить скоростную $V(U_{\varepsilon})$ и нагрузочную $V(R)$ характеристики по следующей приближенной зависимости

$$V = U_{\varepsilon} \frac{D_{\text{ЭГСП}}}{K_{oc}} \sqrt{1 - \frac{R}{P_n F} \text{sign} U_{\varepsilon}}. \quad (9)$$

Скоростная характеристика строится при $R = 0$ в диапазоне $-K_{oc} \varepsilon_{\text{max}} \leq U_{\varepsilon} \leq K_{oc} \varepsilon_{\text{max}}$, расчет нагрузочной характеристики производится при $U_{\varepsilon} = \pm K_{oc} \varepsilon_{\text{max}}$ в диапазоне $-P_n F \leq R \leq P_n F$.

8. Построение линейной модели ЭГСП.

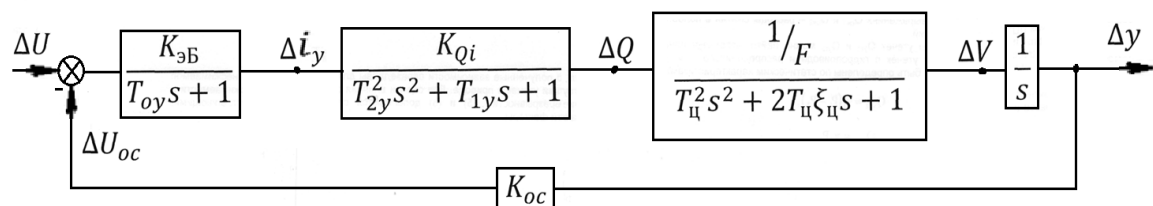


Рисунок 2 – Структурная схема передачи управляющего сигнала

Выполняется оценка параметров линейной модели в соответствии со структурной схемой, представленной на рисунке 2, согласно зависимостям, приведенным в работах авторов [4].

Определение коэффициента относительного демпфирования гидроцилиндра чаще всего является затруднительным, поэтому на стадии предварительного расчета следует задать

$$\xi_{\text{ц}} = 0,1 \dots 0,3. \quad (10)$$

Для получения передаточной функции уточняется значение добротности ЭГСП

$$D_{\text{ЭГСП}} = \frac{K_{\text{эб}} K_{Qi} K_{oc}}{F}. \quad (11)$$

Передаточная функция ЭГСП по управляющему сигналу в размерном виде

$$W(s) = \frac{\Delta y(s)}{\Delta U(s)} = \frac{K}{a_0 s^6 + a_1 s^5 + a_2 s^4 + a_3 s^3 + a_4 s^2 + a_5 s + a_6}, \quad (12)$$

где

$$\begin{aligned} K &= 1/K_{oc}; \quad a_6 = 1; \quad a_5 = \frac{1}{D_{\text{ЭГСП}}}; \quad a_4 = \frac{T_{oy} + T_{1y} + 2T_{\text{ц}}\xi_{\text{ц}}}{D_{\text{ЭГСП}}}; \\ a_3 &= \frac{T_{oy}T_{1y} + 2T_{\text{ц}}\xi_{\text{ц}}T_{oy} + T_{2y}^2 + 2T_{\text{ц}}\xi_{\text{ц}}T_{1y} + T_{\text{ц}}^2}{D_{\text{ЭГСП}}}; \\ a_2 &= \frac{T_{2y}^2T_{oy} + 2T_{\text{ц}}\xi_{\text{ц}}T_{oy}T_{1y} + T_{\text{ц}}^2T_{oy} + 2T_{\text{ц}}\xi_{\text{ц}}T_{2y}^2 + T_{1y}T_{\text{ц}}^2}{D_{\text{ЭГСП}}}; \end{aligned}$$

$$a_1 = \frac{2T_{2y}^2 T_u T_{oy} \xi_u + T_u^2 T_{oy} T_{1y} + T_{2y}^2 T_u^2}{D_{ЭГСП}}; \quad a_0 = \frac{T_{2y}^2 T_u^2 T_{oy}}{D_{ЭГСП}}.$$

9. Оценка устойчивости.

Проверку устойчивости можно произвести по критерию Гурвица [1]. Для системы 6-го порядка, имеющей передаточную функцию вида (12), требуется при положительных коэффициентах $a_0 \dots a_6$ выполнение неравенств

$$\begin{cases} a_1 a_2 > a_0 a_3; \\ (a_1 a_2 - a_0 a_3)(a_3 a_4 - a_2 a_5) > (a_1 a_4 - a_0 a_5)^2. \end{cases} \quad (13)$$

Покажем пример расчета параметров ЭГСП с дроссельным регулированием оборудования для обработки давлением для следующих исходных данных: максимальное усилие $R_{max}=160$ кН; максимальная скорость слежения без нагрузки $V_{max}=0,05$ м/с; максимальная погрешность слежения $\varepsilon_{max}=0,005$ м; ход $H=0,5$ м; приведенная масса подвижных частей $m=500$ кг.

Ниже приводим основные результаты расчета.

$$P_{ном} = 32 \text{ МПа};$$

$$F = (1,3 \dots 1,5) \frac{R_{max}}{P_{ном}} = 0,007 \text{ м}^2; \quad D = 4 \sqrt{\frac{F}{3\pi}} = 0,109 \text{ м};$$

Выбран гидроцилиндр ГЦ125.63-02 ($D=125$ мм, $d_{шт}=63$ мм).

$$F = \frac{\pi}{4} (D^2 - d_{шт}^2) = \frac{\pi}{4} (0,125^2 - 0,063^2) = 0,0091 \text{ м}^2.$$

$$\Delta P_{ЭГУ} = 32 \text{ МПа};$$

$$Q_{ЭГУ} \geq (1,1 \dots 1,2) F V_{max} \sqrt{\frac{\Delta P_{ЭГУ}}{P_{ном}}} = 0,49 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с} = 29,4 \text{ л/мин}.$$

Выбран ЭГУ – дросселирующий гидрораспределитель – РП10.

$$(\Delta P_{ЭГУ} = 32 \text{ МПа}; Q_{ЭГУ} = 50 \text{ л/мин}; i_{ном} = 850 \text{ МПа}; V_1 = 80 \text{ Гц}; V_2 = 125 \text{ Гц})$$

$$P_n = (0,75 \dots 0,85) P_{ном} = 25,6 \cdot 10^6 \text{ Па};$$

$$K_{Qi} = \frac{Q_{ЭГУ}}{i_{ном}} \sqrt{\frac{P_n}{\Delta P_{ЭГУ}}} = 0,516 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{а});$$

$$U_n = 27 \text{ В}; \quad K_{ос} = \frac{2U_n}{H} = 108 \text{ В/м};$$

$$D_{ЭГСП} = (1,05 \dots 1,1) V_{max} / \varepsilon_{max} = 10,7 \text{ 1/с};$$

$$K_{эб} = \frac{D_{ЭГСП} F}{K_{Qi} K_{ос}} = 1,7544 \text{ 1/О/О}$$

$$T_{oy} = \frac{L_y}{R_y} = 0,01 \text{ с};$$

$$E_{жс} = 10^9 \text{ Па}; \quad E_u = \frac{E_{жс}}{1 + \frac{2W_o}{FH}} = 9,9 \cdot 10^8 \text{ Па};$$

$$\xi_u = 0,25; \quad T_u = \sqrt{\frac{mH}{4E_u F}} = 2,62 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$T_{1y} = \frac{1}{2\pi\pi_1} - \frac{2\pi\pi_1}{(2\pi\pi_2)^2} = 0,0011 \text{ с}; \quad T_{2y} = \frac{1}{2\pi\pi_2} = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Параметры передаточной функции:

$$K = 1/K_{ос} = 0,0092; \quad a_6 = 1;$$

$$a_5 = \frac{1}{D_{\text{ЭГСП}}} = 0,0934;$$

$$a_4 = \frac{T_{oy} + T_{1y} + 2T_u \xi_u}{D_{\text{ЭГСП}}} = 0,0011;$$

$$a_3 = \frac{T_{oy}T_{1y} + 2T_u \xi_u (T_{oy} + T_{1y}) + T_{2y}^2 + T_u^2}{D_{\text{ЭГСП}}} = 3,26 \cdot 10^{-6};$$

$$a_2 = \frac{T_{2y}^2 T_{oy} + 2T_u \xi_u (T_{oy}T_{1y} + T_{2y}^2) + T_u^2 (T_{oy} + T_{1y})}{D_{\text{ЭГСП}}} = 1,03 \cdot 10^{-8};$$

$$a_1 = \frac{2T_{2y}^2 T_u T_{oy} \xi_u + T_u^2 (T_{oy}T_{1y} + T_{2y}^2)}{D_{\text{ЭГСП}}} = 1,05 \cdot 10^{-11}; \quad a_0 = \frac{T_{2y}^2 T_u^2 T_{oy}}{D_{\text{ЭГСП}}} = 1,04 \cdot 10^{-14}$$

$$W(s) = \frac{0,0092}{1,04 \cdot 10^{-14} s^6 + 1,05 \cdot 10^{-11} s^5 + 1,03 \cdot 10^{-8} s^4 + 3,26 \cdot 10^{-6} s^3 + 0,0011 s^2 + 0,0934 s + 1}.$$

Проверка устойчивости:

$$a_1 a_2 = 1,08 \cdot 10^{-18} > a_0 a_3 = 3,39 \cdot 10^{-20};$$

$$(a_1 a_2 - a_0 a_3)(a_3 a_4 - a_2 a_5) = 2,144 \cdot 10^{-28} > (a_1 a_4 - a_0 a_5)^2 = 1,3 \cdot 10^{-28}.$$

Безразмерные переходная и амплитудно-фазовая характеристики показаны на рисунке 3.

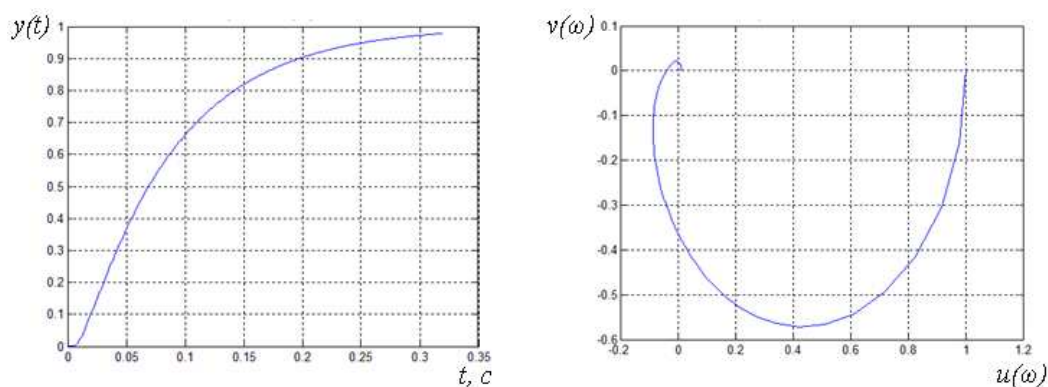


Рисунок 3 – Переходная и амплитудно-фазовая характеристики

Безразмерные амплитудная и фазовая частотные характеристики приведены на рисунке 4.

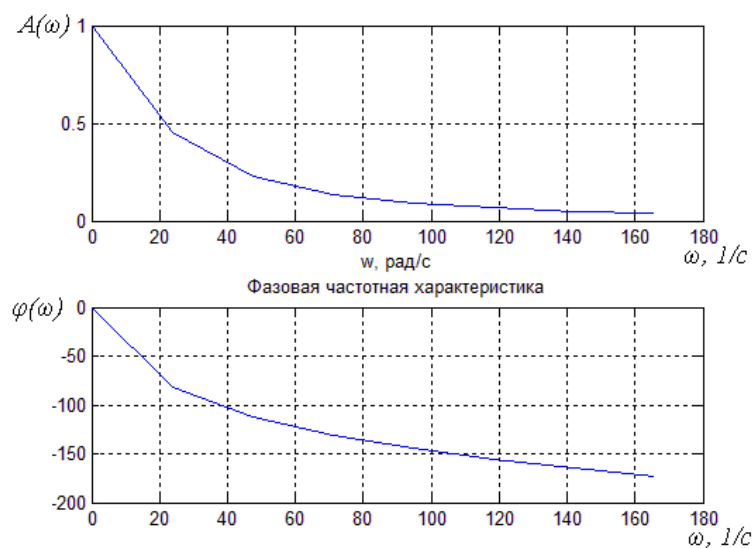


Рисунок 4 – Амплитудная и фазовая частотные характеристики

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработана методика расчета ЭГСП с дроссельным регулированием, адаптированная на приводы оборудования для обработки давлением, позволяющая по значениям максимальной нагрузки, скорости и погрешности слежения производить оценку и выбор параметров элементов и устройств привода, прогнозировать его статические и динамические характеристики.

2. Выполнен пример расчета параметров ЭГСП оборудования для обработки давлением для максимальной нагрузки 160 кН и скорости слежения 0,05 м/с. Показана возможность использования в приводе стандартного гидроцилиндра и электрогидравлического усилителя, на основании паспортных данных, которых определены параметры передаточной функции ЭГСП, выполнена оценка устойчивости, рассчитаны переходная, амплитудно-фазовая, амплитудная и фазовая частотные характеристики.

Бibliографический список использованной литературы

1. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем / Попов Д.Н. — М.: Машиностроение, 1976. — 424 с.
2. Терских В.З. Сравнительный анализ динамических свойств дроссельных гидроприводов / В.З. Терских // Изд. вузов. Машиностроение. — 1976. — № 7. — С. 59–62.
3. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: справочник / В.К. Свешников, А.А. Усов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1988. — 512 с.
4. Соколов В.И. Определение передаточных функций электрогидравлического следящего привода оборудования для обработки давлением / В.И. Соколов, Т.Я. Таванюк // Вісн. Східноукр. націон. ун-ту ім. В. Даля. — 2011. — № 1 (155), Ч. 1. — С. 208–215.

Поступила в редакцию 09.02.2012 г.

Соколов В.І., Соколова Я.В., Таванюк Т.Я. Розробка методики розрахунку та вибору основних параметрів електрогідравлічного слідкуючого приво́ду спеціального технологічного обладнання

Розроблено методику розрахунку ЕГСП з дросельним регулюванням, що адаптована до приводів спеціального технологічного обладнання, яка дає можливість за значеннями максимального навантаження, швидкості та похибки спостереження проводити оцінку і вибір параметрів елементів і пристроїв приво́ду, прогнозувати його статичні і динамічні характеристики. Виконано приклад розрахунку параметрів ЕГСП обладнання.

Ключові слова: електрогідравлічний привід, дросельне регулювання, частотні характеристики.

Sokolov V.I., Sokolova Ya.V., Tavanyuk T.Ya. Development a methodology for calculation and selection of the main parameters of electro-hydraulic servo actuator of special technological equipment

The method of calculation EGSP with throttle control, adapted to drive special manufacturing equipment, allowing for maximum load, speed and precision tracking the assessment and selection of parameters and elements of the drive and to predict its static and dynamic characteristics. Completed example of the calculation parameters EGSP equipment.

Keywords: electro-hydraulic actuator, throttle control, the frequency response.