

Е.П. ИВАНИЦКАЯ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»,
Л.В. СОЛДАТЕНКО, студентка, НТУ «ХПИ»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ГИДРОПРИВОДА РУЛЯ ВЫСОТЫ

У статті розглянуте моделювання робочого процесу гідроприводу керма висоти літака. Наведено математичну модель та результати розрахунків

В статье рассмотрено моделирование рабочего процесса гидропривода руля высоты самолета. Приведена математическая модель и результаты расчетов

Modelling working process of a hydrodrive of an elevator of the plane is considered. The mathematical model and results of calculations is resulted.

Постановка проблемы. Гидросистема рулевого управления является довольно сложным техническим устройством, усилителем мощности, которая в структурном плане представляет следящую систему. Подобная система обрабатывает входной сигнал, который изменяется по заранее неизвестному закону.

Цель статьи. Выполнить математическое моделирование рабочего процесса руля самолета.

Расчетная схема. Система состоит из источника питания (насоса Н с приводным двигателем Д и переливного клапана ПК), золотникового дросселирующего гидрораспределителя ГР, силового гидроцилиндра ГЦ, гидробака Б и кинематических звеньев, преобразующих линейное перемещение у штока в угол поворота руля φ .

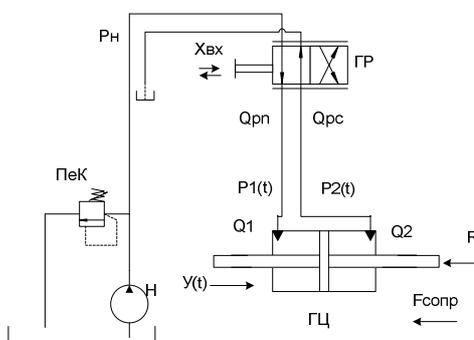


Рис.1. Расчетная схема (механическая отрицательная обратная связь не показана)

При перемещении $x(t)$ золотника ГР от электрогидравлического усилителя или от штурвала летчика в направлении, указанном на схеме рис.1, через ГР поступает РЖ в левую полость ГЦ.

При достижении перепада давлений p_1-p_2 , создающего силу, превышающую $F_{\text{сопр}}$, шток ГЦ начинает перемещаться вправо, поворачивая руль.

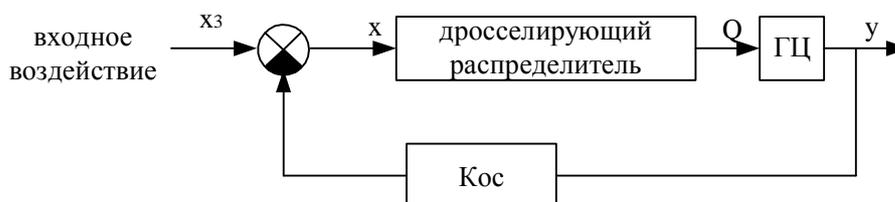


Рис.2. Структурная схема гидропривода руля высоты

Допущения. Для описания рабочих процессов, протекающих в гидроприводе рулевого управления были приняты следующие допущения: волновые процессы в трубопроводах и утечки РЖ отсутствуют; сухое трение равно нулю; давление в сливной магистрали равно нулю; потери на трение в магистралях не учитываются; температура РЖ постоянна.

Математическая модель. В состав математической модели гидропривода руля высоты вошли следующие уравнения.

1. Уравнения динамического равновесия поршня ГЦ [1, 2]

$$m_1 dV/dt = p_1 F - p_2 F - R - R_s - R_t, \quad (1)$$

где m_1 – приведенная масса поршня и штока ГЦ; V – скорость перемещения поршня и штока ГЦ; p_1 – давление в напорной полости ГЦ; p_2 – давление в сливной полости ГЦ; R – нагрузка на штоке ГЦ; R_t – сила трения; R_s – сила сопротивления; $F = \pi (D^2 - d^2)/4$ – эффективная площадь поршня двухштокового ГЦ (здесь D, d – диаметры поршня и штока).

2. Уравнения расхода РЖ, поступающего в напорную полость ГЦ [1, 2]

$$Q_1 = Q_{\text{пер}1} + Q_{\text{сж}1}, \quad (2)$$

где Q_1 – расход РЖ, поступающий в напорную полость ГЦ; $Q_{\text{пер}1} = V F$; расход на перемещение поршня ГЦ; $Q_{\text{сж}1} = (W_1/E) dp_1/dt$ – расход на сжатие

РЖ в напорной полости ГЦ; (здесь $W_1 = W_{01} + F y$; – объем РЖ в напорной полости ГЦ; y - перемещение поршня ГЦ); E – модуль упругости РЖ.

3. Уравнения расхода РЖ, вытекающего из сливной полости ГЦ [1, 2]

$$Q_2 = Q_{пер2} - Q_{сж2}, \quad (3)$$

где Q_2 - расход РЖ, вытекающий из сливной полости ГЦ; $Q_{пер2} = V F$ - расход на перемещение поршня; $Q_{сж2} = (W_2/E) dp_2/dt$ (здесь $W_2 = W_{02} - F y$ – объем РЖ в сливной полости ГЦ; W_{02} – начальный объем РЖ в сливной полости ГЦ).

4. Уравнение расхода РЖ через дросселирующий распределитель [1, 2]

$$Q_{pn} = \mu f z \sqrt{2g(p_n - p_1) / \gamma}; \quad Q_{pc} = \mu f z \sqrt{2g p_2 / \gamma}, \quad (5)$$

где Q_{pn} , Q_{pc} – расход РЖ через распределитель в напорной и сливной магистралях соответственно; μ – коэффициент расхода; γ – удельный вес РЖ; g – ускорение свободного падения; p_n – давление насоса; $fz = \pi dz x$ – площадь проходного сечения распределителя (здесь dz – диаметр золотника, x – величина открытия щели золотника).

5. Уравнение баланса расходов

$$Q_{pn} = Q_1; \quad Q_{pc} = Q_2. \quad (6)$$

6. Уравнение обратной связи

$$x_s - k_{oc} y = x. \quad (7)$$

Таким образом, математическая модель рассматриваемого гидропривода рулевого управления имеет вид системы дифференциальных нелинейных уравнений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dx}{dt} = y \\ \frac{dy^2}{dt^2} = m^{-1}(p_1 F - p_2 F - R_s - R - Rt); \\ \frac{dp_1}{dt} = E(\pi \mu d_z x \sqrt{\frac{2g(p_n - p_1)}{\gamma}} - V \cdot F)/(W_{01} + Fy); \\ \frac{dp_2}{dt} = E(-\pi \mu d_z x \sqrt{\frac{2gp_2}{\gamma}} + VF)/(W_{02} - Fy); \\ x = x_s - k_{oc} y_1. \end{array} \right. \quad (8)$$

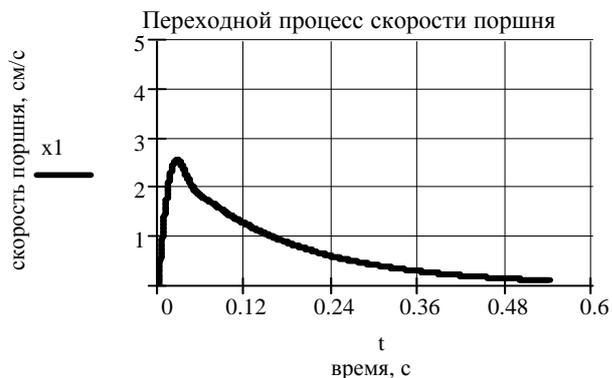
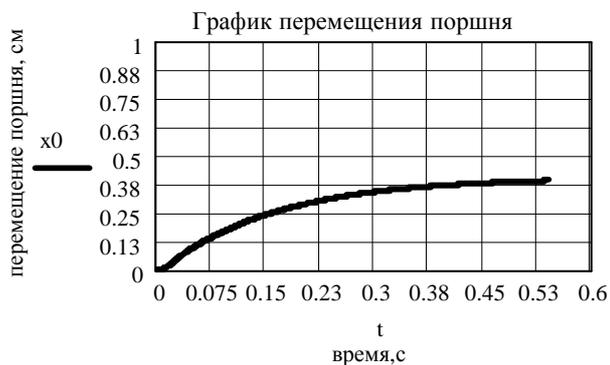
Начальные условия можно определить из уравнений статики и из физической модели функционирования исследуемого ГП РУ:

- 1) $y(0) = 0$ – при $t=0$ положение поршня принимаем равным нулю;
- 2) $V(0) = 0$ – поршень неподвижен;
- 3) $p_1(0) = 250$ кгс/см²;
- 4) $p_2(0) \approx 0$ кгс/см².

Отслеживание входного воздействия осуществляется за 0,54 с. При этом x_s -ку становится равным нулю. Поршень со штоком переместятся на 0,39 см. Скорость перемещения штока сначала возрастает до 2,5 см/с, а затем падает до нуля при $t = 0,54$ с.

Установившиеся значения давлений следующие $p_1 = 237$ кгс/см²; $p_2 = 13,7$ кгс/см².

Результаты расчетов переходных процессов представлены на рис. 3.



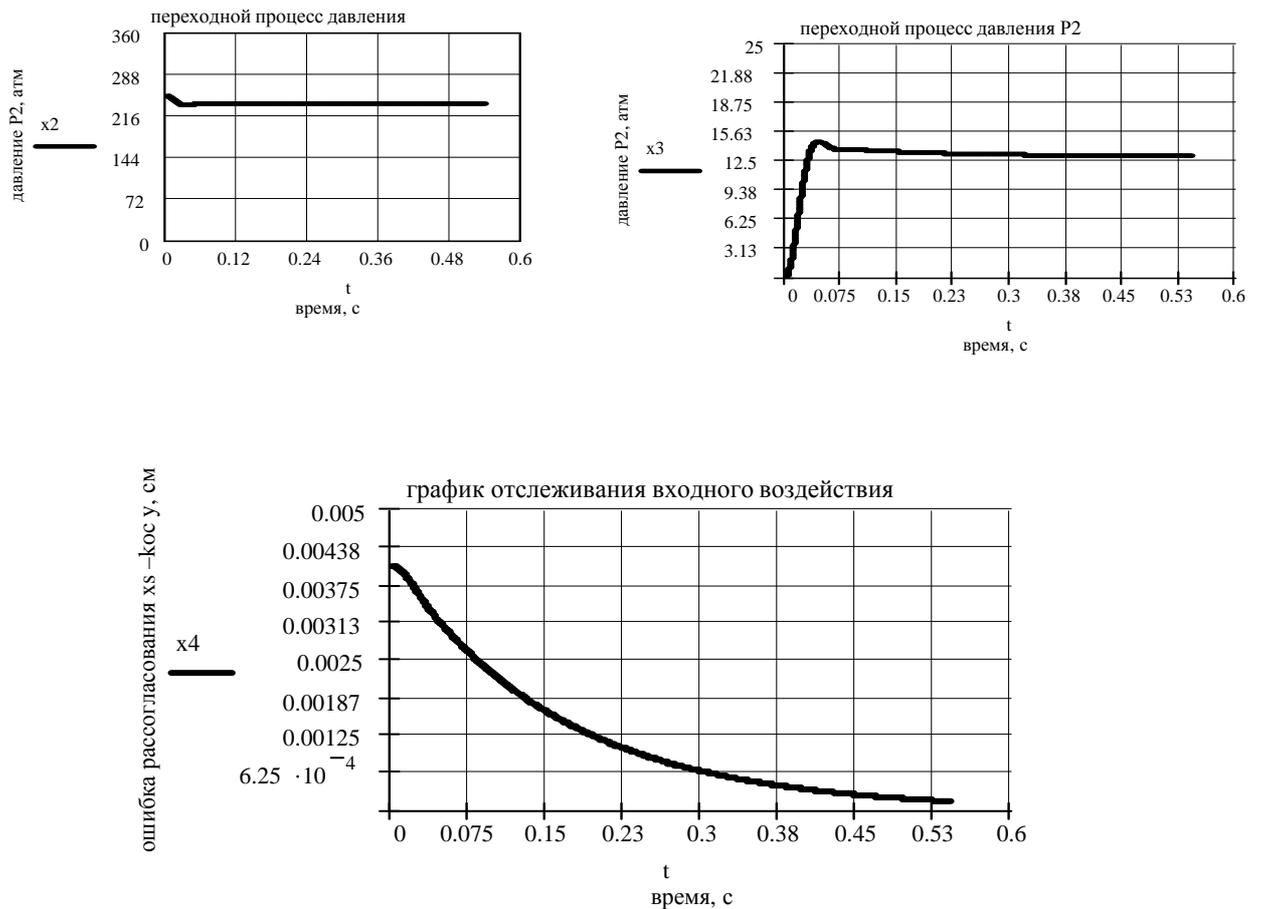


Рис.3. Переходные процессы

Результаты расчетов представлены в стандартных для MathCAD обозначениях с соответствующими размерностями: x_0 - y [см]; x_1 - V [см/с]; x_2 - p_1 [кгс/см²]; x_3 - p_2 [кгс/см²]; $x_4 = x_s - k_{oc} y$ [см]; t [с] – время.

Выводы.

Получена система нелинейных дифференциальных уравнений (8), которая решалась методом Рунге-Кутты в универсальной математической системе MathCAD.

Список литературы: 1. Лур'є З.Я., Іваницька О.П. Моделювання та динаміка гідравлічних систем: навч. посібник. / З.Я. Лур'є, О.П. Іваницька. – Х.: ХДПУ, 2000. – 132 с. 2. Іваницька Е.П. Математическое моделирование рабочего процесса гидропривода рулевого управления / Е.П. Іваницька. // Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Х. : НТУ «ХПІ». – 2005. – № 29. – С.95 – 98.

Поступила в редколлегию 03. 03.2010