

УДК 621.646 : 62-83

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ С ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Соколова Я.В.

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF ENGINEERING EQUIPMENT WITH ELECTRO-HYDRAULIC DRIVE

Sokolova Ya.V.

Предложена типовая математическая модель машиностроительного оборудования с электрогидравлическим приводом оборудования как объекта автоматического управления. Разработана система автоматического управления оборудованием, учитывающая стохастическое возмущение и шум наблюдения. Выполнен анализ качества регулирования системы автоматического управления.

Ключевые слова: машиностроительное оборудование, электрогидравлический привод, насос, гидродвигатель, математическая модель, динамические характеристики, система автоматического управления

Постановка проблемы.

Достижение произвольной кинематики рабочих органов машиностроительного оборудования, возможность программной реализации оптимальных законов движения обеспечивается применением автоматических электрогидравлических приводов (ЭГП). Широкое распространение гидравлических приводов в машиностроительном оборудовании определяется такими важными преимуществами [1–4], к которым, прежде всего, относят возможности получать большие силы и моменты при сравнительно малых размерах гидродвигателей, плавность перемещения и бесступенчатое регулирование скорости в большом диапазоне, малая инерционность, возможность управлять режимами обработки во время движения рабочих органов, простота осуществления прямолинейных возвратно-поступательных движений и автоматического управления рабочими органами, легкость предохранения от перегрузок и высокая эксплуатационная надежность.

Анализ уровня автоматизации машиностроительного оборудования с ЭГП показывает, что существующие системы используют упрощенные математические модели рабочих процессов, не учитывают стохастическое

возмущение и шум наблюдения. Поэтому, для автоматизации процессов управления и синтеза САУ требуются развитые математические модели рабочих процессов, которые протекают в приводах и учитывают особенности технологического назначения оборудования.

Анализ последних исследований и публикаций.

При математическом моделировании динамических характеристик машиностроительного оборудования с ЭГП возникают определенные трудности с описанием рабочих процессов, протекающих в них [5–9]. Кроме процессов, возникающих при выполнении системами запланированных операций в гидроприводе, имеют место колебания давлений, расходов, отдельных деталей вследствие сжимаемости рабочей среды, воздействия рабочей среды на регулирующие устройства, утечки по зазорам и других причин. Сочетание всех этих явлений приводит к сложным нестационарным гидромеханическим процессам, которые необходимо учитывать при проектировании оборудования с ЭГП.

Проблематика расчета и проектирования автоматических ЭГП машиностроительного оборудования, синтеза и исследования САУ оборудованием представлена в работах Навроцкого К.Л., Петракова Ю.В., Попова Д.Н., Струтинского В.Б., Федорца В.А. и др. [1–3].

Следует отметить, что известные подходы к описанию рабочих процессов в машиностроительном оборудовании используют упрощенные математические модели характеристик, не учитывают стохастическое возмущающее действие и шум наблюдения, вследствие чего отсутствуют возможности дальнейшего совершенствования оборудования.

Цель статьи.

Целью данной работы является разработка типовой математической модели ЭГП машиностроительного оборудования как объекта автоматического управления и САУ оборудованием, учитывающей стохастическое возмущение и шум наблюдения.

Материалы и результаты исследования.

В гидравлических приводах машиностроительного оборудования наибольшее распространение получили объемный (машинный) и дроссельный способы регулирования скорости выходного звена гидродвигателя. Сущность объемного управления скоростью рабочего органа состоит в том, что подача жидкости к гидродвигателю изменяется за счет изменения подачи регулируемого насоса, питающего систему. Принцип дроссельного регулирования заключается в том, что часть подачи нерегулируемого насоса отводится через клапан или дроссель на слив, минуя гидродвигатель. В отличие от объемного способа регулирования в системах с дроссельным регулированием подача жидкости насосом всегда больше подачи, необходимой для получения заданной скорости.

В расчетной схеме оборудования с ЭГП с дроссельным регулированием (рис. 1) отображены: электрический блок (ЕБ), электромеханический преобразователь (ЕМП), гидроусилитель (ГП), гидродвигатель (ГД). ЕБ содержит суммирующий (сравнивающий) усилитель, усилитель напряжения, корректирующий контур и усилитель мощности. ЕМП та ГП обычно составляют одно устройство – электрогидравлический усилитель (ЕГПС). В выходном каскаде усиления ЕГПС рассмотрен золотниковый гидроусилитель.

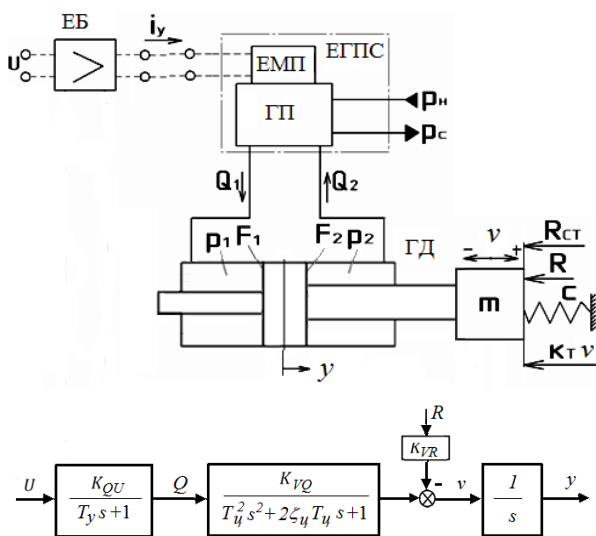


Рис. 1. Расчетная схема ЭГП с дроссельным регулированием и структурная схема его математической модели как объекта автоматического управления

Математическая модель включает следующие уравнения и зависимости [6, 7]:

$$L_y \frac{di_y}{dt} + R_3 i_y = k_{yc} U; \tag{1}$$

$$T_{2y}^2 \frac{d^2 x_3}{dt^2} + T_{1y} \frac{dx_3}{dt} + x_3 = k_{xi} i_y; \tag{2}$$

$$Q_1 = \begin{cases} \mu_3 \pi d_3 k_n (x_3 - h_n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_n - p_1| \text{sign}(p_n - p_1)}, x_3 > h_n; \\ 0, |x_3| \leq h_n; \\ \mu_3 \pi d_3 k_n (x_3 + h_n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_1 - p_c| \text{sign}(p_1 - p_c)}, x_3 < -h_n; \end{cases} \tag{3}$$

$$Q_2 = \begin{cases} \mu_3 \pi d_3 k_n (x_3 - h_n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_2 - p_c| \text{sign}(p_2 - p_c)}, x_3 > h_n; \\ 0, |x_3| \leq h_n; \\ \mu_3 \pi d_3 k_n (x_3 + h_n) \sqrt{\frac{2}{\rho} |p_n - p_2| \text{sign}(p_n - p_2)}, x_3 < -h_n; \end{cases} \tag{4}$$

$$m \frac{dv}{dt} = p_1 F_1 - p_2 F_2 - cy - k_T v - R_{cm} \text{sign} v - R; \tag{5}$$

$$\frac{dy}{dt} = v, \quad -H/2 \leq y \leq H/2; \tag{6}$$

$$\frac{W_{no} + F_1(H/2 + y)}{E_{жс}} \frac{dp_1}{dt} = Q_1 - F_1 v; \tag{7}$$

$$\frac{W_{co} + F_2(H/2 - y)}{E_{жс}} \frac{dp_2}{dt} = -Q_2 + F_2 v; \tag{8}$$

где y, v – перемещение и скорость поршня; p_1, p_2 – давления в полостях гидроцилиндра; m – приведенная масса подвижных частей; F_1, F_2 – эффективные площади; c – жесткость позиционной нагрузки; k_T – коэффициент силы вязкого трения; R_{cm} – сила сухого трения; R – нагрузка; H – ход поршня; $E_{жс}$ – модуль упругости рабочей жидкости; W_{no}, W_{co} – «мертвые» объемы напорной и сливной магистралей; k_{xi} – коэффициент передачи ЕГПС; T_{2y}, T_{1y} – постоянные времени ЕГПС; p_n, p_c – давление насосной станции и на сливе; x_3 – перемещение золотника; h_n – величина положительного перекрытия; μ_3 – коэффициент расхода щели золотника; d_3 – диаметр золотника; k_n – коэффициент полноты использования периметра золотника; ρ – плотность рабочей жидкости; U – входное (управляющее) напряжение; k_{yc} – коэффициент усиления ЕБ; L_y – индуктивность обмотки управления; R_3 – активное сопротивление электрической цепи.

На основе исследования характеристик рабочих процессов разработана типовая математическая модель оборудования с ЭГП с дроссельным регулированием как объекта автоматического управления. Структурна схема математической модели показана на рис. 2, где введены следующие

параметры: T_y – постоянная времени управляющей части привода; T_u – механическая постоянная времени гидроцилиндра; ζ_m – коэффициент относительного демпфирования гидроцилиндра; k_{QU} – коэффициент передачи управляющей части привода; k_{vQ} – коэффициент передачи для скорости по расходу; k_{vR} – коэффициент передачи для скорости по нагрузке.

В расчетной схеме ЭГП с объемным регулированием (рис. 2) обозначены: Ω_n – угловая скорость вала насоса; γ – угол наклона шайбы (блока цилиндров) аксиально-поршневого насоса; Ω – угловая скорость вала гидромотора; α – угол поворота вала гидромотора; Q_n , Q_m – идеальные расходы насоса и гидромотора; Q_{nn} , Q_{nm} – расходы перетечек в насосе и в гидромоторе; Q_{yn1} , Q_{yn2} , Q_{ym1} , Q_{ym2} – расходы утечек в линиях насоса и гидромотора; Q_{n1} , Q_{n2} – расходы подпитки через подпиточные клапаны; p_1 , p_2 – давления в трубопроводах высокого и низкого давлений; p_{nn} – давление в магистрали перед подпиточным клапаном.

Уточненная математическая модель (без процесса регулирования рабочего объема насоса) включает следующие уравнения и зависимости [8, 9]:

$$Q_m + Q_{nn} + Q_{nm} + Q_{yn1} + Q_{ym1} + Q_{сж1} - Q_{n1} - Q_n = 0; \quad (9)$$

$$Q_m + Q_{nn} + Q_{nm} - Q_{yn2} - Q_{ym2} - Q_{сж2} + Q_{n2} - Q_n = 0 \quad (10)$$

$$Q_{nn} = Q_{nm} = Q_{nep}; \quad Q_{yn1} = Q_{ym1} = Q_{ym1}; \quad Q_{yn2} = Q_{ym2} = Q_{ym2}; \quad (11)$$

$$Q_m = \frac{q_m}{2\pi} \Omega = \frac{q_m}{2\pi} \frac{d\alpha}{dt}; \quad Q_n = \frac{q_n}{2\pi} \Omega_n; \\ q_n = F_n z_n D_n t g \gamma; \quad (12)$$

$$Q_{nep} = k_{nep} (p_1 - p_2); \quad Q_{ym1} = k_{ym} p_1; \\ Q_{ym2} = k_{ym} p_2; \quad (13)$$

$$Q_{сж1} = \frac{W_0}{E_{жс}} \frac{dp_1}{dt}; \quad Q_{сж2} = \frac{W_0}{E_{жс}} \frac{dp_2}{dt}; \quad (14)$$

$$M_M - M_{mp} - M_{noz} - M = J \frac{d\Omega}{dt}; \quad \Omega = \frac{d\alpha}{dt}; \quad (15)$$

$$M_M = \frac{q_m}{2\pi} (p_1 - p_2) p_M; \quad M_{noz} = k_{noz} \alpha; \\ M_{mp} = k_{mp} \frac{d\alpha}{dt}; \quad (16)$$

где $Q_{сж1}$, $Q_{сж2}$ – составляющие расхода, которые связаны с компенсацией сжимаемости жидкости (расходы сжатия); $k_{кл}$ – проводимость подпиточного клапана; q_m – рабочий объем гидромотора; q_n – рабочий объем насоса; F_n – рабочая площадь одного поршня (плунжера) насоса; z_n – число поршней; D_n – диаметр окружности, на которой расположены оси

поршней насоса; k_{nep} – проводимость щелей, по которым в насосе и гидромоторе происходит перетечка жидкости из полостей с высоким давлением в полости с низким давлением; k_{ym} – проводимость щелей, по которым происходит утечка жидкости из насоса и гидромотора; J – момент инерции вращающихся с валом гидромотора частей (приведенный момент инерции нагрузки и ротора мотора); W_0 – внутренний объем трубопроводов с подключенными к нему объемами полостей насоса и гидромотора; M_{mp} – момент от сил трения; M_{noz} – момент от действия позиционной нагрузки; M – момент нагрузки; M_M – крутящий момент; k_{noz} – коэффициент жесткости позиционной нагрузки; $k_{mp} = k_{mp1} + k_{mp2}$; k_{mp1} – коэффициент момента от сил трения в гидромоторе; k_{mp2} – коэффициент момента от сил трения в нагрузке.

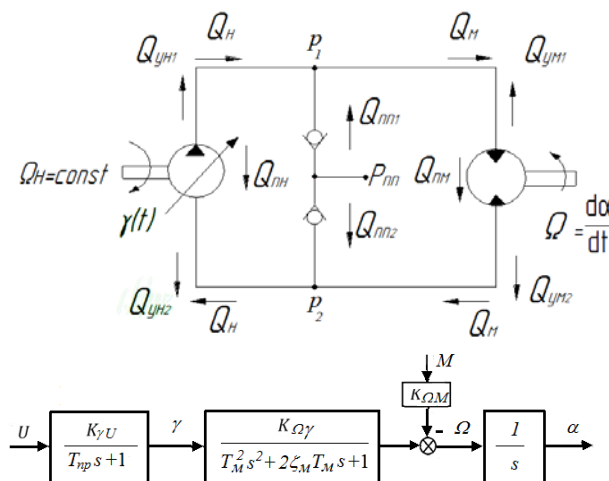


Рис. 2. Расчетная схема ЭГП с объемным регулированием и структурная схема его математической модели как объекта автоматического управления

На основе исследования характеристик рабочих процессов разработана типовая математическая модель машиностроительного оборудования с ЭГП с объемным регулированием как объекта автоматического управления. Структурная схема математической модели показана на рис. 2, где введены следующие параметры: T_{np} – постоянная времени процесса регулирования рабочего объема насоса; T_M – постоянная времени гидромотора; ζ_M – коэффициент относительного демпфирования гидромотора; $k_{\gamma U}$ – коэффициент передачи для угла наклона шайбы (блока цилиндров) по управляющему напряжению; $k_{Q\gamma}$ – коэффициент передачи силовой части привода; $k_{Q\Omega}$ – коэффициент передачи для угловой скорости вращения по нагружающему моменту.

Анализ структурных схем математических моделей ЭГП с дроссельным и объемным способами регулирования (рис. 1, 2) позволил предложить и положить в основу дальнейших исследований единую типовую математическую модель ЭГП

машиностроительного оборудования как объекта автоматического управления. Структурная схема математической модели показана на рис. 3, где обозначены: u – входной сигнал; y – выходная переменная; k_0, T_0 – коэффициент передачи и постоянная времени блока регулирования привода; k, T_1, T_2 – коэффициент передачи и постоянные времени объекта; $V_0(t)$ – стохастическое возбуждающее действие (шум объекта).

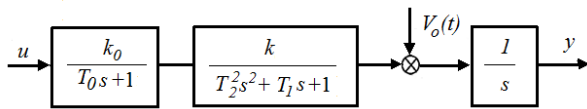


Рис. 3. Структурная схема типовой математической модели

Единая типовая математическая модель стала основой для разработки САУ машиностроительным оборудованием с ЭГП, которая учитывает стохастическое возбуждение объекта и шум наблюдения.

В пространстве состояний уравнения объекта управления были представлены в матричной форме

$$\dot{x} = Ax + Bu + V_0(t), \tag{17}$$

$$y = Cx + V_n(t), \tag{18}$$

де x – фазовый вектор переменных состояния объекта автоматического управления; u – управляющее воздействие; y – выходная переменная; A – матрица параметров объекта управления; B – матрица входных параметров; C – матрица выходных параметров; $V_0(t)$ – «цветной шум» объекта, $V_n(t)$ – шум наблюдения;

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1/T_0 T_2^2 & -(T_0 + T_1)/T_0 T_2^2 & -(T_0 T_1 + T_2^2)/T_0 T_2^2 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ K_0 K / T_0 T_2^2 \end{bmatrix};$$

$$C = [1 \ 0 \ 0 \ 0]$$

Для формирования «цветного шума» объекта рассмотрен формирующий фильтр с передаточной функцией

$$W_\phi(s) = \frac{b_0^* s + b_1^*}{a_0^* s^2 + a_1^* s + a_2^*}, \tag{19}$$

на вход которого подавался стационарный стохастический сигнал $V(t)$ типа «белый шум» со спектральной плотностью $S_V(\omega) = L_V$.

Критерий оптимальности управления рассматривался в виде

$$J = \int_0^{t_f} (\tilde{Q}x^2(t) + \tilde{R}u^2(t)) dt \rightarrow \min, \tag{20}$$

де \tilde{Q} – положительно-определенная матрица, характеризующая качество управления; \tilde{R} – величина ограничения управляющего воздействия.

В связи с тем, что стохастическое возмущающее действие, приложенное к объекту управления, проявляет себя независимо от управляющего сигнала, синтез САУ машиностроительным оборудованием с ЭГП выполнен с учетом аддитивной помехи. Таким образом, решение задачи стохастической линейной оптимальной системы при неполной информации о состоянии в соответствии с методом разделения разбито на две: задачу синтеза оптимального наблюдателя и детерминированную задачу синтеза оптимальной системы [10].

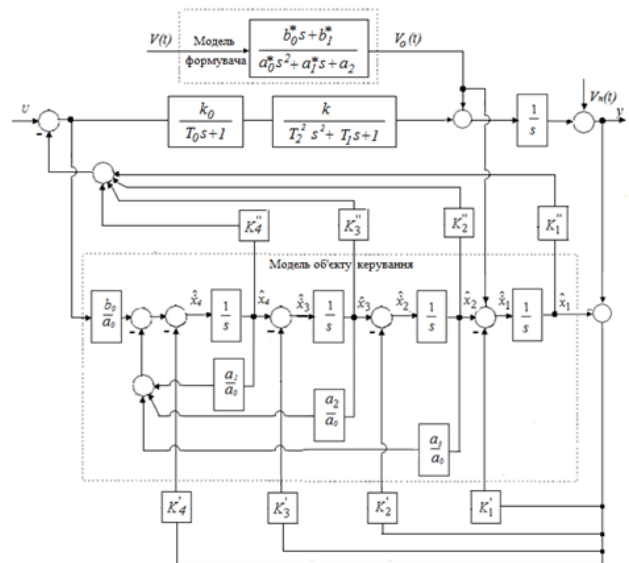


Рис. 4. Структурная схема САУ

Для синтеза оптимального линейного регулятора в соответствии с поставленной задачей использован метод динамического программирования. Функциональное уравнение Беллмана рассматривалось в виде

$$\tilde{Q}x^2 + \tilde{R}u^2 + \frac{\partial S}{\partial x} (A'x + B'u) + \frac{\partial S}{\partial t} = 0. \tag{23}$$

$$2\tilde{R}u + \frac{\partial S}{\partial x} B' = 0. \tag{24}$$

Из уравнения (18) принято выражение для оптимального управления

$$u = -\frac{1}{2} \tilde{R}^{-1} B' \frac{\partial S}{\partial x}. \quad (25)$$

С учетом положительной определенности функции Беллмана для оптимального управления машиностроительным оборудованием с ЭГП получено

$$u = -(K_1'' x_1 + K_2'' x_2 + K_3'' x_3 + K_4'' x_4) \quad (26)$$

где x_1, x_2, x_3, x_4 - фазовые переменные; $K_1'', K_2'', K_3'', K_4''$ - коэффициенты усиления обратной связи.

Структурная схема оптимальной САУ приведена на рис. 4. Отметим, что на схеме обозначены коэффициенты фильтра Калмана-Бьюси - K_1', K_2', K_3', K_4' .

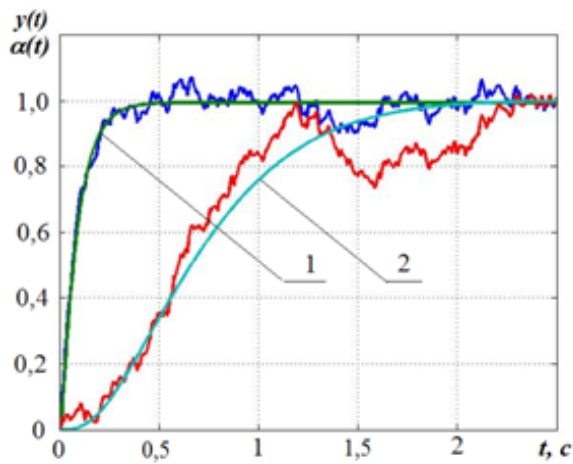


Рис. 5. Переходные процессы в стохастической замкнутой системе без использования и с использованием фильтра Калмана-Бьюси для привода с дроссельным (1) и объемным (2) регулированием

Переходные процессы в стохастической замкнутой САУ машиностроительным оборудованием с ЭГП без использования фильтра Калмана-Бьюси и с использованием фильтра при наличии возмущающего воздействия на объект управления в виде белого шума со спектральной плотностью $S_y(\omega)=1$ и $W_{\phi}(s)=0,025$ приведены на рис. 5. Исследования показали, что в диапазоне возможных параметров возмущения для приводов как с дроссельным (1), так и с объемным (2) регулированием, фильтр Калмана-Бьюси выполняет функцию оптимальной фильтрации, обеспечивает необходимое качество управления машиностроительным оборудованием и уменьшает длительность переходного процесса.

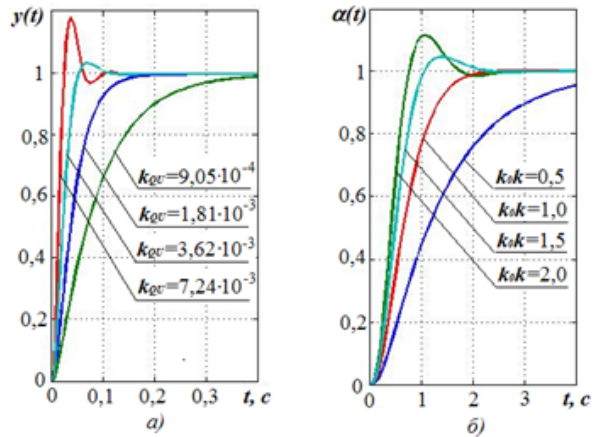


Рис. 6. Влияние на переходные процессы параметров объекта управления: а – привод с дроссельным регулированием; б – привод с объемным регулированием

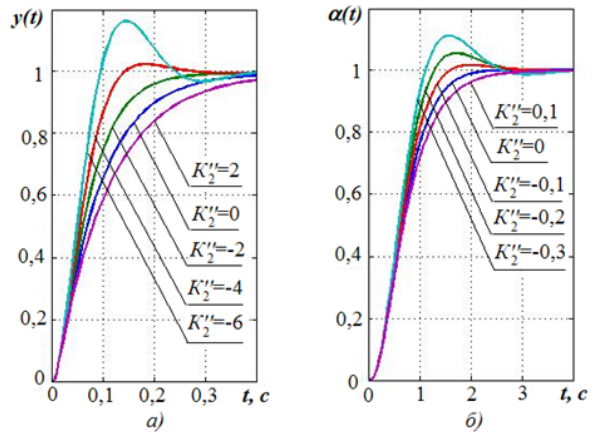


Рис. 7. Влияние на переходные процессы коэффициента K_2'' регулятора:

а – привод с дроссельным регулированием ($K_1''=108$); б – привод с объемным регулированием ($K_1''=1,35$)

Выполнено исследование САУ, в частности, влияние параметров объекта управления и оптимального регулятора на качество переходного процесса. На рис. 6 приведены переходные процессы в системе для привода с дроссельным регулированием (а) при разных значениях коэффициента передачи k_{QV} ($m^3/(cB)$) и привода с объемным регулированием (б) при разных значениях безразмерного коэффициента передачи прямого пути $k_{\phi k}$. На рис. 7 показаны переходные процессы при разных коэффициентах передачи K_2'' регулятора для привода с дроссельным регулированием (а) при $K_1''=108$ и привода с объемным регулированием (б) при $K_1''=1,35$.

Выводы.

Таким образом, предложена типовая математическая модель ЭГП машиностроительного оборудования как объекта автоматического управления и разработана САУ оборудованием, учитывающая стохастическое возмущение и шум наблюдения. Выполнен анализ качества регулирования САУ.

Л и т е р а т у р а

1. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов. [Текст] – М.: Машиностроение, 1991. – 384 с.
2. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков [Текст] / В.А. Федорец, М.Н. Педченко, А.Ф. Пичко, Ю.В. Пересадко, В.С. Лысенко; Под ред. В.А. Федорца. – К.: Вища шк., 1987. – 375 с.
3. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. [Текст] – М.: Машиностроение, 1987. – 464 с.
4. Соколова Я.В. Совершенствование электрогидравлических приводов машиностроительного оборудования [Текст]: монография / Я.В. Соколова, Н.Г. Азаренко, Д.С. Грешной.– Луганск: ВГУ им. В. Даля.– 2014.– 100 с.
5. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы. [Текст] – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.
6. Соколова Я.В. Моделирование автоматических электрогидравлических приводов специального технологического оборудования [Текст]: монография / Я.В. Соколова, Т.Я. Таванюк. – Донецк: Ноулидж. – 2013. – 52 с.
7. Соколова Я.В. Нелинейная математическая модель электрогидравлического следящего привода с дроссельным регулированием [Текст] / Я.В. Соколова, Т.Я. Таванюк, В.И. Соколов // Вісн. Східноукр. націон. ун-ту ім. В. Даля. - 2010. - № 10 (152). – С. 168 – 175.
8. Sokolov V. Simulation of the power unit of the automatic electrohydraulic drive with volume regulation [Text] / V. Sokolov, N. Azarenko, Ya. Sokolova // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. – Vol. 12. – N 4. – 2012. - Lublin, Poland. - pp. 268 - 273.
9. Соколов В.И. Моделирование силовой части автоматического электрогидравлического привода с объемным регулированием [Текст] / В.И. Соколов, Н.Г. Азаренко, Я.В. Соколова // Вісн. Східноукр. націон. ун-ту ім. В. Даля. – 2012. - № 12 (183). - Ч.1. – С. 260 - 270.
10. Ким Д.П. Теория автоматического управления. [Текст] Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: учебное пособие. – М.: Физматлит, 2004. – 464 с.

R e f e r e n c e s

1. Navrotskyi K.L. Teoryia y proektyrovanye hydro- y pnevmopryvodov. [Tekst] – М.: Mashynostroenye, 1991. – 384 s.
2. Hydropryvodu y hydro pnevmoavtomatyka stankov [Tekst] / V.A. Fedorets, M.N. Pedchenko, A.F. Pychko, Yu.V. Peresadko, V.S. Lusenko; Pod red. V.A. Fedortsa. – К.: Vyshcha shk., 1987. – 375 s.

3. Popov D.N. Dynamyka y rehulyrovanye hydro- y pnevmosystem. [Tekst] – М.: Mashynostroenye, 1987. – 464 s.
4. Sokolova Ya.V. Sovershenstvovanye elektrohydraulicheskyykh pryvodov mashynostroytelnoho oborudovanyia [Tekst]: monohrafiya / Ya.V. Sokolova, N.H. Azarenko, D.S. Hreshnoi. – Luhansk: VNU ym. V. Dalia. – 2014. – 100 s.
6. Popov D.N. Nestatsyonarnue hydromekhanicheskye protsessu. [Tekst] – М.: Mashynostroenye, 1982. – 240 s.
7. Sokolova Ya.V. Modelyrovanye avtomaticheskyykh elektrohydraulicheskyykh pryvodov spetsyalnoho tekhnolohycheskoho oborudovanyia [Tekst]: monohrafiya / Ya.V. Sokolova, T.Ya. Tavaniuk. – Donetsk: Noulydzh. – 2013. – 52 s.
8. Sokolova Ya. V. Nelyneinaia matematycheskaia model elektrohydraulicheskoho slediashcheho pryvoda s drosselnum rehulyrovanyem [Tekst] / Ya.V. Sokolova, T.Ya. Tavaniuk, V.Y. Sokolov // Visn. Skhidnoukr. natsion. un-tu im. V. Dalia. - 2010. - # 10 (152). – S. 168 – 175.
9. Sokolov V. Simulation of the power unit of the automatic electrohydraulic drive with volume regulation [Text] / V. Sokolov, N. Azarenko, Ya. Sokolova // TEKA Commission of Motorization and Energetic in Agriculture. – Vol. 12. – N 4. – 2012. - Lublin, Poland. - pp. 268 - 273.
10. Sokolov V.Y. Modelyrovanye sylovoi chasty avtomaticheskoho elektrohydraulicheskoho pryvoda s obuemnym rehulyrovanyem [Tekst] / V.Y. Sokolov, N.H. Azarenko, Ya.V. Sokolova // Visn. Skhidnoukr. natsion. un-tu im. V. Dalia. – 2012. - # 12 (183). - Ch.1. – S. 260 - 270.

Соколова Я.В. Система автоматического управления машинобудівного устаткування з електрогидравлічним приводом.

Запропоновано типову математичну модель машинобудівного обладнання з електрогидравлічним приводом обладнання як об'єкту автоматичного управління. Розроблено систему автоматичного управління обладнанням, що враховує стохастичне обурення й шум спостереження. Виконано аналіз якості регулювання системи автоматичного управління.

Ключові слова: машинобудівне обладнання, електрогидравлічний привід, насос, гідродвигун, математична модель, динамічні характеристики, система автоматичного управління

Sokolova Ya.V. Automatic control system engineering equipment Electro-hydraulic

A mathematical model of a typical building equipment with electro-hydraulic automatic control equipment as the object. A system of automatic control equipment, taking into account the stochastic disturbance and noise monitoring. The analysis of the quality of the automatic control system of regulation.

Keywords: engineering equipment, electro-hydraulic pump, hydraulic motor, mathematical model, dynamic performance, automatic control system

Соколова Яна Володимирівна – к.т.н., доц., докторант кафедри машинобудування та прикладної механіки, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля (м. Северодонецьк) ya.v.sokolova@inbox.ru

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**