

УДК 62-50:621.83

А. А. Репин, В. П. Казаков

## АДАПТИВНО-СИНЕРГЕТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

*Рассматриваются развитие адаптивно-синергетического подхода к созданию высокоэффективных систем управления сложными электромеханическими (электромеханотронными) объектами с бесконтактными синхронными электроприводами. Выполнены разработка, программная реализация и исследование моделированием адаптивно-синергетической системы управления бесконтактным синхронным электроприводом механизма подачи металлорежущего станка.*

### Синергетический подход, метод АКАДР, электромеханотронный модуль, станок с ЧПУ

Современное промышленное оборудование на предприятиях представлено автоматическими многооперационными станками (МС) с числовым программным управлением (ЧПУ) – так называемыми гибкими производственными модулями. Точность обработки на таких станках, напрямую определяющая качество изделия [1], зависит прежде всего от точности позиционирования исполнительных органов (стола или патрона с заготовкой и шпинделей с соответствующими инструментами), перемещение которых осуществляется различными видами механизмов подачи с электрическим приводом (ЭП).

Применение в этих механизмах бесконтактных синхронных электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), кинематически непосредственно связанных с ходовым винтом, а также преобразователей частоты (ПЧ) с IGBT- и MOSFET-силовыми ключами, обеспечивающих практически синусоидальный ток в обмотках статора, позволило существенно расширить полосу пропускания ЭП-подач, улучшить их коэффициент мощности и КПД [2].

Являясь частью сложного взаимосвязанного производственного комплекса, цифровой бесконтактный синхронный ЭП чаще всего решает локальную задачу стабилизации скорости вращения вала двигателя. Причем от точности поддержания этой скорости на заданном уровне напрямую зависит качество общего технологического процесса. Данное обстоятельство предполагает жесткие требования к системе управления, в первую очередь

в отношении инвариантности к изменениям параметров нагрузки на валу, а также к изменениям параметров самого двигателя, неизбежным в процессе эксплуатации. В этой связи очевидной становится необходимость перехода от построения цифровых систем управления по принципам подчиненного регулирования к новым методам оптимального и адаптивно-самоорганизующегося управления.

Современное состояние теории синтеза оптимальных регуляторов связано с развитием новых методов, опирающихся на физический подход и принципы синергетики. Методы, развитые в трудах научной школы профессора А. А. Колесникова [3], и прежде всего метод аналитического конструирования агрегированных дискретных регуляторов (АКАДР), базирующийся на принципах направленной самоорганизации и управляемой динамической декомпозиции нелинейных систем, позволяют осуществлять аналитический синтез СУ сложными многосвязными и многомерными объектами.

Таким образом, анализ состояния проблемы совершенствования процессов механической обработки позволяет сформулировать соответствующую теме основную цель данной научно-исследовательской работы – разработку энергосберегающего цифрового синергетического алгоритма векторного управления электромеханотронным модулем бесконтактного синхронного электропривода, обеспечивающего по сравнению с известными алгоритмами лучшие технические характеристики механизма подачи металлорежущего станка с ЧПУ.

**Синтез дискретных алгоритмов управления электромеханическими объектами на основе адаптивно-синергетического подхода.** В общем случае электрическая и механическая части приводов подач современных обрабатывающих центров и станков с ЧПУ выполняются в соответствии с функциональной схемой, представленной на рис. 1 [4].

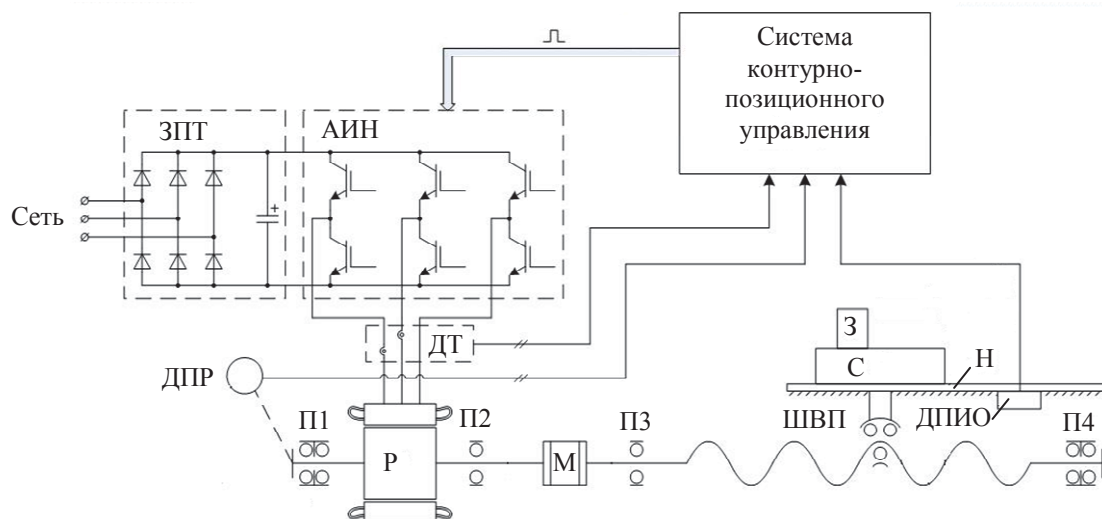


Рис. 1

Основным элементом МП является шариковинтовая пара ШВП, преобразующая вращательное движение ротора двигателя Р, соединенного с винтом через сильфонную муфту М, в поступательное движение стола С, перемещаемого вместе с установленной на нем заготовкой З по направляющим Н. Регулирование скорости вращения двигателя и положения стола осуществляется системой контурно-позиционного управления, вырабаты-

вающей на основе информации, поступающей с датчиков тока ДТ, положения ротора ДПР и исполнительного органа ДПИО, сигналы управления транзисторными ключами двухзвенного ПЧ, состоящего из автономного инвертора АИН и звена постоянного тока ЗПТ.

Для угловых и линейных перемещений, скоростей, усилий и моментов, а также сигналов обратных связей и управления на рис. 1 введены следующие обозначения:  $M_{ЭМ}(i_u^*, i_v^*, \omega_p^*, \gamma_p^*, x_{ИО}^*, t)$ ,  $\omega_{ДВ}(i_u^*, i_v^*, \omega_p^*, \gamma_p^*, x_{ИО}^*, t)$  – соответственно электромагнитный момент и угловая скорость ротора СДПМ;  $M_B(\varphi, t)$ ,  $\omega_B(\varphi, t)$  – момент и угловая скорость в сечении винта, соответствующем текущему положению гайки ШВП;  $v_{П}(x, t)$ ,  $F_{П}(x, t)$ ,  $F_{рез}(x, t)$ ,  $F_{тр\_н}(x, t)$  – соответственно скорость, усилие подачи, передаваемое винтом ШВП, усилие сопротивления, возникающее при обработке заготовки, и усилие трения о направляющие, соответствующие текущему положению линейно перемещаемого узла;  $M_{тр\_п1...4}(\omega_{ДВ})$ ,  $M_{тр\_швп}(\omega_B)$  – соответственно моменты трения в подшипниковых узлах П1...П4 и ШВП;  $i_u^*$ ,  $i_v^*$ ,  $\omega_p^*$ ,  $\gamma_p^*$ ,  $x_{ИО}^*$  – выходные сигналы датчиков ДТ, ДПР и ДПИО;  $U_{y1...6}$  – сигналы управления ключами АИН.

Обобщенная динамическая модель, построенная на базе уравнений комплексной системы «БСЭП – механизм подачи» [5] с учетом взаимосвязей основных элементов, представленных на функциональной схеме (рис. 1), в пространстве состояний имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}(\mathbf{x})\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u} - \mathfrak{D}(\mathbf{x}) - \mathbf{Cz}; \\ \dot{\mathbf{z}} = \Delta\Phi_1(\mathbf{x}, \mathbf{y}); \\ \dot{\mathbf{y}} = \Gamma(\mathbf{y})\mathbf{y} + \Phi_2(\mathbf{x}), \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mathbf{x} \in \mathfrak{R}^6$  – вектор фазовых координат;  $\mathbf{u} \in \mathfrak{R}^2$  – вектор управляющих воздействий;  $\mathbf{z}, \mathbf{y} \in \mathfrak{R}^2$  – векторы промежуточных переменных;

$$\mathbf{A}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L_d} & \frac{L_q}{L_d} x_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{L_d}{L_q} x_3 & -\frac{R_s}{L_q} & -\frac{\Psi_{пм}}{L_q} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3p_{п}^2(L_d - L_q)}{2J} x_1 & \frac{3p_{п}^2\Psi_{пм}}{2J} & -\frac{\beta_{12}}{J} & \frac{p_{п}\beta_{12}}{J\rho} & -\frac{p_{п}c_{12}}{J} & \frac{p_{п}c_{12}}{J\rho} \\ 0 & 0 & \frac{\beta_{12}}{m\rho p_{п}} & -\left(\frac{\beta_{12}}{m\rho^2} + \frac{\alpha}{m}\right) & \frac{c_{12}}{m\rho} & -\frac{c_{12}}{m\rho^2} \\ 0 & 0 & \frac{1}{p_{п}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_d} & 0 \\ 0 & \frac{1}{L_q} \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathfrak{D}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{(F_{\text{тр}} + F_{\text{рез}})}{m} \text{sign } x_4 + \frac{\beta}{m} \text{th}(\gamma x_4) \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_{ds} \\ i_{qs} \\ \omega_{\text{эл}} \\ v \\ \varphi \\ x \end{bmatrix}; \quad \mathbf{u} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{ds} \\ u_{qs} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{y} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{\Gamma}(\mathbf{y}) = \begin{bmatrix} (x_{\text{max}}^2 - y_1^2 - y_2^2) & \omega_0 & 0 \\ \omega_0 & (x_{\text{max}}^2 - y_1^2 - y_2^2) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{\Phi}_1(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \begin{bmatrix} x_1 - x_{1z} \\ y_1 \\ y_3 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{\Phi}_2(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ x_6 - x_{6z} \end{bmatrix};$$

$$\mathbf{\Delta} = \begin{bmatrix} \delta_1 & 0 & 0 \\ 0 & \delta_2 & \delta_3 \end{bmatrix}; \quad x_{1z} = i_{ds}^{\text{опт}}; \quad x_{6z} = x_z; \quad R_S - \text{сопротивление обмотки статора}; \quad L_d, L_q -$$

индуктивности обмотки статора по осям  $d$  и  $q$  соответственно;  $\Psi_{\text{ПМ}}$  – эквивалентное потокоцепление от постоянных магнитов;  $p_{\text{п}}$  – число пар полюсов СДПМ;  $J$  – приведенный к вращательному движению суммарный момент инерции элементов механизма, жестко связанных с валом СДПМ (ротор и полумуфта на роторе);  $m$  – приведенная к поступательному движению суммарная масса элементов механизма, жестко связанных с исполнительным органом (полумуфта на валу винта ШВП, ходовой винт, гайка ШВП, стол и заготовка);  $c_{12}$  – коэффициент, характеризующий жесткость упругого элемента муфты;  $\beta_{12}$  – коэффициент демпфирования колебаний, возникающих в упругом элементе муфты;  $\rho$  – радиус приведения линейных перемещений масс механической системы к угловым;  $F_{\text{тр}}$  – среднее значение усилия трения о направляющие,  $F_{\text{рез}}$  – усилие резания;  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$  – постоянные коэффициенты;  $y_1, \dots, y_3$  – переменные генератора задающего воздействия  $x_z(t)$ ;  $x_{\text{max}}$  – амплитуда и  $\omega_0$  – частота генератора гармонических колебаний в виде известной модели Пуанкаре.

Для синтеза цифровых алгоритмов управления применяем метод разностной аппроксимации, представляющий математическую модель объекта в виде системы нелинейных разностных уравнений. Следуя далее процедуре АКАДР, применим одношаговую разностную схему Эйлера [6]:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}[k+1] = \mathbf{F}(\mathbf{x}[k])\mathbf{x} + \mathbf{D}\mathbf{u} - \mathfrak{F}(\mathbf{x}[k]) - \mathbf{Q}\mathbf{z}; \\ \dot{\mathbf{z}}[k+1] = \mathbf{\Theta}\mathbf{\Phi}_1(\mathbf{x}[k], \mathbf{y}[k]); \\ \dot{\mathbf{y}}[k+1] = \mathbf{\Xi}(\mathbf{y}[k])\mathbf{y}[k] + \mathbf{\Phi}_2(\mathbf{x}[k]), \end{cases} \quad (2)$$

где  $\mathbf{F}(\mathbf{x}[k]) = \mathbf{I}_6 + T_0\mathbf{A}(\mathbf{x}[k])$ ;  $\mathbf{D} = T_0\mathbf{B}$ ;  $\mathbf{Q} = T_0\mathbf{C}$ ;  $\mathbf{\Xi}(\mathbf{y}[k]) = T_0\mathbf{\Gamma}(\mathbf{y})$ ;  $\mathbf{\Theta} = T_0\mathbf{\Lambda}$ ;  $k = 0, 1, 2, \dots$ ;  $T_0$  – интервал дискретизации по времени;  $\mathbf{I}_6$  – единичная матрица размером  $6 \times 6$ .

Согласно методу АКАДР [6], полагая здесь и далее  $L_d = L_q = L_s$ , для модели (2) определим вектор агрегированных макропеременных  $\mathbf{\Psi}^1[k] = \mathfrak{R}^2$ . Решая на первом этапе синтеза задачу выполнения энергетического инварианта, выберем следующий вид этого вектора:

$$\mathbf{\Psi}^1[k] = \mathbf{P}(\mathbf{x}^1[k] - \mathbf{x}_0^1 + \mathbf{\phi}^1[k]), \quad (3)$$

где  $\mathbf{\Psi}^1[k] = [\Psi_1^1[k] \quad \Psi_2^1[k]]^T$  – вектор макропеременных;  $\mathbf{\phi}^1[k] = [\phi_1^1[k] \quad \phi_2^1[k]]^T$  – вектор внутренних управлений;  $\mathbf{x}^1[k] = [x_1[k] \quad x_1[k]]^T$ ;  $\mathbf{x}_0^1 = [x_{10} \quad 0]$ ;  $\mathbf{P}$  – числовая невырожденная матрица размера  $2 \times 2$ .

Для обеспечения асимптотической устойчивости в целом движения системы относительно  $\mathbf{\Psi}^1[k] = 0$  вектор макропеременных (3) удовлетворяет решению однородного разностного уравнения

$$\mathbf{\Psi}^1[k+1] + \mathbf{\Lambda}^1\mathbf{\Psi}^1[k] = 0, \quad (4)$$

где  $\mathbf{\Lambda}^1 = \text{diag}(\lambda_1^1, \lambda_2^1)$ ,  $|\lambda_1^1| < 1$ ,  $|\lambda_2^1| < 1$ .

В результате попадания изображающей точки на параллельную совокупность многообразий  $\mathbf{\Psi}^1[k] = 0$  происходит точная динамическая декомпозиция замкнутой системы «БСЭП–регулятор»:

$$\left\{ \begin{array}{l} x_3[k+1] = -\frac{T_0 3 p_{\Pi}^2 \Psi_{\text{пм}}}{2J} \phi_2^1[k] - \frac{T_0 p_{\Pi} c_{12}}{J} x_5[k] + \frac{T_0 p_{\Pi} c_{12}}{J p} x_6[k] + \\ \quad + \left(1 - \frac{T_0 \beta_{12}}{J}\right) x_3[k] + \frac{T_0 p_{\Pi} \beta_{12}}{J p} x_3[k]; \\ x_4[k+1] = \frac{T_0 c_{12}}{m p} x_5[k] - \frac{T_0 c_{12}}{m p^2} x_6[k] + \frac{T_0 \beta_{12}}{m p p_{\Pi}} x_3[k] + \left(1 - \frac{T_0 \beta_{12}}{m p^2} - \frac{T_0 \alpha}{m}\right) x_4[k] - \\ \quad - \frac{T_0 (F_{\text{тр}} + F_{\text{рез}})}{m} \text{sign } x_4[k] + \frac{T_0 \beta}{m} \text{th}(\gamma x_4[k]); \\ x_5[k+1] = \frac{T_0}{p_{\Pi}} x_3[k]; \quad x_6[k+1] = T_0 (x_4[k] - z_2[k]); \\ z_1[k+1] = -T_0 \delta_1 \phi_1^1; \quad z_2[k+1] = T_0 \delta_2 y_1[k] + T_0 \delta_3 y_3[k]; \\ y_1[k+1] = T_0 (x_{\text{max}}^2 - y_1^2[k] - y_2^2[k]) y_1[k] + T_0 \omega_0 y_2[k]; \\ y_2[k+1] = T_0 (x_{\text{max}}^2 - y_1^2[k] - y_2^2[k]) y_2[k] + T_0 \omega_0 y_1[k]; \quad y_3[k] = T_0 (x_6[k] - x_{6z}). \end{array} \right. \quad (5)$$

Очевидно, что решение уравнения  $z_1[k+1] = -T_0\delta_1\phi_1^1[k]$  устойчиво при внутреннем управлении  $\phi_1^1[k] = z_1[k]$ .

На следующем этапе синтеза для декомпозированной системы (5) введем макропеременную

$$\Psi_1^2[k] = \eta_1 x_3[k] + \eta_2 x_4[k] + \eta_3 z_2[k], \quad (6)$$

которая удовлетворяет решению разностного уравнения

$$\Psi_1^2[k+1] + \lambda_1^2 \Psi_1^2[k] = 0, \quad (7)$$

где  $|\lambda_1^2| < 1$  обеспечивает асимптотическую устойчивость движения изображающей точки в окрестности многообразия  $\Psi_1^2[k] = 0$ , в результате чего выполняется технологический инвариант.

Из совместного решения (5)–(7) найдем внутреннее управление

$$\begin{aligned} \phi_2^1[k] = & \frac{2T_0(\lambda_1^2 J - \beta_{12})}{3p_{\Pi}^2 \Psi_{\Pi\Pi}} x_3[k] + \frac{2T_0(\eta_1 p_{\Pi} \beta_{12} + \eta_2 J \rho)}{3\rho \eta_1 p_{\Pi}^2 \Psi_{\Pi\Pi}} x_4[k] - \frac{2T_0 c_{12}}{3p_{\Pi} \Psi_{\Pi\Pi}} x_5[k] + \\ & + \frac{2T_0[\eta_1 p_{\Pi} c_{12} + J\rho(\eta_3 + \lambda_1^2 \eta_2)]}{3\rho \eta_1 p_{\Pi}^2 \Psi_{\Pi\Pi}} x_6[k] + \frac{2T_0 J(\lambda_1^2 \eta_3 - \eta_2)}{3\eta_1 p_{\Pi}^2 \Psi_{\Pi\Pi}} y_3[k] - \frac{2T_0 \eta_3 J x_{6z}}{3\eta_1 p_{\Pi}^2 \Psi_{\Pi\Pi}}. \end{aligned} \quad (8)$$

Элементы вектора управления, являющегося цифровым векторным алгоритмом регулирования исполнительного органа, определим, совместно решая (2)–(4) с учетом (8), и получим следующее выражение:

$$\mathbf{u}[k] = -(\mathbf{D}^1)^{-1} [\mathbf{F}^1(\mathbf{x}[k])\mathbf{x}[k] - \mathbf{\Theta}\Phi_1(\mathbf{x}[k], \mathbf{y}[k]) + \boldsymbol{\phi}^1[k+1] + \mathbf{P}^{-1}\mathbf{\Lambda}^1\Psi^1[k]], \quad (9)$$

$$\text{где } \mathbf{F}^1(\mathbf{x}[k]) = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T_0 R_s}{L_s} & T_0 x_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -T_0 x_3 & -\frac{T_0 R_s}{L_s} & -\frac{T_0 \Psi_{\Pi\Pi}}{L_q} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{D}^1 = \begin{bmatrix} \frac{T_0}{L_d} & 0 \\ 0 & \frac{T_0}{L_q} \end{bmatrix}.$$

**Моделирование.** Переходный процесс относительно положения исполнительного органа при отслеживании комбинированного задающего воздействия, включающего в себя постоянную, линейно нарастающую и гармоническую составляющие, представлен на рис. 2.

Результаты моделирования подтверждают, что синтезированная цифровая система управления следящим БСЭП асимптотически устойчива относительно желаемого состояния и с высокой точностью обрабатывает заданные технологические установки. Расчет статических и динамических характеристик синтезированной системы БСЭП проводился для следующих значений параметров СДПМ, механической части и алгоритма управления:  $\omega_{\text{н}} = 340$  рад/с;  $\omega_{\text{max}} = 700$  рад/с;  $M_{\text{н}} = 17.1$  Н·м;  $I_{\text{н}} = 15$  А;  $R_s = 0.205$  Ом;  $R_c = 1.21$  кОм;  $L_d = 5.5$  мГн;  $L_q = 6$  мГн;  $\Psi_{\Pi\Pi} = 0.193$  Вб;  $p_{\Pi} = 4$ ;  $J = 0.04$  кг·м<sup>2</sup>;

$m = 2100 \text{ кг}$ ;  $c_{12} = 3.25 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ ;  $\beta_{12} = 0.01 \text{ Н} \cdot \text{м/рад}$ ;  $h_B = 0.01 \text{ м}$ ;  $F_{\text{тр}} = 3.5 \text{ кН}$ ;  $F_{\text{рез}} = 2 \text{ кН}$ ;  
 $\alpha = 100$ ;  $\beta = 1500$ ;  $\gamma = 1$ ;  $p_{11} = p_{22} = 1$ ;  $p_{12} = p_{21} = 3$ ;  $\delta_1 = 30$ ;  $\delta_2 = \delta_3 = 50$ ;  $\eta_1 = \eta_2 = 2$ ;  
 $\eta_3 = 10$ ;  $\lambda_1^1 = \lambda_2^1 = -0.8$ ;  $\lambda_1^2 = -0.9$ .

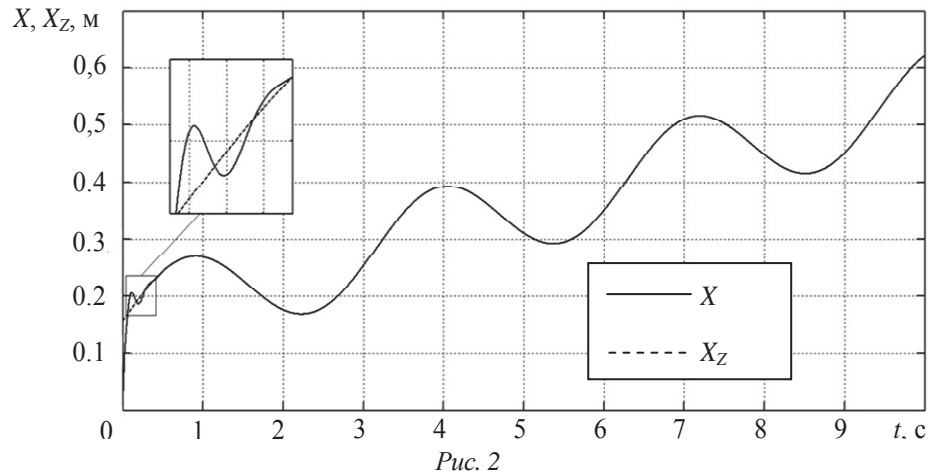


Рис. 2

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы. Синтезированный цифровой энергосберегающий синергетический алгоритм управления БСЭП механизма подачи МС с ЧПУ, определяемый соотношением (9), обеспечивает высокую точность позиционирования исполнительного органа в режиме слежения за задающим сигналом. Синергетический подход показал себя высокоэффективным инструментом при решении задачи синтеза системы управления, координирующей работу такого существенно нелинейного объекта, как БСЭП подачи обрабатывающего центра с ЧПУ.

Статья написана в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. по лоту 2012-1.4-12-000-2012.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 230-2:2006. Test code for machine tools – part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes.
2. Островлянич В. Ю., Осипов Е. П., Богдановская Т. В. Концепция построения современных систем автоматизированного электропривода // Тр. IV Междунар. (XV Всерос.) конф. по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004, Магнитогорск, 14–17 сент. 2004 г.). Ч. 1. Магнитогорск, 2004. С. 178–180.
3. Синергетика и проблемы теории управления / Под ред. А. А. Колесникова. М.: Физматлит, 2004. 2
4. Системы управления взаимосвязанными электроприводами с упругими звеньями и зазорами в кинематических передачах / С. В. Тарарькин, В. В. Тютиков, В. А. Иванков, Е. В. Красильникъянц // Изв. ТРТУ. 2007. № 3. С. 13–20.
5. R. Monajemy, R. Krishnan. Control and dynamics of constant power loss based operation of permanent magnet synchronous motor. Ind. Electronics Conf. Nov. 29–Dec. 3, 1999 // IEEE. P. 1452–1457.
6. Синергетика: процессы самоорганизации и управления: Учеб. пособие; В 2 ч. Ч. I. / Под общ. ред. А. А. Колесникова. Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2004.

A. A. Repin, V. P. Kazakov

#### ADAPTIVE AND SYNERGETIC CONTROL OF ELECTROMECHANOTRONIC OBJECTS

*The papers deals with development of the adaptive synergistic approach to high efficient control systems design for complex electromechanical (electromechanotronic) objects with brushless synchronous electric drives. Design, software implementation and modeling research an of adaptive-synergic control system for CNC tool brushless synchronous electric feed drives are described.*

**Synergetic approach, ADADR method, electromechanotronic module, CNC tool**