

погрешность передачи ВЗП-80 примерно в два раза, если смещение кулачка находится в пределах $70 \div 110$ мкм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Истомин С.Н. Кинематическая точность приборных волновых передач /С.Н. Истомин, С.А. Шузалов, П.К. Попов и др. – М.: Машиностроение, 1987. – 160 с.
2. Емельянов А.Ф., Попов П.К., Фирсаев А.Ф. Расчет кинематической погрешности волновой зубчатой передачи с учетом податливости звеньев //Вестник машиностроения. – 1983. – №7. – С.9–12.
3. Клеников С.С., Люминарский И.Е., Семин И.И. Расчетная модель волновых передач с учетом несимметрии нагружения элементов по волнам зацепления // Вестник машиностроения. – 1993. – № 1. – С. 17–19.
4. Бидерман В.Л. Теория механических колебаний. – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
5. Клеников С.С., Люминарский И.Е., Люминарский С.Е. Шаговый поиск опорных систем, нагруженных односторонних связей методом введения восстанавливающих сил // Известия вузов. Машиностроение. – 1987. – № 7. – С. 34–40.

666.1.4:681.7.088.4

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ВЫТЯЖКИ ОПТИЧЕСКИХ СТЕРЖНЕЙ

Асп. Л.Б. АЛЕКСЕЕВА, д-р техн. наук, проф. В.В. МАКСАРОВ

Рассматривается зона формирования оптического стержня как объект управления. Исследуется передаточная функция системы, включающей управляющее устройство и объект управления. Определены области параметров, в которых система устойчива.

Оптические стержни (световоды) получают методом вытягивания из разогретой стекломассы. Один из важнейших показателей качества вытягиваемого стержня – стабильность размеров поперечного сечения по его длине. Такой технологический процесс требует постоянного

контроля и управления. Объектом управления является зона формирования световода, в которой стекломасса находится в упруговязком состоянии.

Для оценки устойчивости автоматизированной системы управления (АСУ) необходимо определить передаточную функцию. Для рассматриваемого технологического процесса эта функция имеет вид

$$\Phi = \frac{W_{УУ}W_{ОУ}}{1 + W_{УУ}W_{ОУ}}, \quad (1)$$

где $W_{УУ}, W_{ОУ}$ – передаточные функции соответственно управляющего устройства и объекта управления.

Основные элементы управляющего устройства, определяющие характер переходных процессов — это электропривод и механизм вытяжки. Управление процессом вытягивания осуществляется, как правило, с помощью регулирования скорости выходного звена механизма вытяжки.

Обычно в электрических приводах вытяжных устройств используются электродвигатели постоянного тока, имеющие линейную механическую характеристику. В этом случае для оценки передаточной функции управляющего устройства можно использовать линейное дифференциальное уравнение вида [1]

$$\tau_m \tau_d \ddot{\omega} + \tau_m \dot{\omega} + \omega = \frac{1}{k} (M_0 - M_c), \quad (2)$$

где ω – угловая скорость выходного звена механизма вытяжки; $\tau_m = \frac{I}{k}$ – постоянная времени механизма вытяжки; I – приведенный момент инерции; k – крутизна механической характеристики двигателя; τ_d – постоянная времени двигателя; M_0, M_c – соответственно пусковой момент двигателя и момент сил сопротивления.

Отметим, что в (2) все величины, в том числе k , приведены к выходному звену механизма вытяжки. Правая часть уравнения (2) определяет значение угловой скорости звена привода, на которую перестраивается механизм вытяжки после подачи управляющего сигнала на двигатель.

Для оценки передаточной функции объекта управления используем уравнение вида

$$m \ddot{x} + \eta \dot{x} + c x = f(t), \quad (3)$$

где $x(t)$ – изменение длины зоны формирования; m – количество стекломассы в зоне формирования; η, c – коэффициенты демпфирования и упругости стекломассы; $f(t) = 1(t)$ при $t \geq 0$ – единичный импульс.

Передаточные функции W_{YU} , W_{OU} , полученные на основе уравнений (2), (3), имеют вид

$$W_{YU} = (T_1 p^2 + T_2 p + 1)^{-1}; \quad (4)$$

$$W_{OU} = (T_3 p^2 + T_4 p + 1)^{-1}, \quad (5)$$

где $T_1 = \tau_m \tau_n$; $T_2 = \tau_m$; $T_3 = m/c$; $T_4 = \eta/c$; p — оператор в преобразовании Лапласа, равный $p^n = d^n / dt^n$.

На основании (1), (4), (5) после преобразований получим характеристическое уравнение четвертого порядка

$$a_4 p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0 = 0,$$

где $a_4 = T_1 T_3$; $a_3 = T_1 T_4 + T_2 T_3$; $a_2 = T_1 + T_2 T_4 + T_3$; $a_1 = T_2 + T_4$; $a_0 = 2$.

Анализ устойчивости с помощью алгебраического критерия Рауса—Гурвица показал, что рассматриваемая система устойчива, если выполняется следующее условие

$$\left(\frac{\pi^2 \tau^2}{\xi^2} + 4\pi \tau n + 4n^2 \right) + \xi^2 \left(4 + \frac{4n}{\pi \tau} + \frac{1}{\pi^2 \tau^2} \right) > \frac{\xi^2}{\pi \tau n} + \frac{\pi \tau n}{\xi^2}, \quad (6)$$

где $\tau = \tau_m / T$; $T = 2\pi \sqrt{m/c}$; $n = \eta / \eta_{кр}$; $\eta_{кр} = 4\pi m / T$; $\xi = 0,5 \sqrt{\tau_m / \tau_n}$.

Можно выделить области параметров n , ξ , τ , в которых неравенство (6) безусловно выполняется. Так, если $n^2 > 0,25$ и $\xi^2 > 0,25$, то система устойчива при любых значениях τ .

Для того чтобы выявить влияние τ , представим неравенство (6) в виде

$$y(z) = Az^2 + Bz + C > 0,$$

где $z = \xi^2$; $A = 4 + \frac{4n}{\pi \tau} + \frac{1}{\pi^2 \tau^2} - \frac{1}{\pi \tau n}$; $B = 4\pi \tau n + 4n^2$; $C = \pi^2 \tau^2 - \pi \tau n$.

Поскольку $A > 0$, то ветви параболы $y(z)$ направлены вверх. При этом если $C < 0$ (или $n > \pi \tau$), то уравнение $y(z) = 0$ имеет один положительный корень z_1 . Тогда система устойчива при $z > z_1$.

Таким образом, неравенства $n > \pi \tau$ и $z > z_1$ уточняют область параметров n , ξ , τ , в которой система устойчива.

Однако устойчивость связана с поведением системы в бесконечности, а реальные системы работают на конечном интервале времени. В этом случае пользуются понятием качества системы, предложенным В.В. Солодовниковым [2]. Систему можно считать удовлетворяющей требуемому качеству, если переходная функция не выходит за пределы некоторой области

(«коробочки»). Одним из первичных показателей качества системы является время переходного процесса. Это время равно интервалу от момента приложения на вход управляющего сигнала до момента, когда разница Δ между регулируемой величиной и ее значением x_y в установившемся состоянии становится меньше заданной величины.

На рис. 1 и 2 построены графики, показывающие влияние параметров n , τ , ξ на величину $\Psi_{\text{шт}} = \frac{t_{\text{шт}}}{\sqrt{\tau_m \tau_d}}$, определяющую время переходного процесса $t_{\text{шт}}$ для $\Delta = 0.05x_y$.

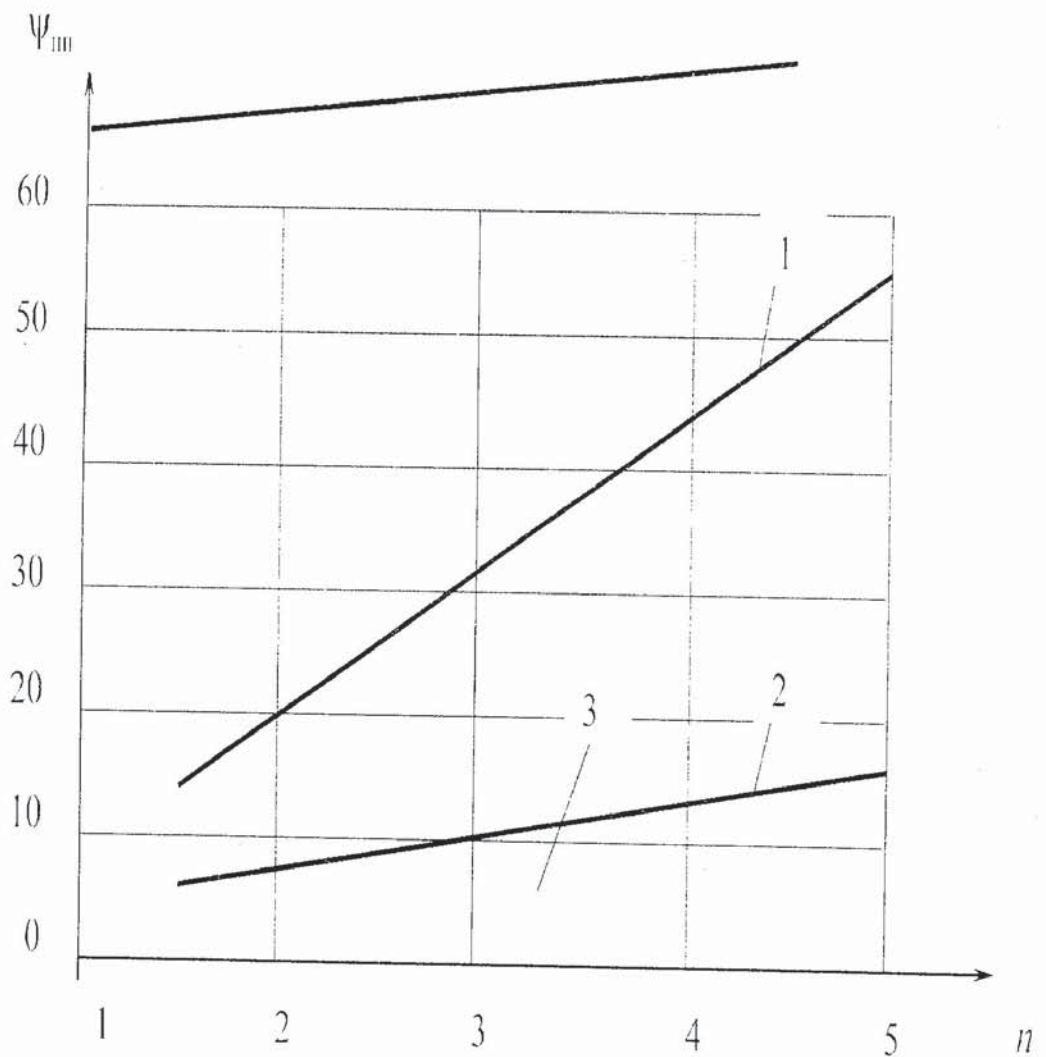


Рис. 1. Влияние на время переходного процесса параметров n , τ_m/T при $\xi = 1,5$. 1 — $\tau_m/T = 0,2$;

2 — $\tau_m/T = 0,7$; 3 — $\tau_m/T = 1,5$.

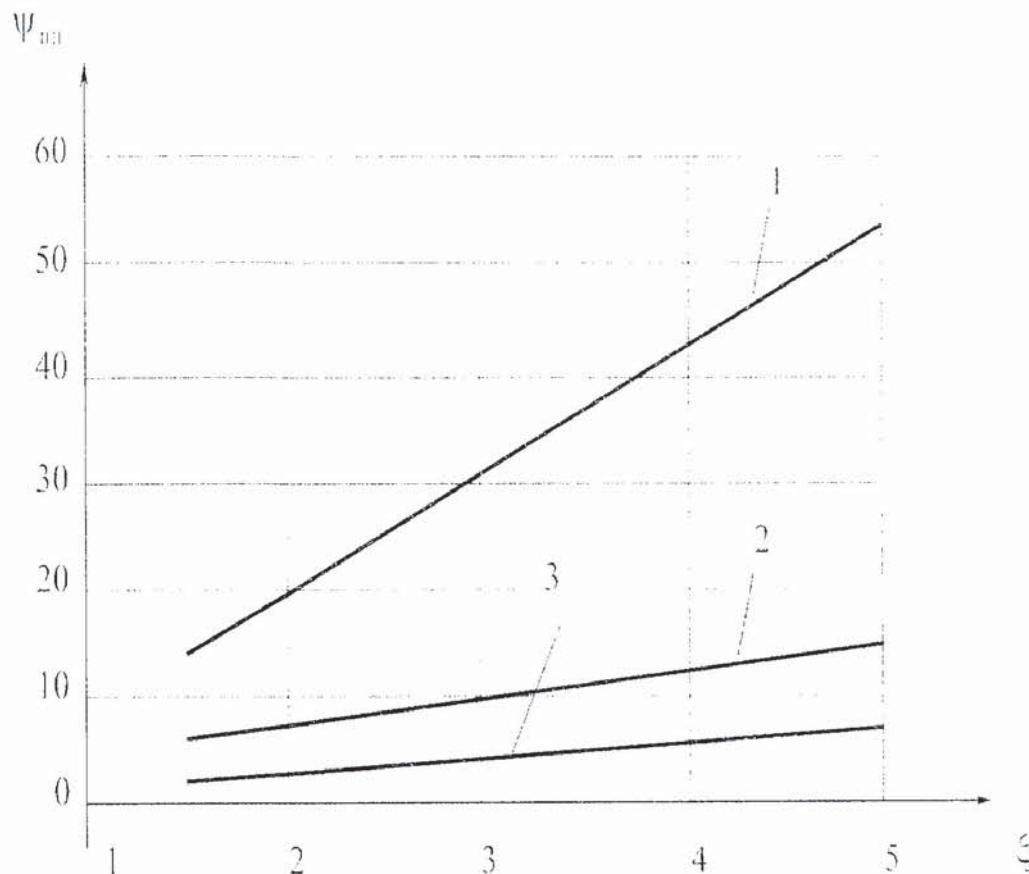


Рис. 2. Влияние на время переходного процесса параметров ξ, τ при $n = 1,5$. $1 - \tau_m/T = 0,2$;

$$2 - \tau_m/T = 0,7; 3 - \tau_m/T = 1,5.$$

Предложенные модели для анализа переходных режимов, связанных с управлением процессом вытяжки, позволяют выявить области параметров, в которых АСУ устойчива. Из полученных результатов следует, что параметры управляющего устройства, оцениваемые величиной ξ , оказывают основное влияние на характер переходных режимов. Параметры объекта управления (зоны формирования), прежде всего τ , оказывают существенное влияние на время переходного режима, которое определяет качество управления. Получено, что при $\tau \rightarrow \infty$ время переходного процесса стабилизируется, стремясь к конечному пределу.

Приведенная методика позволяет разрабатывать автоматизированные системы поисковых исследований и соответствует этапу создания опытно-промышленной технологии автоматизированного производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Динамика машин и управление машинами: справочник / Под ред. Г.В. Крейнина. – М.: Машиностроение. 1988. – 240 с.
2. Нестационарные системы автоматического управления: анализ, синтез и оптимизация / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2007. – 632 с.