ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

УДК 62-52621.923

А. А. Лялько, ассистент; А. П. Фридрих, доцент; И. Ф. Кузьмицкий, доцент

АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

In paper are observed questions of synthesis a multilevel control system by woodworking in conditions uncertainties of parameters of the system the rig – the adaptation – the tool – a detail . Synthesis of control algorithm is based on optimum control with law – square criterion of quality which is shared with algorithm of an optimum filtration.

В существующих деревообрабатывающих станках регулирование скорости подачи в зависимости от изменения физико-механических свойств древесины практически отсутствует и резание происходит в основном за счет больших инерционных масс подвижных частей механизма резания с дорогостоящим (с повышенным скольжением) приводом [1].

Таким образом, расчетная мощность оборудования изначально завышалась, что привело к увеличению энергоемкости и материалоемкости оборудования.

Возникает необходимость применения в деревообрабатывающих станках приводов с саморегулированием режимов обработки, обеспечивающих автоматическое регулирование режимов обработки в зависимости от изменения физико-механических свойств древесины, снижающих энергоемкость и материалоемкость при одновременном повышении надежности оборудования и качества выпускаемой продукции.

Построение системы управления процессами деревообработки в значительной мере зависит от адекватности динамических моделей отдельных элементов системы прибор – инструмент – деталь (СПИД).

Деревообрабатывающий станок при использовании системного подхода можно представить состоящим из следующих элементов: электропривод, упругая система и сам процес резания [2].

В современных деревообрабатывающих станках для привода главных движений наиболее распространены асинхронные короткозамкнутые электродвигатели переменного тока.

Модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором имеет вид

$$\begin{aligned}
&\frac{d\Omega}{dt} = \frac{1}{J} M_{Д} - \frac{1}{J} M_{C};\\
&\frac{dM_{Д}}{dt} = (\omega_0 - p\Omega) f - \frac{1}{T_{э}} M_{Д};\\
&\frac{df}{dt} = \frac{2}{T_{э}} M_{к} - \frac{1}{T_{э}} f - (\omega_0 - p\Omega) M_{Д};\\
&f = \frac{s_k}{s}\left(M_{Д} + T_{э} \frac{d M_{Д}}{dt}\right),
\end{aligned} \qquad (1)$$

где Ω – угловая скорость вала двигателя; $M_{Д}$ – движущий момент; M_{C} – момент сил сопротивления на валу двигателя; J – момент инерции ротора и жестко связанных с ним деталей; p – число пар полюсов; ω_0 – круговая частота сети, питающей двигатель; $T_{э} = \frac{1}{\omega_0 s_k}$ – электромагнитная постоянная времени двигателя; s_k и $M_{к}$ – критические значения скольжения и движущего момента; t – время.

Асинхронный двигатель управляется от преобразователя. В структуре системы управления преобразователь может быть приближенно представлен инерционным звеном:

$$W_{П}(s) = \frac{\beta_{П}}{T_{\mu} s + 1}, \qquad (2)$$

где T_{μ} = 0,001–0,002 с – малая постоянная времени.

В динамике станков широко распространено представление о влиянии следов обработки на устойчивость станка при резании. Это представление легло в основу теории регенеративных колебаний [3]. Данный подход можно применить при синтезе систем адаптивного управления, так как он связывает изменение сил резания с параметрами обработки.

Согласно формуле К. А. Зворыкина сила резания

$$P(t) = Ka(t)h(t), \tag{3}$$

где K – коэффициент, определяемый геометрией инструмента и свойствами обрабатываемого материала; $a(t)$ – толщина срезаемого слоя стружки; $h(t)$ – глубина резания.

Для точения толщина срезаемого слоя и глубина резания зависят от упругих деформаций системы СПИД в направлении осей X и Y. Будем считать, что составляющие $P_X(t)$ и $P_Y(t)$ линейно связаны геометрическими соотношениями и могут быть представлены в виде

$$P_X(t) = k_X a(t)h(t);$$
$$P_Y(t) = k_Y a(t)h(t),$$

где k_X и k_Y – коэффициенты «жесткости резания» в направлении осей X и Y.

Мгновенная толщина срезаемого слоя

$$a(t) = x(t) - x(t - \Theta), \tag{4}$$

где $x(t)$ – текущая координата резца относительно изделия (по оси X); Θ – время одного оборота шпинделя.

В свою очередь

$$x(t) = X(t) - q_x(t), \tag{5}$$

где $X(t)$ – перемещение, создаваемое приводом продольной подачи; $q_x(t)$ – упругая деформация системы СПИД в направлении оси X.

Далее,

$$x(t - \Theta) = X(t - \Theta) - q_x(t - \Theta). \tag{6}$$

Подставляя (6) и (5) в (4), получим

$$a(t) = [X(t) - X(t - \Theta)] - [q_x(t) - q_x(t - \Theta)].$$

Величина $[X(t) - X(t - \Theta)]$ = $s_0(t)$ – продольная подача на один оборот шпинделя.

Упругая деформация системы СПИД в направлении оси X определяется составляющей $P_x(t)$ силы резания:

$$q_x(t) = L_x P_x(t), \tag{7}$$

где L_x – оператор эквивалентной упругой системы (ЭУС) станка.

Во многих случаях ЭУС описывается линейной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. В этом случае L_x – линейный дифференциальный оператор.

Глубина резания $h(t)$ определяется уравнением

$$h(t) = y(t) - [q_y(t) - \mu q_y(t - \Theta)], \tag{8}$$

где $y(t)$ – текущее изменение припуска, обусловленное формой поверхности заготовки или перемещением, создаваемым механизмом поперечной подачи; $q_y(t)$ – упругая деформация системы СПИД в направлении оси Y; μ – коэффициент перекрытия следа ($0 \le \mu \le 1$).

При этом

$$q_y(t) = L_y P_y(t). \tag{9}$$

Получим математическую модель для процесса фрезерования. Окружную силу при фрезеровании можно описать формулой

$$P_ф(t) = k_ф a(t) l(t), \tag{10}$$

где $l(t)$ – суммарная длина режущих кромок зубьев фрезы, находящихся в контакте с заготовкой

$$l(t) = B(t)\frac{z}{\pi\cos(\alpha)}\sqrt{\frac{h(t)}{D}}, \tag{11}$$

где $B(t)$ – текущая ширина фрезерования; z – число зубьев фрезы; D – диаметр фрезы; α – угол наклона зуба к оси фрезы.

Мгновенная средняя толщина стружки

$$a(t) = \sqrt{\frac{h(t)}{D}}\{[X(t) - q_x(t)] - [X(t - \Theta) - \\ - q_x(t - \Theta)]\}, \tag{12}$$

где Θ – время поворота фрезы на один зубцовый шаг.

Учитывая, что $X(t) - X(t - \Theta) = s_z(t)$ – подача на один зуб.

Глубина резания $h(t)$ определяется выражением

$$h(t) = y_0(t) - [q_y(t) - q_y(t - \Theta)]. \tag{13}$$

Деформация системы СПИД определяется из уравнений

$$q_x(t) = L_x P_x(t) = L_x P_ф \cos(\beta/2); \tag{14}$$
$$q_y(t) = L_y P_y(t) = L_y P_ф \sin(\beta/2),$$

где β – угол контакта фрезы с заготовкой.

Уравнения (10)–(14) образуют математическую модель процеса фрезерования.

Силовые параметры будем оценивать по току, потребляемому электродвигателем. Исходя из этого, модель процесса резания может быть представлена в виде

$$I = k_{рез} v h,$$

где I – ток, потребляемый электродвигателем; v – скорость резания; h – глубина резания; $k_{рез}$ – коэффициент пропорциональности.

Датчик обратной связи будет описываться уравнением

$$\frac{dU_Д}{dt} = \frac{k_Д}{T_Д} I - \frac{1}{T_Д} U_Д ,$$

где $U_Д$ – напряжение на выходе датчика; $k_Д$, $T_Д$ – коэффициент передачи и постоянная времени датчика.

Однако следует заметить, что процесс резания является стохастическим процессом, что обусловлено воздействием ряда возмущающих воздействий на систему станок – прибор – инструмент – деталь (СПИД).

Большинство из этих возмущений неконтролируемые и относятся либо к «внутренним» возмущениям объекта (процесса резания), либо связаны с измерительной системой.

Кроме того, некоторые параметры системы СПИД имеют скачкообразный характер изменения, что накладывает дополнительные требования при моделировании процесса резания [4].

Таким образом, целесообразно представить систему, адекватно описывающую процесс резания, в виде стохастических уравнений в пространстве состояний:

$$X(k+1) = F_x[X(k+1), k] + B_u[s(k+1), k]U(k) +$$
$$+ G_x[X(k), k]N_x(k);$$
$$Y(k+1) = F_Y[X(k+1)] + f(k+1] ;$$
$$f(k+1) = F_f[Y(k+1), k] + G_Y[X(k), k]N_Y(k),$$

где $X(k)$ – n-мерный вектор в пространстве состояний; $Y(k)$ – вектор наблюдений, $f[k+1]$ –вектор шумов наблюдения; $N_x(k)$, $N_Y(k)$ – вектора гауссовских случайных процессов; $F_X(.)$, $F_Y(.)$, $F_f(.)$, $G_X(.)$, $G_Y(.)$ – некоторые известные функции своих аргументов; $U(k)$ – вектор управления, $k = 0,1...N$ – индекс дискретизации по времени.

В качестве силового параметра, которым мы будем управлять, рассмотрим силу резания, вектор управления – скорость резания.

Алгоритм управления синтезируется на основе квадратичного критерия качества и приближенных (в случае нелинейной модели) или точных (в случае линейной или линеаризованной модели) методов оптимизации стохастического управления [5]. Поскольку управляемая система подвержена возмущающему воздействию, для синтеза закона управлениябудем использовать принцип разделения, заменяя ненаблюдаемый вектор фазовых координат его оценкой, полученной на основе алгоритма оптимальной фильтрации [6].

Результаты моделирования представлены на рис. 1–3.

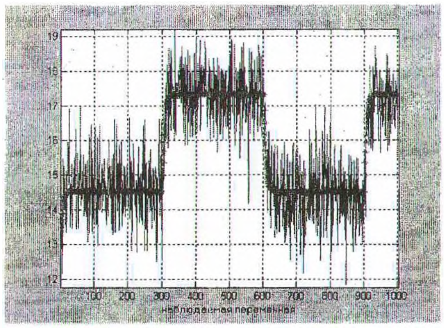

Рис. 1. Сигнал на выходе системы измерения

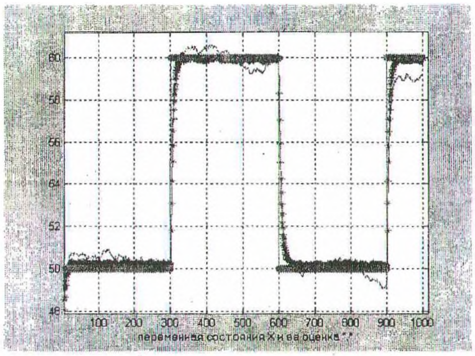

Рис. 2. Сигнал на выходе блока фильтрации

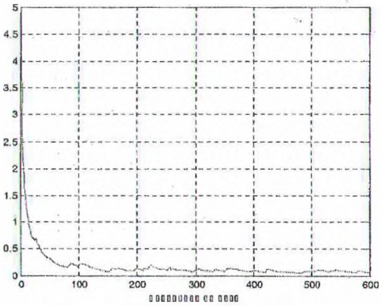

Рис. 3. Дисперсия ошибки оценивания

Литература

1. Кузнецов В. М., Волков Е. И. Автоматические и полуавтоматические линии деревообрабатывающих производств. – М.: Высшая школа, 1988.

2. Коротков В. И. Деревообрабатывающие станки. – М.: Высшая школа, 1991.

3. Гозман Я. Б., Пиковский Ю. Д. Исследование передаточной фукции процесса резания как звена адаптивной системы. // Станки и инструменты. – 1974 – № 8. – С. 10–12.

4. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процесссов деревообработки : Учебник для вузов. – М., 1988.

5. Казаков И. Е. Общий метод управления в стохастической нелинейной системе по локальному квадратичному критерию // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1997. – № 3. – С. 43–50.

6. Лайниотис Д. Г. Разделение – единый метод построения адаптивных систем. Ч. 1. Оценивание // ТИИЭР. –1976 – Т. 64. – № 8. – С. 8–27.