

**МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ,
НЕ ТРЕБУЮЩИХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМ ДЛЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ**

Каинов Д.А.

(СевНТУ, г. Севастополь, Украина)

Повышение качества обработки изделий требует применения систем автоматического управления технологическими операциями. Особенно актуальной становится указанная задача для финишных процессов обработки, к которым относится чистовое и тонкое шлифование. При построении таких систем требуется получение в реальном масштабе времени достоверной информации о значениях и тенденциях изменения выходных параметров технологического процесса. Однако не все необходимые параметры доступны непосредственному измерению или их измерение может оказаться сопряжено с большими техническими трудностями. К таким параметрам относится, например, фактическая глубина резания, для определения значений которой целесообразно использовать оценки, получаемые методами теории динамических оценок и фильтрации с использованием данных о ходе технологического процесса, которые доступны непосредственному измерению [1]. При этом необходимо построение описания технологического процесса в пространстве состояний и уравнений восстановления искомых технологических параметров по результатам моделирования технологического процесса [2].

При построении автоматических систем приходится решать проблему, связанную с тем, что результаты измерений параметров технологического процесса несвободны от погрешностей, имеющих как закономерный, так и случайный характер, отражающий неучитываемые при построении системы процессы различной физической природы и приводящие к динамическим отклонениям в расчетных моделях (в том числе и параметрах инструмента). Погрешности в таких информационных сигналах непосредственно сказываются на определяемых сигналах обратной связи автоматических систем управления и приводят к соответствующим погрешностям обработки и разбросам показателей качества изделий.

Для повышения чувствительности систем управления к отклонениям параметров и, особенно к тенденциям их изменения используются системы управления с обратной связью, включающей производную. Однако погрешности измерительного сигнала существенно возрастают при его в силу зависимости не только от амплитуд погрешностей исходных представлений, но и скоростей их изменения.

Такая проблема актуальна при синтезе систем управления процессами чистового и тонкого шлифования. Ее решение требует модификации динамических соотношений, не требующих дифференцирования измерений [1], модификации пространства состояний («модели системы») и соответствующих изменений «уравнений наблюдений». Последние целесообразно представить в виде отдельной подсистемы «уравнений восстановления состояний» и «подсистемы наблюдений». В [1] для решения поставленной задачи использована методика [4], основанная на методе неопределенных коэффициентов, однако построение «уравнения восстановления состояний» сопряжено со значительными сложностями.

Целью данной работы является разработка метода построения динамических соотношений, не требующих дифференцирования сигналов измерений при оценках отклонений формы изделия и шлифовального круга при чистовом и тонком шлифовании.

В соответствии с [2] динамическое описание процессов чистового и тонкого шлифования в форме пространства состояний имеет вид:

$$\dot{Y}_0 = A_0 \cdot Y_0 + B_0 \cdot \Psi + C_0 \cdot U, \quad (1)$$

$$\text{где } \dot{Y}_0 = \begin{bmatrix} \dot{y}_1 \\ \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \\ \dot{y}_4 \end{bmatrix}, Y_0 = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix}, B_0 = [B_{01} \quad B_{02}]$$

$$U = \begin{bmatrix} \Delta L \\ \dot{L} \end{bmatrix}, \Psi = \begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \end{bmatrix}, \Psi_1 = [\Delta R + \Delta r], \Psi_2 = [\Delta \dot{R} + \Delta \dot{r}],$$

$$B_{01} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{c_3}{m_1} \\ 0 \\ -\frac{c_3}{m_2} \end{bmatrix}, B_{02} = \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{h_3}{m_1} \\ 0 \\ -\frac{h_3}{m_2} \end{bmatrix}, C_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ \frac{c_2}{m_2} & \frac{h_2}{m_2} \end{bmatrix},$$

Y_0 – вектор (матрица-столбец), представляющая вектор состояния системы, \dot{Y}_0 – вектор производных состояний системы, A_0 – матрица, характеризующая динамические свойства системы, B_0 – матрица параметров влияния отклонения формы детали и круга, Ψ – вектор состояний отклонений формы детали и круга от номинальных параметров, C_0 – матрица управления процессом (за счет поперечной подачи), U – вектор управляющих воздействий, связанный с поперечной подачей.

Для описания процесса введены следующие обозначения:

L, x_1, x_2 – межцентровое расстояние, отклонения координат центра шлифовального круга и детали относительно соответствующих положений динамического равновесия, соответственно;

R, c_1, h_1, m_1 – радиус круга, его приведенная жесткость, коэффициент демпфирования и масса соответственно;

r_0, c_2, h_2, m_2 – радиус детали, ее приведенная жесткость, коэффициент демпфирования и масса соответственно;

c_3, h_3 – соответствующие эквивалентные параметры зоны контакта круга и детали.

$$L(\tau) = R(\phi(\tau)) + r(\phi(\tau)) - t_f(\tau) - \int_{\tau_0}^{\tau} \dot{S} d\tau + y_T - y_{УП} \quad (2)$$

Здесь t_f – глубина внедрения режущих зерен круга в материал заготовки, отсчитываемая от ее исходной поверхности, \dot{S} – поперечная подача, $y_T, y_{УП}$ – температурные и упругие деформации технологической системы.

В выражении (1) матрица B_0 представлена в блочном виде в расщепленной по столбцам форме. Целесообразность такого описания будет показана ниже.

Для восстановления представления переменных в виде, соответствующем (1), необходимо построить «уравнение восстановления состояний», которое в данном случае будет иметь вид:

$$X_0 = D_0 \cdot Y_0, \quad (3)$$

где D_0 – матрица, характеризующая состав оценок параметров пространства состояний, структуру их линейных комбинаций.

Если необходимы оценки всего пространства состояний, то D_0 представляет собой единичную матрицу.

Как было указано выше, непосредственное применение матричных представлений (1) при моделировании нецелесообразно вследствие необходимости дифференцирования отклонений форм. Для преодоления этих трудностей введем модифицированный вектор состояния системы вида:

$$F = Y_0 - B_{02} \cdot \Psi_1, \quad (4)$$

где Y_0, B_{02}, Ψ_1 – соответствуют выражениям, представленным в зависимости (1).

Из записи соотношения (1) непосредственно следует, что $\dot{\Psi}_1 = \Psi_2$. А из уравнения (4) следует:

$$Y_0 = F + B_{02} \cdot \Psi_1. \quad (5)$$

Известно, например [4], что для любых совместных по форме матриц $\alpha(t)$ и $\beta(t)$ справедливо соотношение $\frac{d[\alpha(t) \cdot \beta(t)]}{dt} = \alpha(t) \frac{d\beta(t)}{dt} + \beta(t) \frac{d\alpha(t)}{dt}$. Производная \dot{Y}_0 вектора состояния (4), полученная с учетом равенства (5) и приведенного выше матричного тождества, имеет вид:

$$\dot{Y}_0 = \dot{F} + \dot{B}_{02} \cdot \psi_1 + B_{02} \cdot \psi_2. \quad (6)$$

С раскрытием расщепленных форм, матричное уравнение (1) можно переписать в виде:

$$\dot{Y}_0 = A_0 \cdot Y_0 + B_{01} \cdot \Psi_1 + B_{02} \cdot \Psi_2 + C_0 \cdot U. \quad (7)$$

Подстановка в правую часть уравнения (7) Y_0 из (4), приводит к результату:

$$\dot{Y}_0 = A_0 \cdot [F + B_{02} \cdot \Psi_1] + B_{01} \cdot \Psi_1 + B_{02} \cdot \Psi_2 + C_0 \cdot U. \quad (8)$$

Из сравнения левых частей (6) и (8) следует:

$$\dot{F} + \dot{B}_{02} \cdot \psi_1 + B_{02} \cdot \psi_2 = A_0 \cdot [F + B_{02} \cdot \Psi_1] + B_{01} \cdot \Psi_1 + B_{02} \cdot \Psi_2 + C_0 \cdot U,$$

что, после соответствующих преобразований и группировки, позволяет записать модифицированное уравнение состояния, не содержащее Ψ_2 , и, следовательно, не требующее дифференцирования параметров форм Ψ_1 :

$$\dot{F} = A_0 \cdot F + [A_0 \cdot B_{02} + B_{01} - \dot{B}_{02}] \cdot \Psi_1 + C_0 \cdot U. \quad (9)$$

Сравнение уравнения (9) для модифицированного пространства состояний F и исходного соотношения (1) для пространства состояний Y_0 позволяет рассматривать коэффициент, стоящий перед матрицей Ψ_1 ,

$$B_1 = [A_0 \cdot B_{02} + B_{01} - \dot{B}_{02}], \quad (10)$$

как матрицу влияния отклонения формы детали и круга для модифицированного состояния. Если, дополнительно, параметры демпфирования зоны контакта, массы заготовки и шлифовального круга в процессе обработки могут быть приняты не зависящими от времени, то элементы матрицы \dot{B}_{02} равны нулю и выражение (10) приобретает форму:

$$B_1 = [A_0 \cdot B_{02} + B_{01}].$$

Модифицированное матричное дифференциальное уравнение пространства состояния имеет вид:

$$\dot{F} = A_0 \cdot F + B_1 \cdot \Psi_1 + C_0 \cdot U. \quad (11)$$

Как системе дифференциальных уравнений (1), так и системе (11) соответствуют совпадающие с точностью до обозначений Y_0, \dot{Y}_0 и F, \dot{F} системы однородных линейных дифференциальных уравнений $\dot{Y}_0 = A_0 \cdot Y_0$ и $\dot{F} = A_0 \cdot F$. Следовательно, системы (1) и (11) являются эквивалентными в смысле Ляпунова [4].

Оценка состояния X_0 на основе результатов моделирования модифицированной системы (11) может быть восстановлена в состояниях (3) применением к результатам (11) преобразования (7):

$$X_0 = D_0 \cdot F + D_0 \cdot B_{02} \cdot \Psi_1, \quad (12)$$

где матрицы X_0, D_0, B_{02}, Ψ_1 соответствуют матрицам, использованным в (1), а модифицированный вектор состояния F определяется (11).

Применение предложенного подхода целесообразно при оценках непосредственно неизмеряемых параметров (например, фактической глубины резания) и позволяет снизить влияние как шумов измерения, так и шумов, связанных с вычислительными процедурами соответствующих оценок. Его необходимо непосредственно использовать при реализациях процедур стохастического наблюдения и фильтрации при построении систем управления технологическими процессами чистового и тонкого шлифования.

Список литературы: 1. Братан С.М., Новоселов Ю.К., Каинов Д.А. Оценка параметров зоны контакта заготовки с инструментом при круглом наружном шлифовании/ Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць ХДПУ. – Харків, 2001. – Вип. 1(4). – С. 78-83. 2. Братан С.М., Новоселов Ю.К., Каинов Д.А. Моделирование взаимодействия шлифовального круга с заготовкой /Вестник СевГТУ: Сер. Механика,

энергетика, экология: Сб. науч. тр. – Севастополь, 2001. – Вып.30. – С. 12-16. **3.** Сю Д., Мейер А. Современная теория автоматического управления и ее применение. – М.: Машиностроение, 1972. – 544 с. **4.** Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1988. – 552 с.

МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ДИНАМІЧНИХ СПІВВІДНОШЕНЬ,
ЯКІ НЕ ПОТРЕБУЮТЬ ДИФЕРЕНЦІЮВАННЯ ВИМІРІВ
ВІДХИЛЕНЬ ФОРМ ДЛЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ
Каинов Д.О.

Запропоновано методику побудови динамічних співвідношень, які не потребують диференціювання вимірів відхилень форм для систем автоматичного керування процесами чистового і тонкого шліфування.

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СООТНОШЕНИЙ,
НЕ ТРЕБУЮЩИХ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ
ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМ ДЛЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ
Каинов Д.А.

Предложена методика построения динамических соотношений, не требующих дифференцирования измерений отклонений форм для систем автоматического управления процессами чистового и тонкого шлифования.

METHOD OF CONSTRUCTION OF DYNAMIC MEASUREMENTS RATIO
NOT DEMANDING DIFFERENTIATION FORMS DEVIATIONS
FOR PROCESS OF GRINDING
Kainov D.A.

The construction of dynamic measurements ratio of deviations forms technique not demanding differentiation for grinding process is offered.

Рецензент: к.т.н., доц. Гусев В.В.