

18. Технология имитационного моделирования и оптимизация качественных показателей обрабатываемых поверхностей тел вращения для горного машиностроения.

Трудности проектирования процессов управления технологическим процессом (ТП) механической обработки обусловлены несовершенством используемого математического аппарата, недостаточной степенью адекватности применяемых моделей объектов и процессов, а также их динамики, нелинейностью взаимозависимостей между их параметрами.

Ключевые слова: Моделирование, нелинейная динамика, проектирование, технологический процесс, шлифование, динамические ограничения.

TECHNOLOGY OF IMITATING MODELLING AND OPTIMIZATION OF QUALITY INDICATORS OF PROCESSED SURFACES OF BODIES OF ROTATION FOR MOUNTAIN MECHANICAL ENGINEERING

Difficulties of designing of managerial processes by technological process machining are caused by imperfection of the used mathematical apparatus, insufficient degree of adequacy of applied models of objects and processes, and also their dynamics, nonlinearity of interdependence between their parameters. For the decision of the presented problem

principles of construction and a method of synthesis of control systems by nonlinear dynamic objects taking into account nonlinear phase restrictions are used.

Keywords: Modelling, nonlinear dynamics, designing, technological process, grinding, dynamic restrictions.

В работах [1,2] представлен метод синтеза и технология проектирования оптимальных законов управления в замкнутом виде. Нелинейная модель динамики технологических процессов обработки рабочих поверхностей деталей типа тел вращения с учетом качественных ограничений при их изготовлении и ремонтно-восстановительных работах в достаточно общем случае имеет вид:

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t) \quad x(t_0) = x_0;$$

где $x(t)$, $u(t)$ - соответственно, вектора состояния и управления размерности n , m ; отображение $f: R^n \times R^m \rightarrow R^n$ является непрерывным. Ставится и решается задача синтеза закона управления ТП в замкнутом виде, то есть $u(t) = U(x(t), t)$, доставляющего

минимум функционалу качества $I(x(t), u(t), t) = \Phi_K(x(t_K), t_K) + \int_{t_0}^{t_K} \Phi(x(t), u(t), t) dt$ при ограничениях на фазовые координаты вида $g_*(t) \leq g^0(x(t), t) \leq g^*(t); \quad t \in [t_0, t_K]$.

Для решения представленной задачи используются принципы построения и метод синтеза систем управления нелинейными динамическими объектами с учетом нелинейных фазовых ограничений [1].

Алгоритм управления строится в виде $u(t) = K_1(t)\dot{x}(t) + K_2(t)x(t) + K_3(t)$. Непосредственное его применение при управлении предполагает измерение или оценивание в реальном времени векторов $x(t), \dot{x}(t)$, что не всегда возможно или неэффективно. Вышеуказанный метод позволяет использовать при синтезе оптимального алгоритма линейные нестационарные модели динамического процесса вида $\dot{x}(t) = f^M(x(t), u(t), t) = A(t)x(t) + B(t)u(t) + C(t)$ и обеспечивать заданные характеристики динамики вектора состояния $x(t)$, в том числе устойчивость и качество переходных процессов, а также требуемые значения его элементов с заданной точностью в заданный момент времени при наличии фазовых ограничений. Последнее проверяется с помощью имитационного моделирования. Алгоритм управления при этом имеет вид: $u(t) = [(K_1(t)A(t) + K_2(t))x(t) + K_1(t)C(t) + K_3(t)] \cdot (E_m - K_1(t)B(t))^{-1}$, оптимальная замкнутая система имеет вид $\dot{x}(t) = Zx(t)$, коэффициенты $K_1(t), K_2(t), K_3(t)$ определяются параметрами, входящими в подынтегральную функцию критерия качества и ограничения, а матрица Z формируется на этапе проектирования.

Для реализации предлагаемого подхода разработаны и внедрены технология *ACCE* (*Automatic Control with Constraints Engineering*) [1,2] и программный комплекс автоматизированного проектирования и моделирования, основой которого являются программные приложения *MathCAD*, *MathConnex*, база данных, сформированная на базе *Excel*, методология процесса проектирования формализована с помощью *IDEFO* диаграмм (рис.1).

Предложенные математические, алгоритмические и программные средства были использованы при решении задач имитационного моделирования оптимальных систем управления нелинейной динамикой нетиповых технологических процессов при круглошлифовальной обработки тел вращения в горном машиностроении.

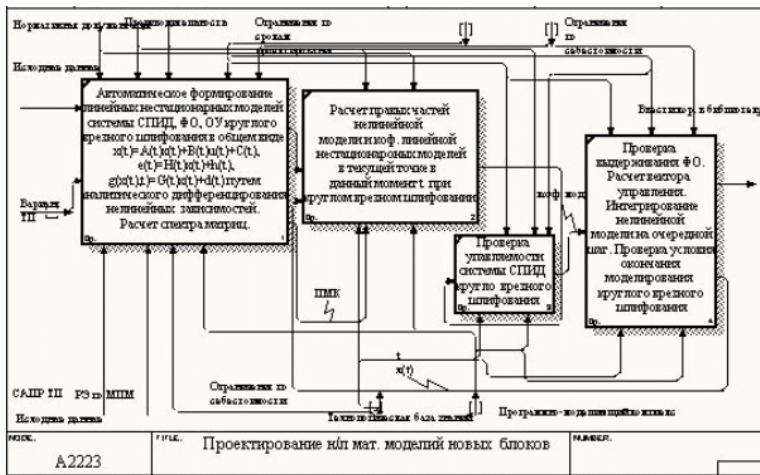


Рис.1. Структура моделирующего комплекса.

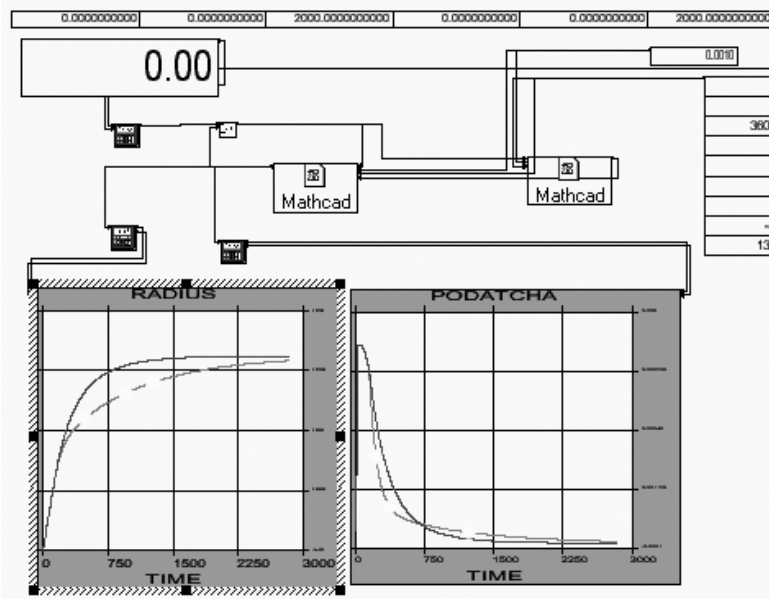


Рис. 2. Результаты имитационного моделирования технологического процесса круглого

шлифования с использованием технологии ACSE. Анализ возможности получения заданного размера обрабатываемой заготовки за заданное время.

На рис. 2. представлены результаты проектирования технологического процесса круглого шлифования с использованием технологии ACSE и анализ возможности получения заданного размера обрабатываемой заготовки за заданное время.

Анализ полученных результатов моделирования и проектирования ТП круглошлифовальной обработки позволяет сделать вывод о возможности более эффективного использования разработанных средств имитационного моделирования для повышения точности и качества обработки тел вращения изделий горного машиностроения. В процессе имитационного моделирования была использована зависимость между интенсивностью съема металла (объем, снимаемый в единицу времени, Q) и поперечной подачей при всех видах круглого шлифования [3], которая имеет вид

$$Q = \pi d_{\partial} L_{\partial} t_M [мм^3/мин], \quad (1)$$

где Q — интенсивность съема металла в $мм^3/мин$, d_{∂} , L_{∂} — диаметр и длина обрабатываемой поверхности в $мм$; t_M — поперечная подача в $мм/мин$.

Из формулы (1) видно, что значение минутной поперечной подачи при постоянных размерах обрабатываемой поверхности L_d и dd пропорционально интенсивности съема металла. Во врезных круглошлифовальных станках используются следующие схемы поперечной подачи: а) по заданной скорости линейного перемещения; б) по заданному давлению. При этом врезание осуществляется на ускоренной поперечной подаче, в 3 - 5 раз превышающей значение подачи на последующем этапе обработки. Выхаживание осуществляется при выключенной поперечной подаче за счет предварительно созданного упругого отжатия системы, размер определяет ПАК (прибор активного контроля). Радиальная составляющая силы шлифования P_y вызывает отжатие системы y , величина от ее жесткости j :

$$P_y = yj \quad (2).$$

Интенсивность съема металла при прочих равных условиях зависит от радиальной силы, прижимающей шлифовальный круг к обрабатываемой поверхности, можно изложить эту зависимость следующим образом:

1) при осуществлении поперечной подачи под заданным давлением

$$t_m = K_1 y_0^m \quad (3),$$

2) при осуществлении поперечной подачи при заданном линейном перемещении:

$$y_0 = K_2 t_m^{1/m} \quad (4),$$

где величина показателя степени m колеблется в пределах от 1,1 до 1,5. Исходя из наличия зависимости интенсивности съема металла от радиальной силы, можно использовать дифференциальное уравнение (5) [3], описывающее изменение отжатия и интенсивности съема на протяжении всего рабочего цикла:

$$dy/d\tau = \pm i t_m \pm t_m (y(\tau)/y_0)^m \quad (5),$$

где y — текущее значение отжатия, а следовательно, и натяга системы при неустановившемся процессе; τ — текущее значение времени; y_0 — исходное отжатие, характеризующее натяг системы при установившемся процессе; I — отношение номинальной поперечной подачи при врезании или выхаживании к поперечной подаче при установившемся процессе. Первый этап — врезание, во время которого постепенно возрастает натяг и в конце достигает значения исходного натяга системы y_0 . Дифференциальное уравнение (5) описывает закон изменения натяга в системе и интенсивности съема. При ускоренном врезании имеем $i > I$. Выхаживанию без поперечной подачи соответствует значение $i = 0$. Замедленному выхаживанию соответствует значение со знаком плюс, причем имеет место $I > i > 0$. Ускоренному выхаживанию соответствует значение со знаком минус.

Различные результаты объясняются различными начальными условиями, например, при врезании $y=0$, $\tau=0$; при выхаживании $y=y_0$, $\tau=0$ и т. д.

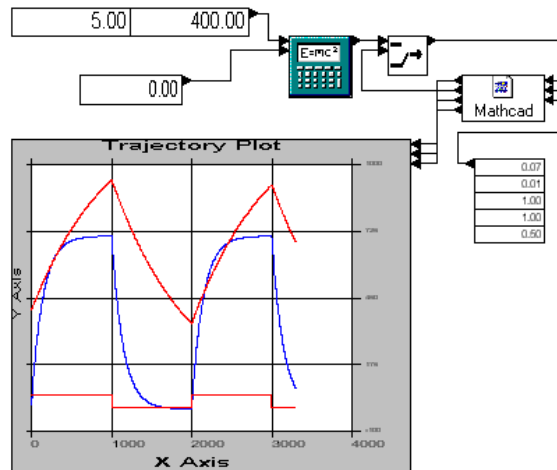
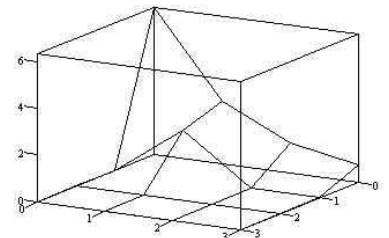
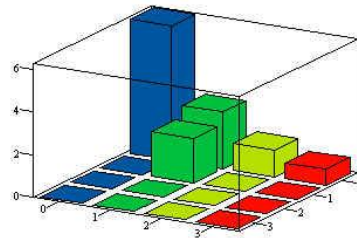


Рис.3. Результаты имитационного моделирования работы привода подачи, усилия резания и циклограммы круглошлифовального станка.

$$D := \begin{bmatrix} 6.3 & 2.652 & 1.267 & 0.743 \\ 0 & 2.083 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$



а)

б)

в)

Рис. 4. Результаты имитационного моделирования: а) изменение качественных показателей обрабатываемой поверхности в процессе технологического процесса размерной обработки; б) столбиковая диаграмма матрицы изменения качества поверхностного слоя в процессе механообработки; в) матрица изменения качества поверхностного слоя в 3D формате.

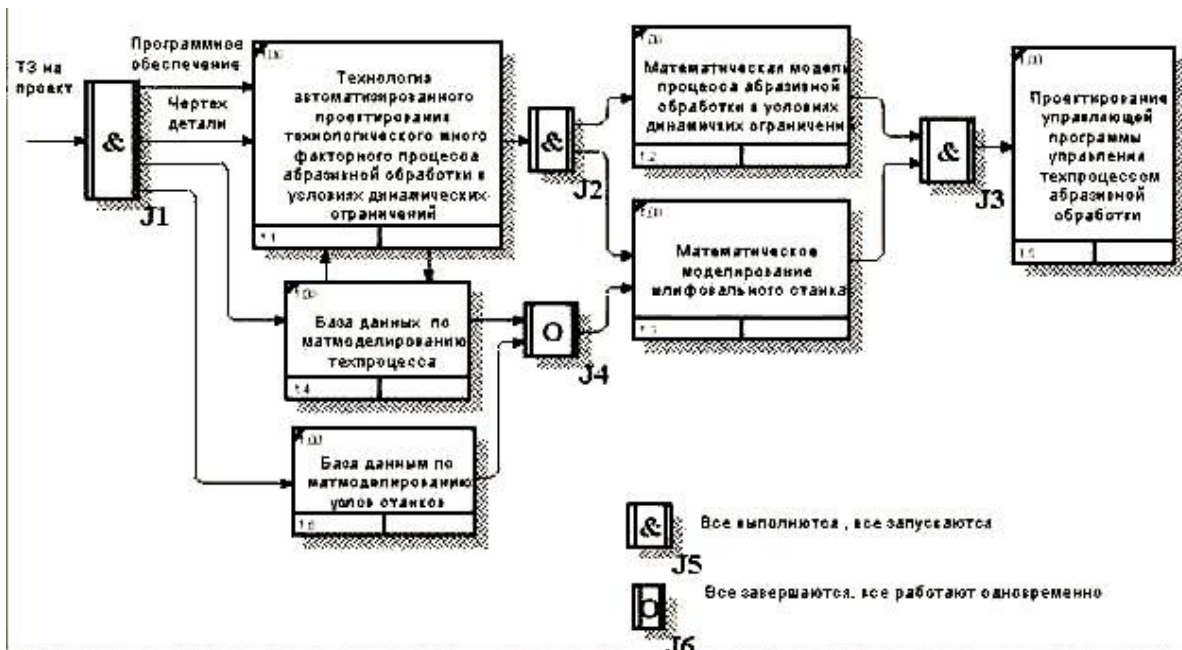


Рис. 5. Модель программного комплекса имитационного моделирования и проектирования круглошлифовальной обработки тел вращения.

На основе дифференциального уравнения (5), предложена методика имитационного моделирования режима круглого шлифования [4]. На рис. 3,4. представлены результаты имитационного моделирования: модель элементов цикла, рис. 3. и рис. 4 -результаты моделирования изменения качественных показателей обрабатываемой поверхности в процессе имитации обработки. На рис. 5 представлена модель программного комплекса проектирования врезной круглошлифовальной обработки на *SAFT (Structured Analysis and Design Technique)* диаграмме в формате *IDEF3*.

Список литературы:

1. **Акаев А. Б.** Проектирование и моделирование нелинейной динамики технологических процессов в машиностроении, М.: МГТУ "Станкин", 1999, 222 с., ISBN 5-7028-0095-8.

2. **Акаев А.Б., Иванов Г.Н.** Информационные технологии в нелинейной динамике машиностроительных процессов. В сб.: Научный вестник МГТУ ГА №74 (4) серия Информатика. Прикладная математика. М.: МГТУ ГА, 2004 г. ISBN 5-86311-423-1, с.53-55.

3. **Полетаев Д.И.,** Технология механической обработки коленчатых валов двигателей внутреннего сгорания., М., «Машиностроение» 2002 г.