

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВОЗНИКАЮЩИХ В ХОДЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБ

*Бондаренко И.Р.*

*Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород*

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, динамика, обработка, математическая модель.

**Аннотация.** В данной работе на основании компьютерного моделирования в среде MathCAD была построена математическая модель процесса обработки внутренней поверхности труб, с помощью которой было исследовано влияние изменения внешних технологических показателей процесса обработки внутренней поверхности труб на параметры движения инструмента.

## COMPUTER SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES ARISING DURING MECHANICAL PROCESSING OF THE INTERNAL SURFACE OF PIPES

*Bondarenko I.R.*

*Belgorod State Technological University V.G. Shukhova, Belgorod*

**Keywords:** computer modeling, dynamics, processing, mathematical model.

**Abstract.** In this work, on the basis of computer modeling in the MathCAD environment, a mathematical model of the process of processing the inner surface of pipes was built, with the help of which the influence of changes in the external technological parameters of the process of processing the inner surface of pipes on the parameters of tool movement was investigated.

Компьютерное моделирование является удобным и эффективным методом исследования поведения различных технических объектов и систем. Данный подход к созданию и исследованию математических моделей различных технологических процессов позволяет получать информацию, необходимую для последующего анализа и поиска путей повышения их эффективности [1-3].

Общеизвестно, что в процессе работы различных технологических машин, механизмов и агрегатов можно наблюдать некоторые отклонения их технологических параметров от заданных. Такие явления могут быть вызваны рядом причин, например: неточностью исполнения и соединения узлов, износом деталей, а также отклонением реальных условий работы от расчётных.

Так в процессе обработки внутренней поверхности труб инерционным инструментом (рис. 1) ввиду неоднородности удаляемого материала по толщине могут происходить изменения частоты вращения инструмента.

Построение математической модели позволяющей установить зависимость параметров движения от внешних факторов является важной инженерной задачей. Движение данного агрегата может быть представлено с помощью дифференциального уравнения имеющего вид:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{\partial} - M_c, \quad (1)$$

где  $J$  – момент инерции инструмента,  $M_{\partial}$  – момент обеспечивающий движение инструмента,  $M_c$  – момент сил полезного сопротивления.

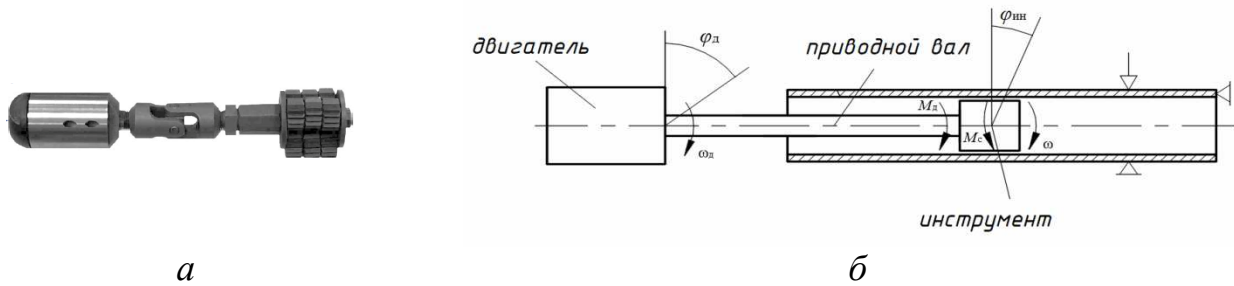


Рис. 1. Устройство для отчистки теплообменных труб: а – рабочий инструмент установки; б – расчетная схема

Учитывая, что момент обеспечивающий движение инструмента  $M_{\partial}$  зависит от угла закручивания гибкого передающего элемента (вала), а также допустив, что момент сопротивления зависит от квадрата частоты, перепишем (1) как

$$J \frac{d\omega}{dt} = c(\varphi_{\partial} - \varphi_u) - k\omega^2, \quad (2)$$

где  $c$  – крутильная жесткость приводного устройства,  $k$  – коэффициент, характеризующий сопротивления технологической среды  $\omega$  – частота вращения инструмента,  $\varphi_{\partial}$  – угол поворота вала двигателя,  $\varphi_u$  – угол поворота инструмента.

Представим зависимость  $\omega(t)$  в виде ряда Маклорена с точностью до третьего порядка

$$\omega(t) = \omega(0) + \frac{d\omega(t)}{dt}t + \frac{d^2\omega(0)}{dt^2} \frac{t^2}{2!} + \frac{d^3\omega(0)}{dt^3} \frac{t^3}{3!}.$$

Соответствующие производные будут определены из уравнения (2) в виде

$$\frac{d^2\omega(t)}{dt^2} = \frac{c}{J} \left( \frac{d\varphi_{\partial}}{dt} + \frac{d\varphi_u}{dt} \right) - 2 \frac{k\omega}{J} \frac{d\omega}{dt} = \frac{c}{J} (\omega_n - \omega) - 2 \frac{k\omega}{J} \frac{d\omega}{dt},$$

$$\frac{d^3\omega(t)}{dt^3} = - \frac{c}{J} \frac{d\omega}{dt} - 2 \frac{k}{J} \left( \frac{d\omega}{dt} \right)^2 - 2 \frac{k\omega}{J} \frac{d^2\omega}{dt^2}.$$

Тогда за промежуток времени  $\Delta t = t - t_0$  углы поворота двигателя  $\varphi_{\partial}$  и инструмента  $\varphi$  определяются как

$$\varphi = \int_{t_0}^t \left( \omega(0) + \frac{d\omega(t)}{dt}t + \frac{d^2\omega(0)}{dt^2} \frac{t^2}{2!} + \frac{d^3\omega(0)}{dt^3} \frac{t^3}{3!} \right) dt$$

$$= \omega(0)\Delta t + \frac{d\omega(0)}{dt} \frac{\Delta t^2}{2!} + \frac{d^2\omega(0)}{dt^2} \frac{\Delta t^3}{3!} + \frac{d^3\omega(0)}{dt^3} \frac{\Delta t^4}{4!},$$

$$\varphi_{\partial} = \Delta\varphi_n + \omega_{\partial}\Delta t.$$

где  $\Delta\varphi_n$  – начальный угол закручивания передающего элемента (вала).

Изменение технологических характеристик процесса обработки может быть представлено в виде вариации параметра  $k$  упрощенно отражающим изменение физико-механических свойств материала. Математическая модель процесса,

отражающая влияние внешних параметров на показатели процесса обработки, основанная на основании представленных зависимостей была реализована в среде MathCAD, результаты моделирования представлены на рисунке 2

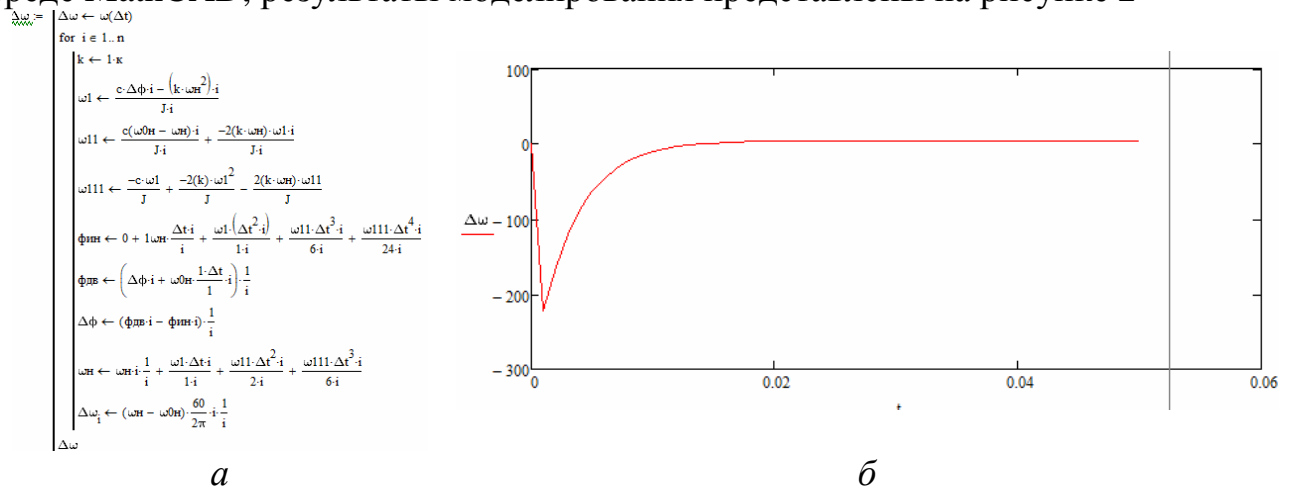


Рис. 2. Реализация математической модели: *a* – алгоритм расчета; *б* – результат численного моделирования

По результатам анализа численных данных было установлено, что при увеличении параметра *k* на 100%, происходит изменение частоты вращения инструмента на 10 процентов.

Таким образом, представленный в данной работе подход позволяет осуществлять математическое моделирование динамических процессов при механической обработке различных изделий, отражать влияние внешних факторов на параметры работы оборудования, что может быть использовано для повышения эффективности и технологичности исследуемого процесса.

### Список литературы

1. Вынгра А.В. Моделирование пуска электропривода компрессора судовой холодильной установки / А.В. Вынгра, Б.А. Авдеев // Труды крыловского государственного научного центра. – 2019. – S2. – С. 143-151.
2. Макаров Н.Н. Использование математических пакетов в подготовке специалистов на кафедре САУ // Известия тульского государственного университета. Технические науки. – 2018. – № 11. – С. 464-469.
3. Кузнецов Н.Г. Алгоритм расчета математической модели процесса разгона трактора МТЗ-80л с пневмогидравлической планетарной муфтой сцепления в среде MathCAD / Н.Г. Кузнецов, Д.А. Нехорошев, Н.С. Воробьева // Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. – 2010. – №2(18). – С. 175-183.

### Сведения об авторе:

*Бондаренко Иван Русланович* – доцент, БГТУ им. Шухова, г.Белгород.