

где  $k$  – теплопроводность воздуха,  $k=0,06 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $L$  – характеристический размер, который в данном случае равен внешнему диаметру ребер (48 мм).

На основании заданных параметров получим модель МУЭ с распределенной температурой по корпусу (рис. 7).

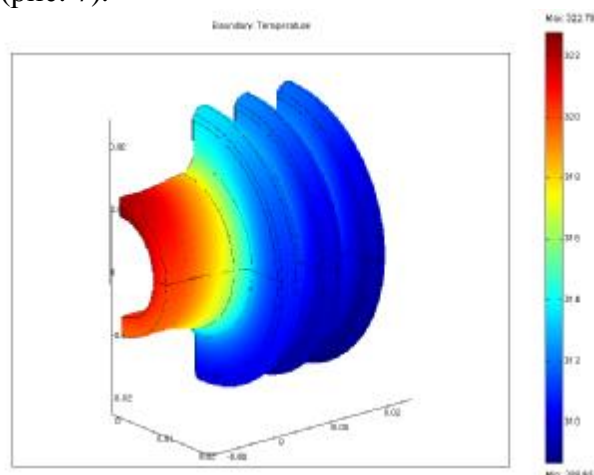


Рис. 7. Распределение температуры на МУЭ

Из рис. 7 видно, что нагрев происходит только на концах поршня, сама конструкция цилиндра и катушка не подвергается температурному изменению. Следовательно, работа МУЭ осуществляется стабильно. Такая модель цилиндра позволяет охлаждаться с помощью с моделируемых желобов и придвижение МУЭ обдувается потоками воздуха, тем самым не изменяя свойств магнито-реологической жидкости. Изменяя конфигурацию внешнего цилиндра, МУЭ можно использовать в различных отраслях и при различных условиях. Таким образом, моделирование в Femlab позволяет решать различные задачи применением магнито-реологического управляющего элемента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Юревич Е.И. Основы робототехники / Е.И. Юревич. СПб: БХВ-Петербург 2005, 416 с.
2. Комлева О.А. Динамические характеристики электромагнито-жидкостного управляющего элемента / О.А. Комлева // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. №2(45). С. 116-120.
3. [www.femlab.ru](http://www.femlab.ru).

**Комлева Оксана Анатольевна** – аспирант кафедры «Управление и информатика в технических системах» Балаковского института техники, технологии и управления Саратовского государственного технического университета

**Игнатъев Александр Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Komleva Oksana Anatolyevna** – Post-graduate Student the Department of «Management and Information Science in Technical Systems» of Balakovo Institute of Techniques, Technology and Management (branch) of Saratov State Technical University

**Ignatyev Alexander Anatolevich** – Doctor of technical sciences, professor, head. Department «Automation and management of technological processes» the Saratov State Technical University

*Статья поступила в редакцию 16.05.2011, принята к опубликованию 24.06.2011*

УДК 621.941

**В.В. Коновалов, А.А. Игнатъев**

**МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ТОКАРНОГО СТАНКА  
С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СИЛ РЕЗАНИЯ**

*Рассмотрено решение уравнений динамических процессов в станке в форме автокорреляционных функций.*

Токарный станок, динамические процессы, автокорреляционная функция

**V.V. Konovalov, A.A. Ignatyev**

**PROCESS MODEL IN DYNAMIC LATHE SYSTEM WITH PROVISION FOR  
STOCHASTIC CHARACTERISTICS OF CUTTING POWER**

*Considered decision of equations of dynamic processes in the tool in the form autocorrelation functions.*

Lathe, dynamic processes, autocorrelation function

Современные автоматизированные станки должны обеспечивать высокое качество обработки деталей для авиационной, автомобильной промышленности, железнодорожного транспорта, приборостроения и других отраслей. Для этого в их конструкции используются новые технические решения и материалы, высокоточные датчики различных параметров и быстродействующие микропроцессоры [1, 2].

Значения параметров качества обработки деталей на автоматизированных станках в значительной степени определяются их динамическими характеристиками, оптимальные значения которых должны рассчитываться на этапе проектирования и обеспечиваться на этапе изготовления конструкцией станка. Исследования точности станков показывают, что виброакустические колебания (ВА) элементов их конструкции существенно влияют как на погрешность формы деталей, которая в общем балансе погрешностей для прецизионных станков составляет 30...70%, так и на волнистость и шероховатость обработанной поверхности [3, 4]. Значительное влияние на улучшение динамических характеристик станков, в том числе и на этапе эксплуатации, оказывает использование результатов исследований, направленных на повышение параметров качества обработки и анализ их связи с жесткостью и колебаниями основных узлов формообразующей подсистемы станка. Уровень и характер (ВА) являются важными, а иногда и единственными критериями нормального функционирования узлов станка, так как служат обобщающими показателями его динамических свойств.

Для оценки динамических характеристик станков при их изготовлении и в процессе эксплуатации возникает необходимость в разработке методов и средств контроля, обеспечивающих оперативное получение информации и ее обработку. Исследования, выполненные в Саратовском государственном техническом университете, показывают, что динамические характеристики токарных станков можно оценивать как по переходным процессам при врезании инструмента в заготовку, так и при стационарном резании [4], основываясь, в частности, на ВА колебаниях резцового блока, имеющих как детерминированную, так и стохастическую составляющие. В обоих случаях используются специальные методы обработки стохастических сигналов с применением ЭВМ.

Построение модели динамических процессов в технологической системе (ТС) с учетом стохастических свойств сил резания служит теоретической основой экспериментальных методов оперативного оценивания динамического состояния станка.

Ранее в [5, 6] анализировалось влияние стохастических составляющих сил резания на характеристики процессов в системе резец-деталь, однако выводы по исследованиям касались либо устойчивости системы, либо плотности вероятности и дисперсий колебаний. В связи с этим целесообразно представляется идентификация динамических процессов в системе резец-деталь при резании с определением таких характеристик, которые не только достаточно просто интерпретируются, но и могут быть использованы для автоматизированной оценки динамического состояния станка.

Колебания в ТС станка включают, как известно, четыре вида колебаний: свободные, вынужденные, автоколебания и параметрические [3]. Свободные колебания являются быстро затухающими, автоколебания ограничивают предельные режимы черновой обработки, параметрические связаны с изменением значений параметров системы, что не учитывается в данном исследовании, поэтому для токарной обработки ограничимся анализом вынужденных колебаний при следующих исходных предположениях.

1. Взаимосвязь колебаний по всем трем координатным осям позволяет рассматривать однокоординатную динамическую модель, например, относительно оси X, колебания по которой наибольшим образом сказываются на параметрах точности формы и шероховатости поверхности детали.

2. При точении не рассматриваются вопросы устойчивости ТС и не принимается во внимание динамическая характеристика резания, не учитываются нелинейности, что позволяет описать динамику процессов в системе «резец-деталь» одним дифференциальным уравнением второго порядка

$$M \ddot{x} + H \dot{x} + Cx = \sum_{i=1}^N P_i^*(t), \quad (1)$$

где  $x(t)$  – относительные колебания резца и заготовки; M, H, C – приведенные к резцу массы, коэффициент демпфирования и жесткость упругой системы;  $\sum P_i^*(t)$  – совокупность сил,

воздействующих на систему. Уравнение (1) обычно преобразуется к виду

$$\ddot{x} + 2r\dot{x} + w_0^2 x = \sum_{i=1}^N P_i(t), \quad (2)$$

где  $r = H/2M$ ,  $w_0^2 = C/M$ ,  $P_i(t) = P_i^*(t)/M$ .

3. Правую часть уравнения (2) можно представить как сумму детерминированной составляющей силы резания  $P_0(t)$  и стохастической составляющей  $X(t)$  как стационарный случайный процесс (ССП) типа «белый шум» с нулевым математическим ожиданием, имеющим автокорреляционную функцию (АКФ)

$$K_{xz}(t) = S_0 d(t), \quad (3)$$

где  $d(t)$  – дельта-функция,  $S_0$  – постоянная величина.

После завершения переходного процесса точение осуществляется с почти постоянной силой резания. В этом случае ее можно рассматривать как ССП типа «белый шум» с ненулевым математическим ожиданием

$$M [P(t)] = P_0, \quad (4)$$

следовательно, данный режим резания можно считать стационарным в вероятностном смысле.

Таким образом, общий вид динамической модели представляется стохастическим дифференциальным уравнением

$$\ddot{x} + 2r\dot{x} + w_0^2 x = x(t). \quad (5)$$

Решение подобных уравнений может быть выполнено относительно как искомой переменной  $x(t)$ , так и моментных функций от  $x(t)$ , в частности АКФ  $K_{xx}(t)$  [7, 8].

Под воздействием силы  $P(t)$  величина  $x(t)$  будет иметь детерминированную составляющую  $x_0(t)$  и стохастическую составляющую  $x_x(t)$

Для оценки свойств процесса  $x_x(t)$  применяется метод решения стохастического дифференциального уравнения относительно АКФ, полученного из (5), в виде

$$\left( \frac{\partial^2}{\partial t^2} + 2r \frac{\partial}{\partial t} + w_0^2 \right)^2 K_{xx}(t) = K_{zz}(t). \quad (6)$$

Решение (6) дает для АКФ  $K_{xx}(t)$  форму затухающей косинусоиды

$$K_{xx}(t) = \frac{S_0}{4w_0 r} e^{-r/t} \left( \cos w_1 t + \frac{r}{w_1} \sin w_1 t \right). \quad (7)$$

Результаты анализа модели системы «резец-деталь» в виде стохастического дифференциального уравнения показывают, что оценка качества процессов в ТС может выполняться при стационарном резании. Регистрируя виброакустические колебания при резании, можно затем вычислить АКФ, а далее, произведя соответствующую математическую обработку согласно методам теории автоматического управления, сформировать соответствующие оценки, коррелированные с динамическим состоянием ТС, что позволяет при минимизации оценок оптимизировать режим резания по параметрам точности обработанной поверхности. Так, например, исходя из вида АКФ (7) с использованием результатов измерений на токарных станках ПАБ-350 [9], можно определить передаточную функцию динамической системы станка при различных режимах резания, а затем, вычисляя запас устойчивости замкнутой системы, по его максимуму установить режим точения с наилучшими значениями показателей точности обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дружинский И.А. Концепция конкурентоспособных станков / И.А. Дружинский. Л.: Машиностроение, 1990. 247 с.
2. Бушуев В.В. Станкостроение: вчера, сегодня, завтра / В.В. Бушуев // Инженер. 2004. № 10. С. 8-11.
3. Кудинов В.А. Динамика станков / В.А. Кудинов. М.: Машиностроение, 1967. 359 с.
4. Точность и надежность автоматизированных прецизионных металлорежущих станков / Б.М. Бржозовский, В.А. Добряков, А.А. Игнатъев, В.В. Мартынов. Саратов: СПИ, 1992. 160 с.
5. Попов В.И. Динамика станков / В.И. Попов, В.И. Локтев. Киев: Техніка, 1975. 136 с.
6. Осман М. Ускоренные приемочные испытания станков при случайном характере сил резания / М. Осман, Т. Санкар // Конструирование и технология машиностроения. 1972. № 4. С. 59-64.
7. Болотин В.В. Случайные колебания упругих систем / В.В. Болотин. М.: Наука, 1979. 336 с.
8. Игнатъев А.А. Идентификация динамических процессов в технологической системе станка с учетом стохастических свойств сил резания / А.А. Игнатъев // Исследования станков и инструментов для обработки сложных и точных поверхностей: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 1994. С. 4-11.

9. Игнатъев А.А. Экспериментальные исследования виброакустических характеристик токарного станка ПАБ-350 / А.А. Игнатъев, В.В. Коновалов, А.Г. Мотков // Автоматизация и управление в машино- и приборостроении: сб. науч. тр. Саратов: СГТУ, 2011. С. 91-96.

**Коновалов Валерий Викторович** – аспирант кафедры «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Konovalev Valerij Viktorovich** – the post-graduate student of chair «Automation and management of technological processes» the Saratov State Technical University

**Игнатъев Александр Анатольевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация и управление технологическими процессами» Саратовского государственного технического университета

**Ignatyev Aleksandr Anatolyevich** – doctor of technical sciences, professor, head. Department «Automation and management of technological processes» the Saratov state technical university

*Статья поступила в редакцию 23.05.2011, принята к опубликованию 24.06.2011*

УДК 537.311.5:517.956

**Е.Н. Минаев**

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ НА ОСНОВЕ РАСЧЁТА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ПРИ НЕЛИНЕЙНЫХ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЯХ**

*Представлен принцип автоматизированного управления в системах катодной защиты металлических конструкций. Рассмотрен численно-аналитический метод расчёта стационарного электрического поля при определении параметров катодной защиты от коррозии плоских и цилиндрических поверхностей, контактирующих с агрессивными водными средами. В данном методе краевая задача с нелинейными граничными условиями сводится к дискретному аналогу интегрального нелинейного уравнения, которое решается методом итераций. Показаны относительно высокая скорость и широкая область сходимости итерационного процесса. Определены параметры защиты.*

Электрическое поле, система управления, коррозия

**E.N. Minaev**

### **AUTOMATIC CONTROL OF CATHODIC PROTECTION SYSTEM BY CALCULATION OF ELECTRICAL FIELD WITH NONLINEAR BOUNDARY CONDITION**

*Numerical-analytical method for calculation of stationary electrical field is presented. It is used for definition of cathodic protection current of plane and cylindrical surface by contact with aggressive water-solution. In this method nonlinear boundary problem is replaced to the discrete analogy of integrate equation. This equation is solved by method of iteration. It is proved, that iteration method is suitable. Electrical current of protection is defined.*