

действия: Отчет о НИР/БГПА: Рук. И.В. Качанов; №ГР20001157: – Мн.: 2000. – 94с.  
5. Качанов И.В., Кондратович А.Н., Ивашечкин В.В. Высокоскоростной молот; заявка № И20010024 от 31.01.2001 на выдачу патента РБ на полезную модель. 6. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортировка, применение. Справ. изд.; Под ред. Д.Ю. Гамбурга, Н.Ф. Дубовкина. – М.: Химия, 1989. – 672 с. 7. Андреев К.К., Беляев А.Ф. Теория взрывчатых веществ. – М.: Оборонгиз, 1960.– 595 с. 8. Исаевич Л.А., Качанов И.В. Новые технологии изготовления стержневого инструмента с упрочненной рабочей поверхностью.//Тез. докл. Международной научной конф. “Новые конкурентноспособные и прогрессивные технологии, машины и механизмы в условиях современного рынка”. 18–19 мая 2000 г. Могилев.– С.72–73.

УДК 621.9.06-52

И. А. Каштальян, П. К. Жуковский

## **АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТОКАРНЫМ СТАНКОМ С ЧПУ**

*Белорусская государственная политехническая академия  
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач современного машиностроения является автоматизация мелкосерийного и серийного производства, выпускающего около 75% всей машиностроительной продукции. В настоящее время эта задача решается посредством создания и использования станков с ЧПУ (числовым программным управлением), значительная часть которых составляет группа токарных станков. Несмотря на известные преимущества токарных станков с ЧПУ, точность обработки деталей на них без периодической поднастройки не превышает 8–9 квалитетов и при этом за рабочим-оператором, так же как и на обычном станке, остается один из важнейших этапов обработки – процесс размерной настройки и поднастройки технологической системы [1]. Трудоемкость этого процесса достигает 80% от общего подготовительно-заключительного времени и составляет в среднем 20–30 минут.

В ряде случаев повышения точности обработки добиваются либо методом коррекции управляющих программ по результатам измерений обработанных деталей, либо методом их предсказания на этапе подготовки. Однако широкое использование этих методов сдерживается простоями станков при измерении деталей и коррекции программ, а также большой трудоемкостью их разработки. Поэтому для повышения производительности и точности обработки на токарных станках с ЧПУ находят применение системы управления, основанные на использовании информации, получаемой в ходе обработки резанием (адаптивные системы). Такие системы строятся на базе техно-

логического программного обеспечения систем ЧПУ [2]. При этом в качестве управляющего воздействия чаще используется подача. Регулированием подачи добиваются стабилизации тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$ .

Недостатком таких адаптивных систем является возможность стабилизации силы резания только на некотором заданном уровне. Этот недостаток не позволяет использовать систему, когда возникает необходимость поддержания текущего значения силы резания, изменяющейся по некоторой заданной закономерности в функции пути, например, при точении нежестких деталей.

Разработанная адаптивная система позволяет реализовать практически любую закономерность изменения силы резания в функции пути и поддерживать ее при периодических случайных колебаниях глубины резания  $t$  и твердости материала детали НВ. При этом настройка системы фактически выполняется при вводе соответствующей закономерности изменения составляющей силы резания  $P_z$  в функции пути, которая определяется заранее расчетным либо экспериментальным путем.

Вследствие технических трудностей непосредственного измерения величины  $P_z$  на многоинструментальных станках в качестве измеряемого параметра выбрана потребляемая двигателем шпинделя станка активная мощность  $N_d$ , которая связана с тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  зависимостью.

$$N_d = N_x + \omega_m R, \quad (1)$$

где  $N_x$  – активная мощность, потребляемая двигателем шпинделя в режиме холостого хода;  $\omega_m$  – угловая скорость вращения шпинделя;  $R$  – радиус обработки (расстояние от вершины режущей кромки резца до оси вращения детали).

Система содержит блок 1 задания программы (рис. 1); блок 2 интерполяции; блок 3 задания скорости подачи; станок 4; привод 5 продольной подачи; привод 6 поперечной подачи; привод 7 шпинделя; датчик 8 мощности; компенсатор 9; реверсивный счетчик 10; ключ 11; вычислительный блок 12; блок 13 сравнения; регулятор подачи 14; устройство 15 коррекции (его образуют блоки 9, 12, 13), блок 16 реализации закономерности преобразования силы резания с устройством ввода, блок 17 изменения тактовой частоты, второй ключ 18.

Компенсатор 9 предназначен для формирования и запоминания после каждого включения двигателя привода шпинделя напряжения пропорционального активной мощности, потребляемой этим двигателем в режиме холостого хода; реверсивный счетчик 10 служит для фиксации текущего значения радиуса обработки и его хранения в виде двоичного кода (память положения); ключ 11 предназначен для блокирования прохождения приводных импульсов на привод поперечной координаты; вычислительный блок 12 служит для формирования на своем выходе напряжения, пропорционального заданной мощности резания; блок 13 сравнения служит для формирования на своем выходе напряжения рассогласования; регулятор подачи 14, воздействуя на блок

3 задания скорости, меняет тактовую частоту работы блока 2 интерполяции таким образом, чтобы напряжение рассогласования на выходе блока 13 сравнения было равно нулю; устройство 15 коррекции, которое включает в себя компенсатор 9, вычислительный блок 12 и блок 13 сравнения, предназначено для расчета и формирования напряжения рассогласования, поступающего на вход блока 14 регулирования подачи; блок 16 реализации закономерности преобразования силы резания с устройством ввода предназначен для подачи на вход вычислительного блока 12 текущего значения кода силы резания в соответствии с заданной закономерностью изменения силы резания в функции пути; блок 17 изменения тактовой частоты формирует текущее значение кода тактовой частоты в соответствии с текущим значением напряжения, сформированного на выходе вычислительного блока 12; второй ключ 18 предназначен для подачи на вход блока 3 задания скорости текущего значения кода тактовой частоты, сформированной в блоке 17, или кода тактовой частоты, соответствующей скорости быстрого хода, образованного под воздействием управляющей программы в блоке 1 задания программы.

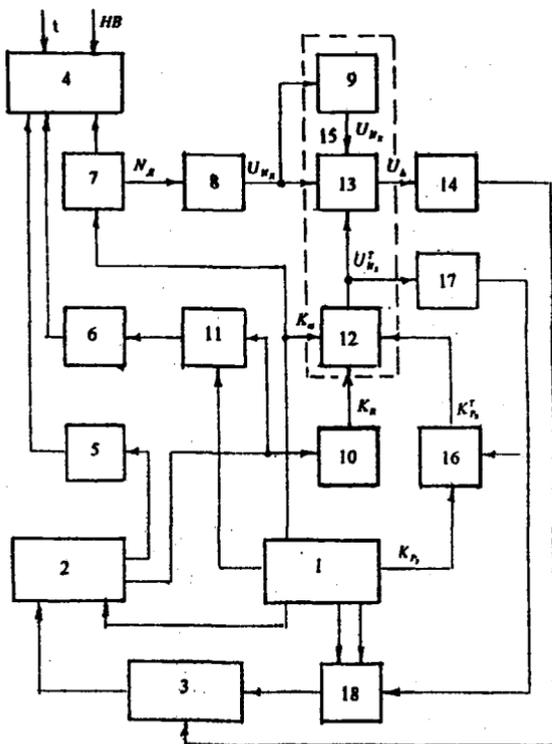


Рис. 1. Схема адаптивной системы управления токарным станком с ЧПУ.

Система, включающая в себя блок 1 задания программы, блок интерполяции 2 и блок 3 задания скорости подачи, управляет станком 4 путем воздействия на привод 5 продольной подачи, привод 6 поперечной подачи и двигатель привода 7 шпинделя. Кроме того, на процесс резания оказывают возмущающие воздействия глубина резания  $t$  и твердость материала детали НВ. Активная мощность  $N_d$ , потребляемая двигателем привода 7 шпинделя, измеряется датчиком 8 и преобразуется им в напряжение  $U_{N_d}$ , пропорциональное величине  $N_d$ . Компенсатор 9 после каждого включения двигателя привода 7 формирует на своем выходе и запоминает напряжение  $U_{N_x}$ , пропорциональное активной мощности  $N_x$ , потребляемой этим двигателем в режиме холостого хода. Счетчик 10 содержит в виде двоичного кода информацию о радиусе обработки. Начальная информация записывается в счетчик при нахождении суппорта поперечной координаты в опорной точке. Изменение этой информации происходит под действием приводных импульсов поперечной координаты, поступающих с одного из выходов блока 2 интерполяции на вход счетчика 10. Ввод в счетчик 10 информации, соответствующей величине вылета резца, осуществляется под действием управляющей программы, формируемой блоком 1. Для этого в программе записывается специальная команда вылета резца (номер коррекции) и необходимая величина перемещения по поперечной координате. Под действием команды вылета резца блок 1 задания программы блокирует прохождение приводных импульсов через ключ 11, в результате чего информация счетчика 10 изменится при неподвижном суппорте поперечной координаты (приводится в соответствие с истинным радиусом обработки).

Код радиуса обработки  $K_R$  с выхода счетчика 10 поступает на вход вычислительного блока 12, на другие входы которого из блока 1 задания программы поступает код угловой скорости вращения шпинделя  $K_\omega$ , который образуется под воздействием управляющей программы, и текущее значение заданной силы резания  $K_P^T$  которое формируется в блоке 16 реализации закономерности преобразования силы резания с устройством ввода. Начальное значение  $K_{P_3}$  образуется под воздействием управляющей программы и поступает на вход блока 16 реализации закономерности преобразования силы резания с устройством ввода. В этом блоке она изменяется в соответствии с закономерностью, информация о которой поступает с устройства ввода.

На выходе блока 12 формируется напряжение  $U_{N_3}^T$  пропорциональное текущему произведению значений кодов  $K_P^T$ ,  $K_\omega$ ,  $K_R$ , а следовательно, пропорциональное и заданной текущей мощности резания  $N_3^T$  которая определяется из равенства (1) при условии  $P_2 = P_3^T$

$$N_3^T = P_3^T \omega_\omega R \quad (2)$$

Напряжение пропорциональное текущему значению мощности резания с выхода вычислительного блока 12 поступает на вход блока 17 изменения тактовой частоты и на вход блока 13 сравнения. На выходе блока 17 формируется текущее значение кода

тактовой частоты, которое поступает на вход блока 3 задания скорости при условии, что на вход второго ключа 18, связанного с одним из выходов блока 1 задания программы, не поступит команда блокировки (признак быстрого хода). В противном случае ключ 18 пропускает на вход блока 3 задания скорости код тактовой частоты, соответствующий быстрому ходу, сформированный в блоке 1 задания программы.

Блок 13 сравнения формирует на своем выходе напряжение рассогласования  $U_{\Delta}$  в соответствии с равенством.

$$U_{\Delta} = U_{N_d} - U_{N_x} - U_{N_r} \quad (3)$$

Анализируя равенства (3), (2) и (1), можно заключить, что  $U_{\Delta} = 0$  при  $P_z = P_z^r$

Регулятор подачи 14, воздействуя на блок 3 задания скорости, корректирует тактовую частоту работы блока 2 интерполяции таким образом, чтобы  $U_{\Delta}$  было равно нулю. При этом блок 3 задания скорости формирует результирующее значение тактовой частоты.

Схема алгоритма ввода закономерности изменения силы резания в функции пути представлена на рис. 2. На схеме приняты следующие обозначения: К – режим работы устройства ввода (форма задания закономерности изменения силы резания в функции пути);  $z_n, z_k, z_i$  – соответственно начальное, конечное и текущее значение координаты  $z$  (точки приложения силы резания).  $\Delta z$  – приращение координаты  $z$ ;  $P_{z_n}, P_{z_i}$  – соответственно начальное и текущее значение тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$ ;  $n$  – количество точек, описывающих заданную закономерность изменения силы резания;  $A, \omega, \varphi$  – соответственно амплитуда, частота и начальная фаза колебаний силы резания;  $a_3, a_2, a_1, a_0, b_3, b_2, b_1, b_0$  – коэффициенты полинома;  $i$  – вспомогательная переменная.

В алгоритме предусмотрена возможность задания закономерностей по табличным значениям координат опорных точек ( $K = 1$  и  $K = 2$ ), а также аналитически, например в виде синусоиды синусоиды ( $K = 3$ ) и в виде полинома.

В результате ряда экспериментов, проведенных на станке мод. СМ1756Ф3, оснащенном разработанной адаптивной системой управления, установлено следующее.

1. Уменьшение рассеивания диаметральных размеров более чем в два раза при обработке деталей из стали 40ХН с колебаниями припуска от 2 до 4 мм на сторону.

2. Повышение точности формы нежестких деталей в осевом сечении в 2–3 раза за счет уменьшения влияния совокупного действия ряд систематических и случайных факторов. К таким факторам прежде всего относятся: изменение положения точки приложения силы резания по длине детали; непрямолинейность направляющих; колебание припуска по длине детали; колебание твердости материала заготовки; затупление режущего инструмента.

3. Увеличение стойкости режущего инструмента на 40–60% за счет работы с оптимальными режимами резания и снижения уровня вибраций.

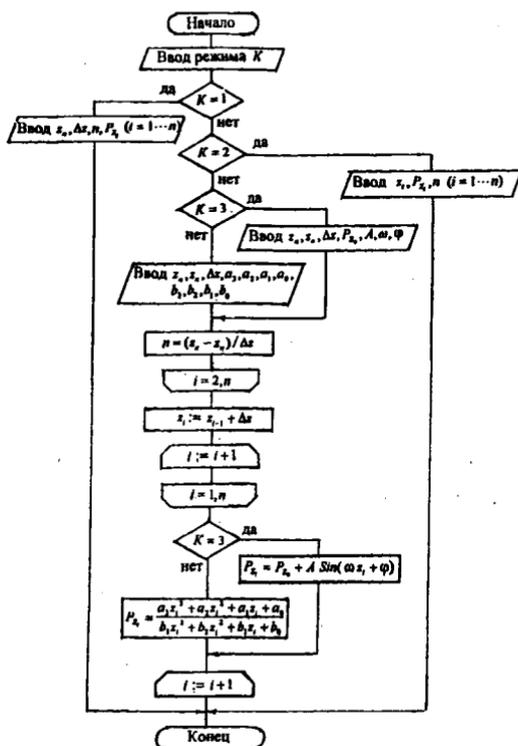


Рис. 2. Схема алгоритма ввода закономерности изменения тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  в функции пути

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сосонкин В.Л. Программное управление технологическим оборудованием. – М.: Машиностроение, 1991. – 512 с.
2. Kashtalyan I. A. Improvement of Manufacturing Software for Microprocessor Program Controllers // Micro and Precision Mechanics: Proceeding of the 41TH International Colloquium. – Ilmenau, 1996. V. 1. P. 441–444.