

## АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬЮ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ НА ДВУХСУППОРТНОМ ТОКАРНОМ СТАНКЕ С ЧПУ

**Каштальян И.А., Орукари Б., Шут Е.Д.**

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

Резервы эффективного использования двухсуппортных токарных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) находятся в рациональном совмещении обработки поверхностей заготовки при общей частоте вращения шпинделя. Наибольший эффект от совместного точения двумя резцами, установленными на разных суппортах, может быть получен при изготовлении нежестких деталей (кроме увеличения производительности обработки значительно повышается точность формы детали в продольном сечении за счет уравнивания радиальных сил резания). Настройку резцов при этом осуществляют по одной из известных схем: с делением глубины резания; с делением подачи. Указанные схемы настройки имеют общий недостаток, который обусловлен возникновением вибраций вследствие взаимного влияния реализуемых процессов резания друг на друга. Вибрации вызывают ухудшение качества обработанной поверхности, повышают износ режущего инструмента, снижают точность и долговечность станка.

Устойчивость технологической системы к автоколебаниям при доминирующей нежесткости заготовки может быть повышена за счет введения в кинематическую схему обработки нестационарного движения (например, модулированной подачи). Амплитуда изменения силы резания  $A_p$ , вызываемая изменением подачи, при этом должна соответствовать условию

$$A_p \geq \frac{a_0(\omega_d^2 - f_m^2)m_d}{1,41},$$

где  $f_m$  – частота модулированного изменения подачи, Гц;  $a_0$  – величина установившейся амплитуды колебаний при отсутствии модулированного изменения подачи, м;  $\omega_d$  – частота автоколебаний, Гц;  $m_d$  – масса детали, кг.

Для реализации обозначенного условия гашения автоколебаний при обработке заготовок на двумя резцами одновременно, в технологическое программное обеспечение устройства ЧПУ был включен модуль, позволяющий периодически увеличивать подачу от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ , а потом снижать ее до первоначального значения [1]. Изменение подачи между ее пиковыми значениями производится приращениями величиной  $\Delta S$  по мере обработки участков  $\Delta l$  между приращениями: устройство ЧПУ поочередно реализует зависимость  $S_{\max} = S_{\min} + n_s \Delta S$  и зависимость

$S_{\min} = S_{\max} - n_s \Delta S$ , где  $n_s$  – число приращений скорости подачи при ее изменении от  $S_{\min}$  до  $S_{\max}$ . Длина пути разгона (замедления) при этом определяется из выражения  $l_1 = n_s \Delta l$ : значение  $\Delta S$  выбирается кратным 0,1 мм/мин;  $\Delta l$  принимается кратной единице дискретности.

Включение режима модулированного изменения подачи может осуществляться путем задания в кадре управляющей программы (УП) совместно с геометрической и технологической информацией параметров  $\Delta S$ ,  $\Delta l$ ,  $S_{\min}$ ,  $n_s$  либо путем формирования этих параметров автоматически в зависимости от уровня вибраций, определяемых в процессе резания.

Вариант автоматического формирования параметров модулированной подачи является предпочтительным. Для его реализации станок с ЧПУ мод. 1А751Ф3 был оснащается системой управления, обеспечивающей измерение мощности резания и интенсивности вибраций (амплитуды и частоты), а также преобразование этих параметров в цифровые коды. Структурная схема такой системы управления представлена на следующем рисунке.

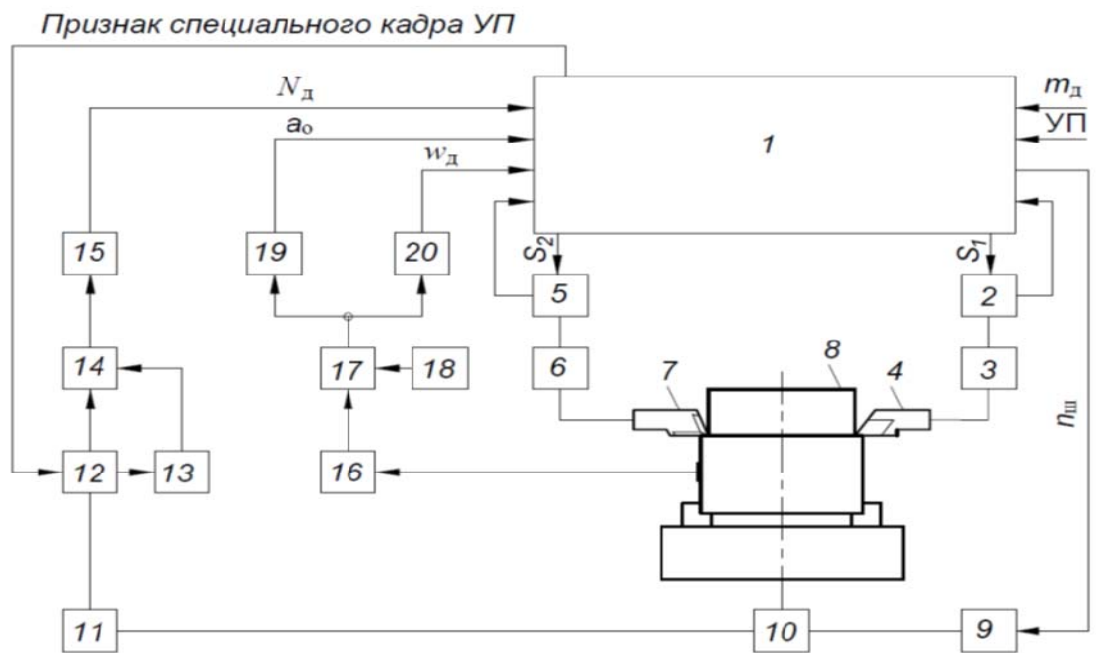


Рис. 1. Структурная схема системы управления уровнем вибраций

Система работает следующим образом. Устройство числового программного управления 1 в соответствии с УП вырабатывает управляющие импульсы, которые поступают на блок 2 управления приводом подачи правого суппорта, блок 5 управления приводом подачи левого суппорта и блок 9 управления приводом главного движения. В результате привод 3 подачи осуществляет перемещение резца 4 с заданной скоростью подачи  $S_1$ , привод 6 осуществляет перемещение резца 7 с заданной скоростью  $S_2$ , а привод 7 главного движения осуществляет вращение заготовки с частотой  $n_{ш}$ . Активная мощность  $N_d$ , потребляемая

двигателем привода 10 главного движения, измеряется датчиком 11 мощности и преобразуется им в напряжение  $U_{N_d}$ , пропорциональное величине  $N_d$ . Функцию автоматической компенсации мощности холостого хода при этом выполняют ключ 12 и компенсатор 13. Режим холостого хода устанавливается с помощью ключа 12 при наличии признака специального кадра УП, в котором задана необходимая частота вращения заготовки. Компенсатор 13 формирует и запоминает напряжение, пропорциональное активной мощности, потребляемой двигателем в режиме холостого хода  $U_{N_x}$ . В результате на один из входов сумматора 14 поступает напряжение  $U_{N_d}$ , пропорциональное активной мощности  $N_d$ , потребляемой двигателем под нагрузкой, а на второй – напряжение  $U_{N_x}$ , пропорциональное мощности холостого хода  $N_x$ . После операции вычитания  $(U_{N_d} - U_{N_x})$  на выходе сумматора получаем напряжение, пропорциональное мощности резания  $U_{N_p}$ , которое с помощью аналого-цифрового преобразователя 15 преобразуется в цифровую форму и поступает на один из входов устройства ЧПУ. Если уровень вибраций, а, следовательно, и сигнал с выхода датчика 16 меньше величины зоны нечувствительности усилителя 17, определяемой сигналом с датчика 18, сигнал на выходе усилителя равен нулю. Следовательно, равны нулю значения амплитуды  $a_0$  на выходе аналого-цифрового преобразователя 19 и частоты  $\omega_d$  на выходе определителя частоты 20. При этом привод подачи 3 с блоком управления приводом подачи 2 и привод подачи 6 с блоком управления приводом подачи 5 обеспечивают заданные в УП значения подачи  $S_1$  и  $S_2$ , соответственно. Когда уровень вибраций возрастет и сигнал с выхода датчика 16 станет больше величины зоны нечувствительности усилителя 17, на выходе последнего появится сигнал, величина которого определяет значения параметров  $a_0$  и  $\omega_d$ . После преобразования в цифровую форму эти параметры вводятся в память устройства ЧПУ и совместно с данными о массе детали  $m_d$  и мощности резания  $N_p$  используются для определения частоты  $f_m$  и амплитуды  $A_p$  изменения силы резания и последующего формирования параметров модулированного изменения подачи  $S_{\min}, \Delta S, \Delta l, n_s$  для правого или левого суппорта. Признак суппорта, на который возлагается функция модулированного изменения подачи, задается в УП. Модуль формирования параметров  $S_{\min}, \Delta S, \Delta l, n_s$  входит в состав технологического программного обеспечения устройства ЧПУ.

1. Каштальян, И.А. Дискретное управление процессами резания на токарных станках с числовым программным управлением / И.А. Каштальян, В.К. Шелег, Б. Орукари // Весці НАН Беларусі, серыя фізіка-тэхн. навук. №4, 2015, с. 115–126.