

Метод декомпозиции и синтеза специализированных систем ЧПУ

Г.М. Мартинов, Н.В. Козак, Р.А. Нежметдинов,

А.С. Григорьев, А.И. Обухов, Л.И. Мартинова (МГТУ «СТАНКИН»)

Рассмотрено создание базовой платформы для построения на ее основе специализированных систем числового программного управления (ЧПУ) высокотехнологичными производственными комплексами, где классические системы ЧПУ неприменимы либо задачи управления решаются не полностью.

Ключевые слова: система ЧПУ, непрерывная и дискретная лазерная обработка, гидроабразивная обработка, 5-координатная обработка, синтез, матрица решений.

С появлением в последние годы новых технологий, таких как аддитивные технологии изготовления изделий, гибридные технологии обработки (где две и более две и более разные энергии одновременно действуют в одной и той же точке) [1], технологии обработки, базирующиеся на новых физических принципах, технологии обработки на станках новых (нетрадиционных) конструкций [2] и др., не сформировался системный подход к построению систем управления. А речь идет о технологиях, используемых в стратегических отраслях и формирующих основы для технологического прорыва в сфере создания новых образцов промышленного оборудования.

Поставки в Россию систем ЧПУ с функциями 5-координатной обработки и систем управления технологическими роботами, то есть самых сложных и технически совершенных систем управления, необходимых для создания отечественного технологического оборудования, ограничены. При этом системы ЧПУ класса Hi-End, которые все же присутствуют на отечественном рынке, лишь условно можно считать открытыми. Полностью открыты подобные системы только для самого производителя. Вариант передачи собственного know-how зарубежного производителя ЧПУ отечественным фирмам для интеграции в систему управления, как правило, не приемлем. В России не производятся системы ЧПУ класса Hi-End, а выпускаемые системы в силу архитектурных ограничений не могут служить базой для создания решений этого класса. Поэтому проблема создания отечественной системы ЧПУ для управления высокотехнологичными производственными комплексами является задачей обеспечения технологической независимости страны.

Задачи управления в специализированных системах ЧПУ

Системный подход к построению ПО систем ЧПУ предполагает выделение задач управления в качестве автономных объектов разработки [3].

Геометрическая задача обеспечивает математический расчет траектории режущего инструмента (кромки лезвия, струи, лазера и т.д.) с учетом особенностей кинематики станка, коррекций, ограничений и требований точности. Логическая задача реализует управление цикловой автоматикой станка [4]. Терминальная задача предоставляет оператору станка все необходимые функции управления средствами

пользовательского интерфейса. Она определяет привлекательность и конкурентоспособность системы ЧПУ на рынке. Технологическая задача обеспечивает заданные параметры ТП, что реализуется, например, через адаптивное управление, управление мощностью лазера на всей обрабатываемой траектории и т.д.

В ходе исследований был расширен список традиционных задач управления: его дополнили коммуникационная и диагностическая задачи. Коммуникационная задача обеспечивает связь между модулями системы и реализует информационный обмен данными в режиме РВ по промышленным протоколам [5]. Диагностическая задача отвечает за сбор и анализ данных о состоянии оборудования и выполняемого ТП [6].

Декомпозиция систем ЧПУ и формирование матрицы решений

В рамках процесса декомпозиции разработана матрица решений, столбцы которой представляют задачи управления (геометрическая, логическая, технологическая, терминальная, диагностическая и коммуникационная), строки — используемые технологии. С помощью матрицы определяется необходимый набор программно-аппаратных компонентов для компоновки системы управления под конкретную производственную структуру.

Собирательный образ систем ЧПУ для разнородного технологического оборудования необозрим. Мировые производители стараются максимально оснастить свои флагманские системы функциональными возможностями. Однако есть порог, за которым теряется эффективность, и такие системы ЧПУ используются в лучшем случае на 40...50% от своих потенциальных возможностей. Созданная матрица решений систематизирует набор модулей системы ЧПУ в соответствии с технологиями, которые реализует система управления.

На основе матрицы определяется минимально необходимый набор модулей для последующего синтеза специализированной системы ЧПУ. Таким образом, при разработке новых технологических комплексов заказчик только определяет набор технологий обработки, которые необходимо обеспечить. Разработчики специализированной системы управления с помощью матрицы решений выбирают модули, реализующие искомые технологии обработки, и интегрируют эти модули в систему ЧПУ.

Таблица 1. Матрица решений

Технологии	Задачи системы ЧПУ					
	Геометрическая	Логическая	Терминальная	Коммуникационная	Технологическая	Диагностическая
Непрерывная лазерная обработка	Модуль управления системой дефлексии	Модуль обработки сигналов лазера	Настройка и отображение параметров лазера Преобразователь 3D модели	Модуль связи с дефлектором	Адаптивное управление мощностью излучения	Диагностика и мониторинг параметров излучения
Импульсная лазерная обработка	Модуль синхронизации движения с импульсами лазера	Модуль обработки сигналов лазера	Настройка и отображение текущих параметров лазера	Драйвер управления дискретными сигналами лазера	Адаптивное управление частотой излучения	Диагностика и мониторинг параметров излучения
Многокоординатная обработка	Модуль кин. трансформации Электронная гитарас Компенсация деформации по осям Синхронизация каналов управления	Реализация Master-Slave на базе ППК	Интерфейс многоканального управления	Мультипротокольный интерфейс связи системы ЧПУ с приводами Реализация Master-Slave на базе приводов	Модуль адаптивной обработки Модуль настройки инструмента после установки	
Измерение инструмента и заготовки	Модуль обработки измерений		Отображение режима измерений и графики измерительных циклов		Диагностирование реж. инструмента и его остаточной стойкости	Измерительные циклы заготовки и инструмента
Гибридная и многофункциональная обработка	Модуль внешней интерполяции	Синхронизация при управлении энергией обработки				
Гидроабразивная обработка	Модуль коррекции контура по форме струи	Управление параметрами гидроабразивной обработки	Отображение и настройка параметров гидроабразивной обработки	Реализация связи с автономной станцией высокого давления	Стандартные циклы гидроабразивной обработки	Диагностика и мониторинг станции высокого давления
Многопользовательский доступ к системе ЧПУ			Web-клиент управления системы ЧПУ Мульти-терминальное управление	Web-сервер управления системы ЧПУ		Модуль удаленной диагностики параметров системы
Интеграция с системами верхнего уровня		ОПС-сервер данных электроавтоматики (ППК)		ОПС-сервер данных системы ЧПУ		

Предложенный набор технологий в матрице решений (табл. 1) расширяется по мере необходимости.

Реализация технологии непрерывной лазерной обработки

Управление обработкой изделий непрерывным лазерным излучением состоит в управлении лазером и дефлектором (устройством, осуществляющим сканирование рабочего поля лучом с помощью отклоняющих зеркал) из системы ЧПУ (рис. 1).

Геометрическая задача системы ЧПУ отвечает за функциональность, связанную с реализацией управления движением формообразования. На вход поступает управляющая программа в коде ISO-7bit, на выходе формируются команды, задающие траекторию перемещения и фокус лазерного луча. Модуль управления системой дефлексии взаимодействует с дефлекторами

прямого управления или с дефлекторами, имеющими автономный контроллер движения, через абстрактный интерфейс и отправляет команды управления.

Модуль обработки сигналов лазера в рамках логической задачи выполняет операции останова/запуска программы по внешнему сигналу, осуществляет контроль готовности лазера и выхода его на рабочий режим. Связь модуля обработки сигналов с лазером, как правило, осуществляется по последовательному интерфейсу.

Модуль настройки и отображения параметров лазера (терминальная задача) реализует конфигурируемые режимы настройки и отображения текущих параметров лазера в виде отдельных экранов. С помощью модуля настройки и отображения оператор задает параметры работы лазера и настраивает связи с ним.

Системы управления лазерной обработкой, как правило, генерируют управляющие программы

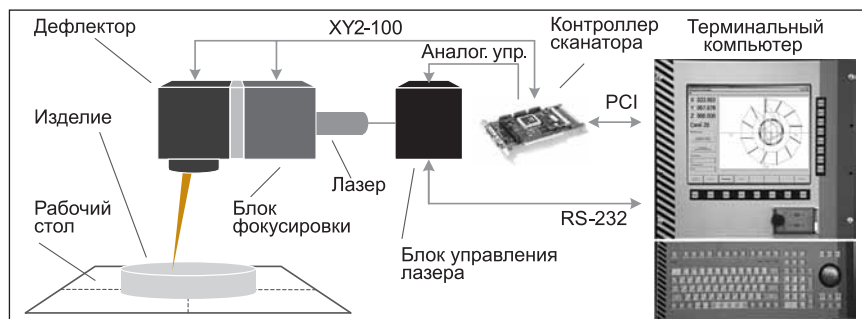


Рис. 1. Система управления установкой непрерывной лазерной обработки

по трехмерной модели изделия. *Модуль препроцессора 3D модели* (терминальная задача) рассекает трехмерную модель на слои, конвертирует сечения в траектории перемещения луча и добавляет технологические команды (управление мощностью лазера и др.).

Модуль связи с дефлектором (коммуникационная задача) обеспечивает связь с дефлектором и реализован в виде драйвера платы управления устройством. В зависимости от способа управления дефлектором он реализуется либо в терминальной части, либо в ядре системы ЧПУ, поэтому модуль связи обеспечивает доступ к дефлектору по единому интерфейсу как из ядра, так и из терминала.

Технологический процесс оптимизируется по времени, что требует поддержания максимальной контурной скорости при учете предельных ускорений по осям. *Модуль адаптивного управления мощностью излучения* (технологическая задача) корректирует мощность излучения лазера при изменении скорости перемещения луча на резких поворотах и криволинейных участках траектории с целью поддержания постоянных условий воздействия излучения на обрабатываемый материал.

С технологической задачей в лазерных системах тесно связана диагностическая задача. Модуль диагностики и мониторинга параметров излучения формирует в режиме РВ решения о коррекции значения мощности излучения.

Реализация технологии импульсной низкочастотной лазерной обработки

Главная особенность управления импульсными установками заключается в необходимости обеспече-

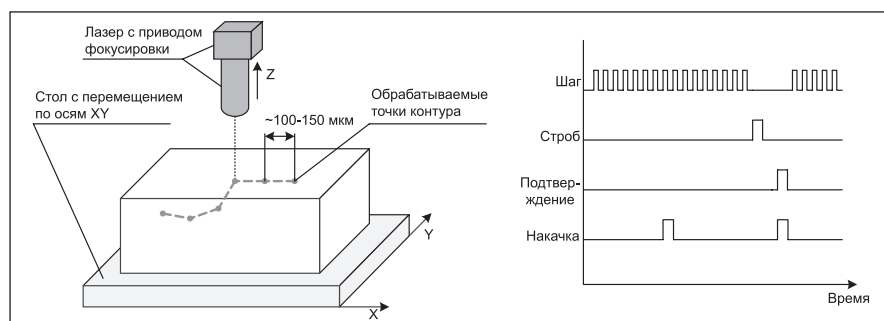


Рис. 2. Схема взаимодействия системы управления с импульсным лазерным станком

ния строгой синхронизации между импульсами лазера и перемещением заготовки [7]. Момент достижения очередной точки должен совпадать с моментом осуществления импульса накачки лазера (рис. 2). При этом частота импульсов накачки должна выдерживаться с допустимой погрешностью, иначе энергия и расходимость пучка будут недостаточны для обработки точки.

Модуль синхронизации движения с импульсами лазера (геометрическая

задача) реализует алгоритм прохода обрабатываемых точек без снижения скорости, что позволяет использовать все преимущества опережающего просмотра кадров и сплайновой интерполяции.

В импульсных лазерных системах построение логической и терминальной задач аналогично установкам непрерывной лазерной обработки. Особенностью коммуникационной задачи является наличие *драйвера управления дискретными сигналами*, который осуществляет модуляцию излучения в РВ напрямую из интерполятора системы ЧПУ.

Модуль диагностики и мониторинга параметров излучения контролирует среднее значение мощности, на основании которого в РВ принимается решение об оптимальном значении частоты излучения. Максимально допустимая частота пропорциональна фактической средней мощности излучения.

Реализация технологии многокоординатной обработки

Станки, реализующие многокоординатную обработку, как правило, обладают специфичной кинематической схемой, что требует со стороны системы управления наличия серьезных ресурсов для вычисления траектории движения инструмента относительно заготовки [8]. Технология многокоординатной обработки реализуется в матрице решений компонентами геометрической, логической, терминальной, коммуникационной и технологической задач.

Модуль кинематической трансформации (геометрическая задача) производит расчет приращений позиций приводов, необходимых для достижения инструментом заданной точки, что позволяет настраивать систему

ЧПУ для станков с оригинальными кинематическими схемами. Модуль кинематической трансформации решает прямую задачу кинематики, сводящуюся к нахождению декартовых координат инструмента, исходя из заданных позиций приводов, а также решает обратную задачу — нахождение позиций приводов на основе заданных координат инструмента.

Синхронизация нескольких осей при обработке поверхностей

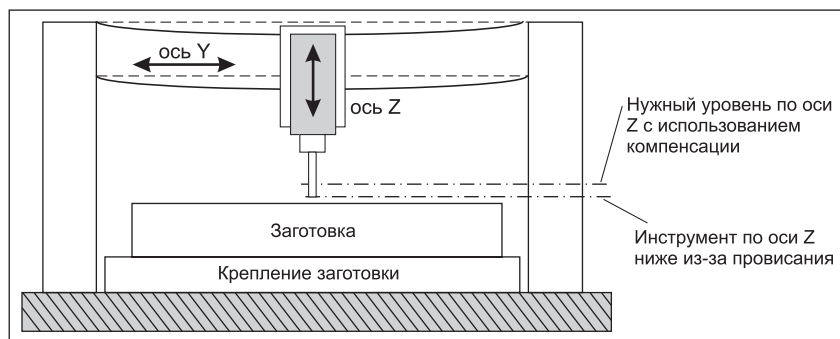


Рис. 3. Компенсация погрешности по оси Z в зависимости от оси Y

сложного профиля или организации согласованных операций исполнительных узлов машины используется *модуль электронной гитары скоростей* (геометрическая задача). Модуль позволяет системе ЧПУ исключить потребность в редукторе с изменяемым передаточным числом (гитаре скоростей) и значительно повысить точность согласования и позиционирования осей. Настройка синхронизации осей осуществляется через коэффициенты, задаваемые в управляющей программе. В язык управляющих программ системы ЧПУ "АксиОМА Контрол" для задания параметров и включения/выключения режима синхронизации введены дополнительные G- и M-команды. Включение режима синхронизации осей осуществляется функцией M902, выключение — функцией M903. Параметры синхронизации задаются командой G583 <ведущая ось><коэффициент ведомой оси>. Например, G583 X0 Y0.5 означает, что в режиме синхронизации в качестве ведущей оси выступает ось X, а ведомой — ось Y с коэффициентом 0,5.

Модуль компенсации погрешностей (геометрическая задача) компенсирует погрешности ходового винта (для линейных осей), погрешности круговых осей, погрешности зависимых осей (например, прогиб по оси Z поперечины портала в зависимости от координаты Y) (рис. 3).

Многоканальное управление в системах ЧПУ применяют для сокращения времени обработки путем распараллеливания процесса резания на многшпиндельных станках, при этом происходит уменьшение погрешностей, связанных с переустановкой заготовки. *Модуль синхронизации каналов управления* (геометрическая задача) обеспечивает согласованную работу групп осей и синхронизацию управляющих

программ, выполняющихся на разных каналах управления. Оси станка логически группируются по каналам, модуль синхронизации каналов предоставляет в коде управляющей программы механизм передачи оси из одного канала в другой. Ось монополюсально захватывается на время ее использования в канале управления и затем освобождается.

Модуль интерфейса многоканального управления (терминальная задача) реализует компоненты пользовательского интерфейса для выбора активного

канала, закрепления осей за каналом управления, отображения текущих данных каналов (состояние, режим работы и т.д.) (рис. 4).

Модуль мультипротокольного интерфейса связи (коммуникационная задача) использует объекты, не зависящие от интерфейса промышленной шины, абстрагируя алгоритмы интерполяции и управления электроавтоматикой от специфики исполнительных устройств. Тип интерфейса конкретного исполнительного устройства задается и настраивается в машинных параметрах. Согласованную работу исполнительных устройств в режиме РВ обеспечивает заложенный механизм циклического обмена данными, использующий либо циклический опрос («пуллинг»), либо обработку прерываний.

Реализация технологии измерения инструмента и заготовки

Технологии измерения в системе ЧПУ применяют для настройки на технологическую операцию и выполнения активного контроля в процессе обработки.

Модуль обработки измерений (геометрическая задача) реализует функцию пропуска (G75) — специальный режим интерполяции до касания. Функция используется в измерительных циклах при обмере заготовки или инструмента. В результате измерения система ЧПУ вносит коррекцию на установку детали и инструмента. Модуль обработки измерений при получении сигнала касания датчика от быстрых входов фиксирует текущие координаты осей и инициирует последующую процедуру экстренной остановки. Координаты точки касания запоминаются во внутренних переменных канала управления для

последующего использования в коде управляющей программы или измерительного цикла. Например, в цикле безопасного позиционирования (G101) текущее положение используется для расчета условия, когда шуп достиг заданной позиции с заданной точностью.

Модуль отображения режима измерений (терминальная задача)

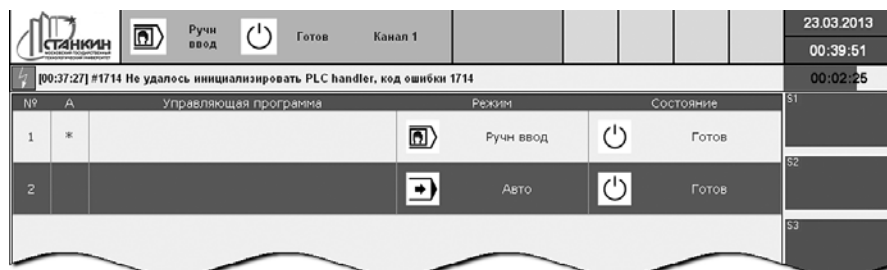


Рис. 4. Экран выбора активного канала

G	G01					Мин			
M						S, об/мин	0		
Активный инструмент						Координаты точек касания			
T	1					X	Y	Z	
L, мм	220					1	430.0001	219.0001	280.0001
h, мм	25					2	430.0001	191.0001	280.0001
m, мм	12					3	430.0001	198.0001	280.0001
B, мм	20					4	428.0001	178.0001	280.0001
Данные измеряемого инструмента						Данные точек измерения			
F2	Выбор программы	F3	Коррекция программы	F4	Графика	F5		F6	

Рис. 5. Пользовательский интерфейс оператора в режиме измерений

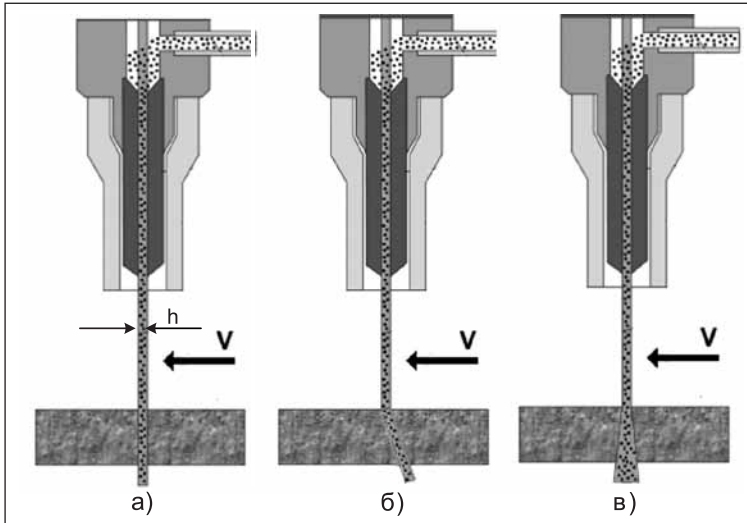


Рис. 6. Специфика гидроабразивной обработки

реализует компоненты отображения координат точек измерений, параметры измеряемого инструмента, графического представления траектории измерительного шупа и полученных точек касания (рис. 5).

Модуль диагностирования режущего инструмента (технологическая задача) осуществляет диагностирование режущего инструмента и прогноз его остаточной стойкости в процессе обработки. Диагностирование осуществляется на базе информации с датчиков, установленных в зоне резания, или информации изменения мощности приводов. На основе заложенной модели процесса резания и полученных данных прогнозируется остаточная стойкость режущего инструмента, и результат сопоставляется с информацией об исполняемом технологическом переходе. При необходимости модуль генерирует управляющие сигналы на снижение подачи и оборотов шпинделя для

гарантированного завершения технологического перехода или экстренной смены инструмента во избежание поломки.

Модуль стандартных циклов калибровки и измерений (диагностическая задача) реализует спектр измерительных циклов (калибровка шупа, измерение инструментов резцов, фрез, сверл, измерение типовых геометрических элементов детали), который может быть дополнен собственными измерительными циклами станкостроителя и конечного пользователя.

Реализация технологии гидроабразивной обработки

Гидроабразивная обработка в качестве режущего инструмента использует струю воды или смесь воды и абразивного материала под высоким давлением. Специфика системы ЧПУ связана с управлением струей, контролем параметров подачи абразивного песка и давления, а также с реализацией вспомогательных M-команд управления электроавтоматикой.

Технология гидроабразивной обработки в матрице решений реализуется компонентами геометрической, логической, терминальной и коммуникационной задач.

Модуль коррекции контура (геометрическая задача) отвечает за процесс формообразования с учетом физических особенностей процесса резки материала струей:

- погрешность ширины реза (рис. 6, а). Последняя определяется размером струи и задается оператором в системных параметрах. Алгоритм коррекции аналогичен эквидистантной коррекции на размер инструмента при механической обработке в плоскости либо коррекции на радиус инструмента в пространстве;
- отклонение от контура. В процессе резания материала с уменьшением мощности резания происходит отклонение струи в обратном от движения направлении (рис. 6, б). Алгоритм корректирует скорость подачи и давление струи в зависимости от типа обрабатываемого материала и толщины заготовки;



В ПЛК	Машинные параметры ПЛК
Эмулятор ПЛК	False
Тип ПЛК	PLC_MODBUS
Watch Dog для приводов	False
Watch Dog ПЛК байт	0
Watch Dog интервал, мс	0
EtherCAT	0
Панели управления	Массив NcPanelMachParamHolder[]
В [0]	Параметры станочной панели
Используется	True
Тип	NC_WATERJAT
Порт станочной панели	3
Имя порта станочной панели	/dev/tmxcharA3
Адреса контроллеров	Адреса контроллеров клавиш и подсветки

Рис. 7. Реализации элементов пользовательского интерфейса терминальной задачи при гидроабразивной обработке

Таблица 2. Результирующая матрица решений для карусельного токарно-фрезерного обрабатывающего центра VMG 50

Технологии	Задачи системы ЧПУ										
	Геометрическая				Логическая	Терминальная	Коммуникационная		Технологическая		Диагностическая
Многокоординатная обработка	Модуль кин. трансформации	Электронная гитарас	Компенсация деформации по осям	Синхронизация каналов управления	Реализация управления Master-Slave на базе ППК	Интерфейс многоканального управления	Мультипротокольный интерфейс связи системы ЧПУ с приводами	Реализация управления Master-Slave на базе приводов	Модуль адаптивной обработки	Модуль настройки инструмента после установки	
Измерение инструмента и заготовки	Модуль обработки измерений					Отображения режима измерений и графики измерительных циклов			Диагностирование реж. инструмента и его остаточной стойкости		Измерительные циклы заготовки и инструмента
Многопользовательский доступ к системе ЧПУ						Мульти-терминальное управление					Модуль удаленной диагностики параметров системы

• отклонение от формы. Согласно закону сохранения энергии, струя теряет энергетические характеристики на выходе из материала и стремится описать конус (рис. 6, схема в). Алгоритм корректирует давление струи, количество подаваемого абразива при резании в соответствии с толщиной и типом обрабатываемого материала.

В рамках логической задачи [9] посредством вспомогательных M-функций осуществляется открытие (M108) и закрытие (M109) заслонки подачи воздуха в режущую головку, регулирование подачи абразива (M110), включение (M111) и отключение (M112) высокого давления гидроабразивной обработки.

Компоненты интерфейса оператора (терминальная задача) отображают текущее значение давления струи (рис. 7, а), что характеризует процесс гидроабразивной резки, и реализуют экран настройки машинных параметров гидроабразивной обработки (рис. 7, б).

Станция высокого давления (СВД), отвечающая за нагнетание давления воды, имеет свой автономный контроллер. СВД объединяют с контроллером электроавтоматики станка в единую сеть (коммуникационная задача) с использованием стандартных промышленных протоколов для обмена данными и командами управления.

Работа с высоким давлением требует контроля безопасности СВД (диагностическая задача). Среди контролируемых параметров выделяют: давление в системе, температуру в системе,

загрязненность фильтрационного элемента очистки воды, время переключения поршня мультипликатора, давление воды на входе в мультипликатор (должно быть ≤ 4 кгс/см²). При превышении критического значения любого из контролируемых параметров система управления остановит СВД и выдаст предупреждение оператору.

Процедура синтеза специализированных систем ЧПУ

Синтез специализированных систем ЧПУ заключается в интеграции модулей, реализующих необходимые для решения производственных задач технологии, в единую систему управления конкретного технологического комплекса. Интеграция модулей осуществляется с использованием уровней абстракции, меха-

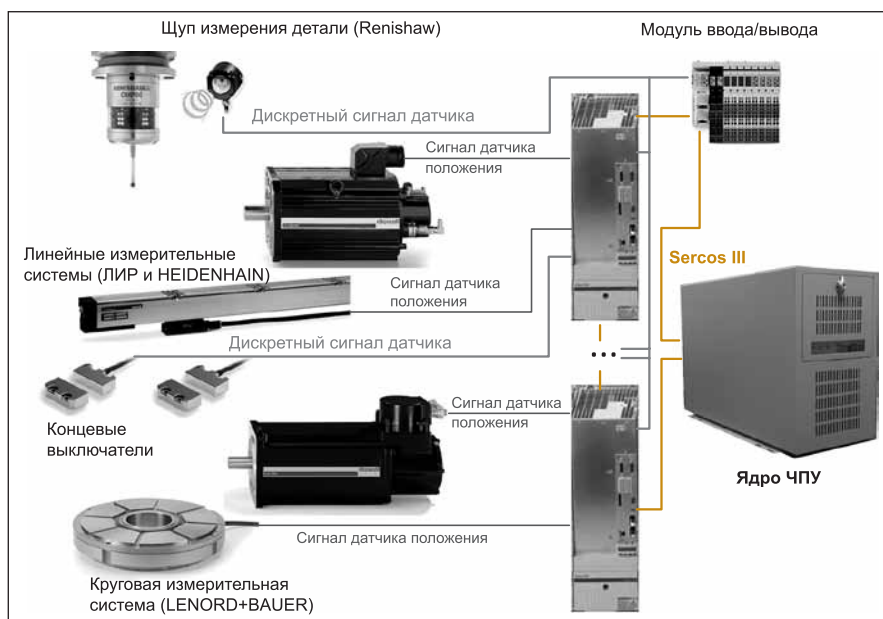


Рис.8. Измерительные системы обрабатывающего центра VMG 50

низмов взаимодействия компонентов и интерфейсов встраивания, заложенных в базовой платформе системы ЧПУ.

В качестве примера сформируем результирующую матрицу решений для карусельного токарно-фрезерного обрабатывающего центра VMG 50, оснащенного системой ЧПУ «АксиОМА Контрол». Центр VMG 50 предназначен для обработки крупногабаритных деталей весом до 125 тонн с точностью до 4 мкм. Система ЧПУ центра реализует многокоординатную обработку, осуществляет измерения с последующими коррекциями и обеспечивает многопользовательский доступ. Соответствующий набор модулей, реализующий перечисленные технологии, формирует результирующую матрицу решений (табл. 2).

Измерения детали и инструмента в обрабатываемом центре VMG 50 реализуются с использованием возможностей сервоприводов, способных быстро обрабатывать дискретные сигналы (рис. 8). Дискретный сигнал о касании шупа передается напрямую на вход контроллера привода. При получении этого сигнала каждый привод запоминает свою текущую позицию (координату касания) и останавливается с максимально возможным ускорением. Система ЧПУ, получив информацию о срабатывании датчика, запрашивает у приводов координаты точки касания.

Точность перемещений и измерений реализуется также использованием линейных и круговых измерительных систем, установленных непосредственно на исполнительных элементах станка. Сигнал от измерительных систем для замыкания контура управления по положению обрабатывается в сервоприводах.

Заключение

Применение метода декомпозиции в системах ЧПУ позволяет выделить ограниченный и в то же время расширяемый набор программно-аппаратных компонентов, реализующих технологии обработки. Синтез специализированных систем ЧПУ выполняется для конкретного технологического комплекса путем компоновки нужных системе программно-аппаратных модулей [10]. Использование матрицы решений существенно сокращает время разработки и выпуска на рынок систем управления для широкого круга технологического оборудования.

Предложенный метод успешно апробирован при создании систем управления установками непрерывной и импульсной лазерной обработки, систем управления многокоординатной обработкой с техно-

логиями измерения инструмента и заготовки, систем управления гидроабразивной обработкой [11, 12].

Список литературы

1. Georgi M. Martinov, Aleksandr B. Ljubimov, Anton S. Grigoriev, Liliya I. Martinova. Multifunction numerical control solution for hybrid mechanic and laser machine tool // *Procedia CIRP* 1 (2012) p.p. 277 - 281.
2. Grigoriev S.N., Martinov G.M. Decentralized CNC automation system for large machine tools. *Proc. of COMA 13, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch (South Africa), 2013: ISBN: 978-0-7972-1405-7, p.p. 295-300.*
3. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И. Анализ систем ЧПУ, представленных на Международной выставке «Металлообработка-Технофорум-2009», их новизна и особенность // *Автоматизация в промышленности*. 2009. № 12. С. 59-65.
4. Мартинов Г.М., Козак Н.В. Декомпозиция и синтез программных компонентов электроавтоматики // *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*. 2006. № 12. С. 4-11.
5. Мартинова Л.И., Мартинов Г.М. Организация междоульного взаимодействия в распределенных системах ЧПУ. Модели и алгоритмы реализации // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2010. № 11. С. 50-55.
6. Martinov G.M., Ljubimov A.B., Martinova L.I., Grigoriev A.S. Remote machine tool control and diagnostic based on web technologies. *Proc. of COMA 13, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch (South Africa), 2013: ISBN: 978-0-7972-1405-7, p.p. 351-356.*
7. Мартинов Г.М., Любимов А.Б., Обухов А.И. Проблема адаптации систем ЧПУ класса PCNC к станкам лазерной графики // *Мехатроника, автоматизация, управление*. 2009. № 1. С. 59-62.
8. Sergej N. Grigoriev, Georgi M. Martinov. Scalable open cross-platform kernel of PCNC system for multi-axis machine tool // *Procedia CIRP* 1 (2012) p.p. 255-260.
9. Мартинов Г.М., Нежметдинов Р.А. Кроссплатформенный программно-реализованный логический контроллер управления электроавтоматикой станков с ЧПУ // *Автоматизация и современные технологии*. 2013. № 1. С. 15-23.
10. Григорьев С.Н., Мартинова Л.И. Подход к построению информационно-вычислительных сред виртуальных производственных корпораций // *Межотраслевая информационная служба*. 2012. № 4. С. 31-37.
11. Нежметдинов Р.А., Соколов С.В., Обухов А.И., Григорьев А.С. Расширение функциональных возможностей систем ЧПУ для управления механо-лазерной обработкой // *Автоматизация в промышленности*. 2011. № 05. С. 49-53.
12. Мартинова Л.И., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Пушкин Р.Л., Обухов А.И. Практические аспекты применения отечественной многофункциональной системы ЧПУ "АксиОМА Контрол" // *Автоматизация в промышленности*. 2012. № 5. С. 36-40.

Мартинов Георгий Мартинович — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Компьютерные системы управления»,

Козак Николай Владимирович — канд. техн. наук, доцент,

Нежметдинов Рамиль Амирович — канд. техн. наук, доцент, **Григорьев Антон Сергеевич** — канд. техн. наук, научный сотрудник, **Обухов Александр Игоревич** — канд. техн. наук, научный сотрудник кафедры

«Компьютерные системы управления»,

Мартинова Лилия Ивановна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Технологии машиностроения» МГТУ «СТАНКИН».

Контактный телефон (499) 972-94-40.

E-mail: e-mail@ncsystems.ru