

**Лекция №12**

## **Металлообрабатывающие станки**

Логическое и числовое управление, программы ЧПУ

## Содержание

- 1 Введение в устройство систем управления станками
- 2 Системы логического управления (SPS)
- 3 Числовое программное управление (NC)
- 4 Заключение

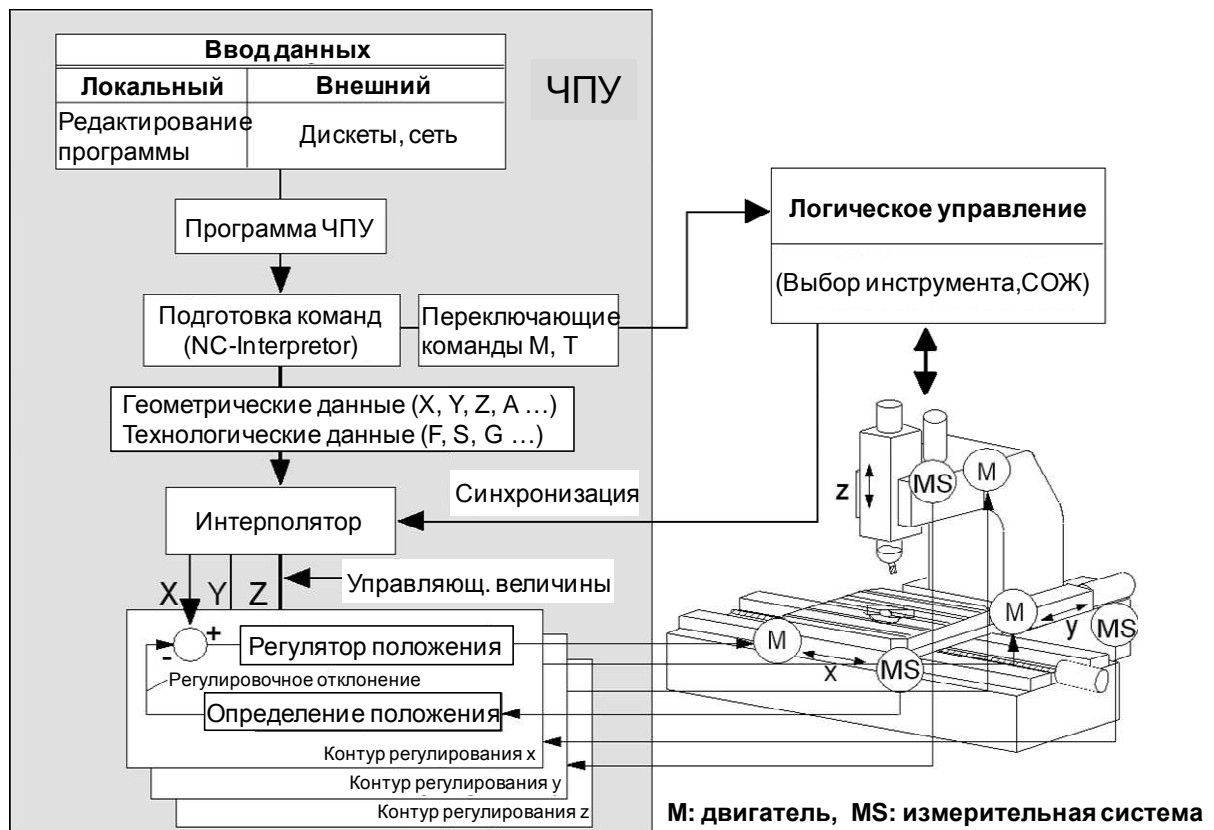


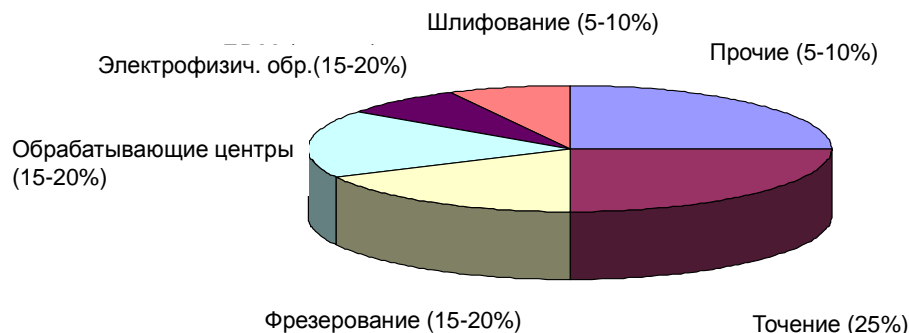
Рис. 12-1: Структура системы управления

Выходные данные программы ЧПУ, вместе с должной коррекцией, поступают в блок управления, где будут расшифрованы, разделены на геометрические, технологические и функции переключений. Геометрические данные включают все, что касается перемещений инструмента и заготовки, в результате которых формируется заданная геометрия детали. К технологическим относятся, например, выбор инструмента, частота вращения шпинделя или скорости резания. Функция переключений, в блоке так называемого «согласованного» управления, согласованная с поступающими от станка сигналами обратной связи, выполняется как команда включения-выключения узлов, вступающих в процесс по мере надобности. Большинство систем согласованного управления станков реализуется сегодня в виде SPS – системы, базирующейся на программируемых логических контроллерах (ПЛК). Согласование обеспечивается, в основном, блокирующими и концевыми переключателями, и отслеживает взаимоисключающие команды оператора во избежание аварийных ситуаций (например, «вкл. подачи», перед «вкл. шпинделя» и т.п.). Согласованное управление станка решает такие задачи, как, например, автоматическая смена заготовки и инструмента. С помощью согласованного управления, функции ЧПУ, независимые от станка, могут быть «привязаны» к соответствующим механизмам. Для заданного отрезка траектории интерполятор рассчитывает согласованные последовательности движений координатных осей станка по направлению и скорости, генерируя, таким образом, исполнительные данные для их приводов. Сочетание отдельных перемещений вдоль осей станка создает перемещение инструмента по запрограммированному контуру детали. Программирование воспроизводимого контура осуществляется заданием координат контурных точек и траектории перехода из начальной точки отрезка в следующую (например, прямая линия, дуга окружности). По мере внедрения компьютерной техники в системы ЧПУ выявлялись различные трудности при программировании разных видов перемещений, которые разделялись на управление по точкам, по участкам и по контуру. В настоящее время, как самостоятельные, системы управления по точкам и по участкам не применяются, но используются в виде модулей в составе системы управления SPS. *Управление по точкам* применяется для простых задач позиционирования, как, например, обработка отверстий или точечная сварка. При управлении по точкам

инструмент, выполняя позиционное перемещение, может не находиться в контакте с деталью, т.к. запрограммированная следующая точка перемещения инструмента достигается по неопределенному пути. При *управлении по участкам* – конечная точка обрабатываемого отрезка достигается при прямолинейном перемещении, при этом инструмент при движении находится в контакте с заготовкой может. Простое управление по участкам может использоваться только для параллельных осей, усложненное – для любых. Управление по участкам подходит для простых циклов токарной и фрезерной обработки, или для управления автоматическими производственными линиями. Управление движениями инструмента и стола для получения произвольных контуров возможно только при использовании *контурного управления*. Применяемые в настоящее время системы ЧПУ практически полностью являются контурными. Они различаются по числу одновременно управляемых осей и по сложности выполняемого контура (круг, кривая и т.п.). Как правило, обычное контурное управление реализует только прямые линии и дуги окружностей. Каждая современная контурная система ЧПУ оснащается контурным интерполятором. Перемещения по отдельным осям осуществляются в строгой функциональной зависимости друг от друга. Контурные системы управления применяют для токарных, фрезерных, шлифовальных и электроэрозионных станков, в установках лазерной, газовой и водабразивной резки, в вырубных прессах, в стереолитографических машинах. Перед введением заданных координат в управление приводами, должны быть определены истинные координаты положения заготовки и инструмента. Это позволяет, в частности, производить числовое программирование независимо от положения зажатой заготовки на столе фрезерного станка. Актуальное положение «нуля» заготовки относительно «нуля» станка должно вводиться в ЧПУ для обеспечения управления с трансформированными координатами. Аналогичные поправки обязательны по результатам обмеров инструмента. Заданный контур детали программируется независимо от актуальных геометрических параметров инструмента, т.е. без учета смещения радиусов и длины в пространстве. Актуальные геометрические параметры инструмента вводятся в систему управления перед обработкой. Далее система управления рассчитывает траекторию движения средней точки инструмента (TCP – Tool Center Point) и передает ее с шагом интерполяции осевого датчика в систему ЧПУ (Рис. 12-1).

## Содержание

- 1 Введение в устройство систем управления станками
- 2 Системы логического управления (SPS)
- 3 Числовое программное управление (NC)
- 4 Заключение



Источник: ARC 1999

Andron  
Beckhoff  
Benezan Electronics  
Bosch Rexroth  
Delta Tau Systems, Inc.  
Eckelmann  
Fagor Automation  
FANUC Ltd.  
Fidia  
Haas  
Heidenhain  
Hurco  
Isel Automation KG  
Mazak  
MDSI  
NUM GmbH  
Okuma  
Osai  
PA Power Automation  
Röders  
Schleicher  
Siemens  
Traub  
Trimeta Software GmbH  
...

**Рис. 12-2: Области применения систем логического управления (SPS)**

С момента своего появления на рынке в начале 70-х годов, системы, базирующиеся на программируемых логических контроллерах (SPS, англ. PLC-Programmable Logic Controller), представлены во всех областях промышленности и являются важнейшими составляющими средств автоматизации производства. Первоначально системы SPS служили в качестве экономичной и гибкой альтернативы повсеместно распространенным релейным системам. Сегодня функциональные возможности систем SPS выходят далеко за рамки связи бинарных сигналов. Увеличение объемов памяти жестких накопителей позволило использовать системы SPS для решения все более сложных задач управления за счет применения постоянно обновляющейся мультипроцессорной техники. Это определяет многогранность применения данных систем, в расширении которого, как показано на Рис.12-2, металлообработка и, в частности, станкостроение играют существенную роль. Главной задачей систем SPS является управление и контроль механических функциональных органов, которые, помимо связующих и регулирующих функций, обеспечивают контроль времени процесса и безаварийность работы отдельных узлов станка (например, время поворота манипулятора при смене инструмента или слежение за парой конечных выключателей). Современные системы SPS предлагают широкий выбор функций управления станком – включение/выключение приводов, агрегата подачи СОЖ, конвейера удаления стружки и т.п. Дополнительно, SPS обеспечивает хранение, подготовку и передачу технологических данных (BDE) или выполняет диспетчерские функции управления набором инструментов. Объемные задачи по обработке данных выполняются на связанных с SPS промышленных персональных компьютерах (ИПК). На металлорежущих станках SPS функционирует и как связанная с ЧПУ система обмена информацией и передачи команд управления. Во время преобразования системой ЧПУ геометрических параметров в величины перемещения (координаты, подача), в SPS передаются для исполнения записанные в управляющей программе строки на переключение (например, команды M и T – смена инструмента). Другие сигналы между ЧПУ и SPS служат для обеспечения синхронизации двух систем, обмена сообщениями о состоянии и другой информацией (ЧПУ-программа окончена, сообщение об ошибке и т.д.). Наряду с обменом данными с ЧПУ, система SPS может обеспечивать коммуникацию с дополнительным компьютером или с SPS другого станка. Типичным примером здесь может служить поточная линия, каждый обрабатывающий агрегат которой управляется отдельной SPS. Формирование задач управления, т.е. выполнение команд, в данном случае происходит не путем включения/выключения соответствующих реле, а согласно управляющей программе. Это позволяет вносить изменения в управление без дополнительных кабельных соединений, но изменением

программы SPS. Техническая реализация управляющей системы не зависит от конкретной задачи. Она работает в соответствии с управляющей программой, коммутирует определенным образом управляющие сигналы и выдает коммутированные рабочие сигналы для воздействия на процесс обработки. Функционирование SPS является тактовым, т.е. последующая команда выполняется после завершения предыдущей (последовательное функционирование), а в единицу времени может быть обработан один сигнал, что является еще одним отличием от VPS, которая может обрабатывать большое количество сигналов (параллельное функционирование). Т.к. время формирования команды лежит в области микросекунд, можно говорить о квазипараллельном способе функционирования.

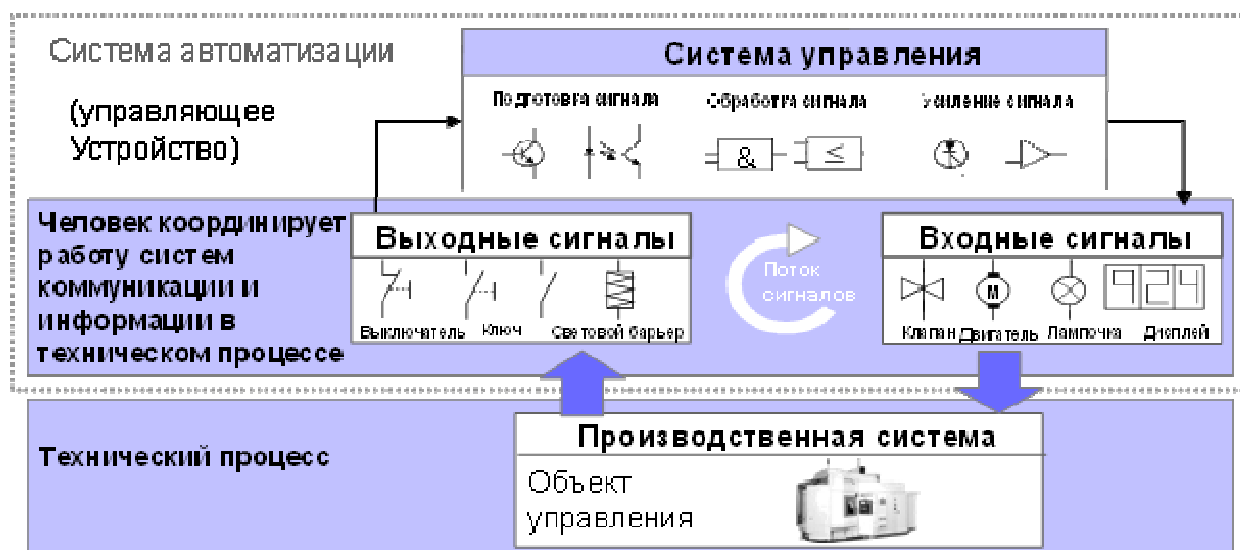


Рис. 12-3: Схема устройства и поток сигналов в системе электрического управления

На Рис. 12-3 схематично представлена система электрического управления. Первоначально, на уровне ввода, формируются сигналы процесса. Сигналы могут извлекаться непосредственно из технологического процесса, например как сигналы сенсора, или вводиться оператором. Источниками сигнала являются, к примеру, сенсоры для диагностики состояния станка (температура, давление, сенсоры наполнения, датчики перемещения, угловые декодеры и т.д.) и устройства ручного управления станком – измеритель, переключатель.

Для обработки сигналов в логическом блоке управления они должны быть электрически разделены и согласованы с напряжением системы управления. В ЧПУ на базе полупроводниковых элементов требуется, например, при работе источника сигналов под постоянным напряжением 24 В или переменным напряжением 220 В, обеспечить питающее напряжение электронных элементов схемы на уровне 5 В. Для разделения и подведения соответствующего сигнала применяют оптопары или реле. Оптопары (или оптроны) работают существенно быстрее электромеханических реле. Принцип работы оптрона – фотоэлектрический: при электрическом управлении светодиод посылает световой сигнал, который снова преобразуется полупроводниковым фотодиодом в электрический сигнал. Основой управления здесь является преобразование сигналов. Выходные сигналы будут генерированы по смыслу логической связи из входных сигналов так, чтобы логическая связь была интегрирована в процесс управления. Техническая реализация логической связи может быть осуществлена посредством реле и переключателей – т. е. электромеханически, или установкой полупроводниковых элементов - электронотехнически. или посредством компьютерной программы. Часто сигналы, управляющие устройствами на входе (электродвигатели, муфты, индикаторы и т.д.), должны быть усилены. Это обеспечивается встроенным электронным усилителем. Для релейного управления мощности сигналов обычно достаточно.



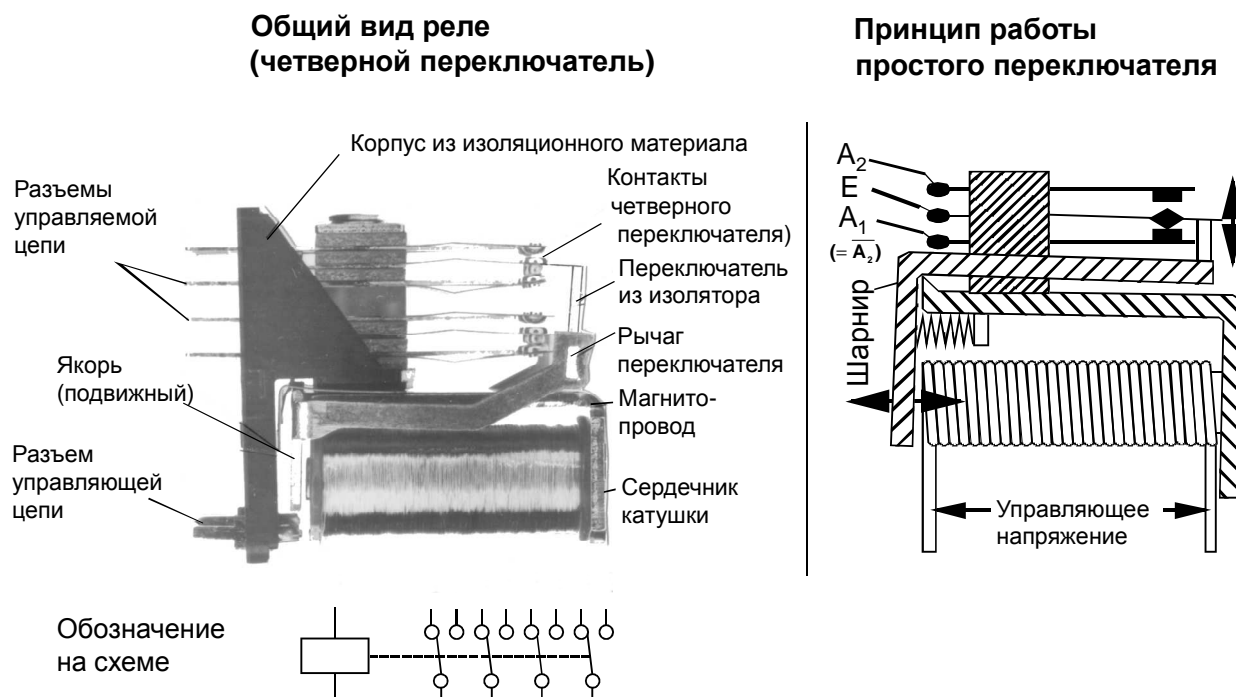
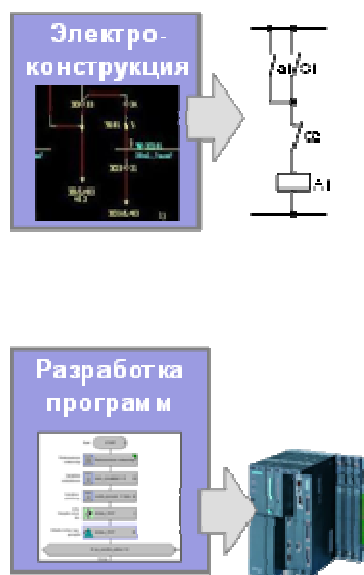


Рис. 12-4: Общий вид и принцип действия реле

Применение символьных изображений переключения логических функций позволяет составить логические схемы систем управления вне зависимости от технической реализации основных функций. Основные функции объединяются в стандартные технические модули и совместно реализуют комплексные логические цепи в соответствии с электрической схемой. В разных технических системах логические цепи реализуются посредством разнообразных технических методов. Простейшим видом реализации логических функций является использование замыкаемых контактов, обеспечивающих обработку бинарных сигналов изменением состояния «напряжение есть» и «напряжения нет». Замыкаемые контакты подразделяются на активные и пассивные. Пассивные контакты в нормальном состоянии замкнуты. На схемах они изображаются с верхним штрихом над идентификатором переменной. При управлении контактами посредством катушки магнитной индукции реализуется функция реле. Реле позволяет привести в движение одну или несколько контактных пар с помощью управляющего электрического тока на значительном удалении и при ограниченной доступности. При соответствующем исполнении небольшой ток возбуждения в магнитной катушке обеспечивает включение контактов для значительной силы тока. На Рис. 12-4 изображено реле, которое имеет четыре переключаемых контакта, т.е. четыре контакта будут одновременно замкнуты и четыре разомкнуты. Посредством включения (переключения) большого количества реле возможно создание логических цепей любой протяженности. В настоящее время реле используются редко. Все большее применение в качестве переключателей логических цепей находят современные электронные модули благодаря их компактному исполнению, быстродействию и низкой стоимости. Реле для включения устройств большой мощности (двигатели, нагреватели и т.д.) называют предохранительными. Они предотвращают перегрев разрывая цепь, если мощность в ней превысит допустимую.



### Аппаратная электрическая система управления (VPS)

- **Программирование:** аппаратное (электроцепь)
- **Технология:** электромеханическая (реле), беспроводная (полупроводники)
- **Применения** для простых технических решений
- Быстрая обработка процессов посредством параллельной обработки программы
- **Применения** в системах с высокими требованиями к отказоустойчивости
  - простая конструкция упрощает поиск ошибок
  - соответствует действующим требованиям и стандартам безопасности

### Система логического управления (SPS)

- **Программирование:** командное (отдельные команды)
- **Технология:** бесконтактная (полупроводниковые элементы, микропроцессор)
- Последовательная обработка логической программы SPS
- Гибкость и быстрота
- Низкая стоимость и наглядность при разработке сложных приложений

Рис. 12-5: Сравнение VPS и SPS

Реализация логических связей осуществляется различными техническими способами и одновременно представляет собой критерий различия видов электрического управления. Как показано на Рис. 12-5, возможно разделить электрическое управление на контактно-программируемое (VPS) и логическое с сохраняемой программой (SPS). При контактно-программируемом управлении функции управления будут обеспечиваться соединением модулей (реле, предохранители, полупроводниковые устройства). При соединении через клеммы, паяные поверхности или винты, функции управления могут быть изменены только механически. В этом случае можно говорить о жестком программировании. Соединения ветвей электрических схем при помощи штекеров, матричных коммутаторов, а также диодных матриц, позволяют обеспечить перепрограммируемость для программной логики контактно-программируемых систем. Такие системы ранее применялись в больших количествах, например, для перепрограммирования процесса управления с целью изменения условий обработки детали. В настоящее время такие системы управления – например с так называемой штекерной панелью, также называемые матричными коммутаторами, практически полностью вытеснены системами с сохраняемой программой (SPS). В противоположность к контактно-программируемой системе, система с сохраняемой программой выполняет функции управления посредством программы (программного обеспечения), сохраняемой в блоке памяти. Поэтому аппаратное обеспечение системы управления не зависит от конкретной задачи и одинаково в своей основе для конкретного вида устройств. Другие отличия этого вида управления определяются применением определенного типа устройства памяти. Для свободно программируемой системы управления можно изменять объем памяти на базе MMC (Micro Memory Cards), RAM, CMOS-RAM с независимой буферизацией или EEPROM без механической доработки базового агрегата управления. При использовании только считывающих устройств (ROM - Read Only Memory) необходима изменяемая система управления с сохраняемой программой, что предполагает изменение программы только при замене блока памяти. Изменяемая система управления подразделяется далее на системы с неизменяемой памятью (ROM, PROM) и с изменяемой (EPROM). Наряду с разделением систем управления по видам реализации управляющих программ, DIN 19226, раздел 3 (устройства управления) делает принципиальное различие между так называемыми связанными и динамическими системами.

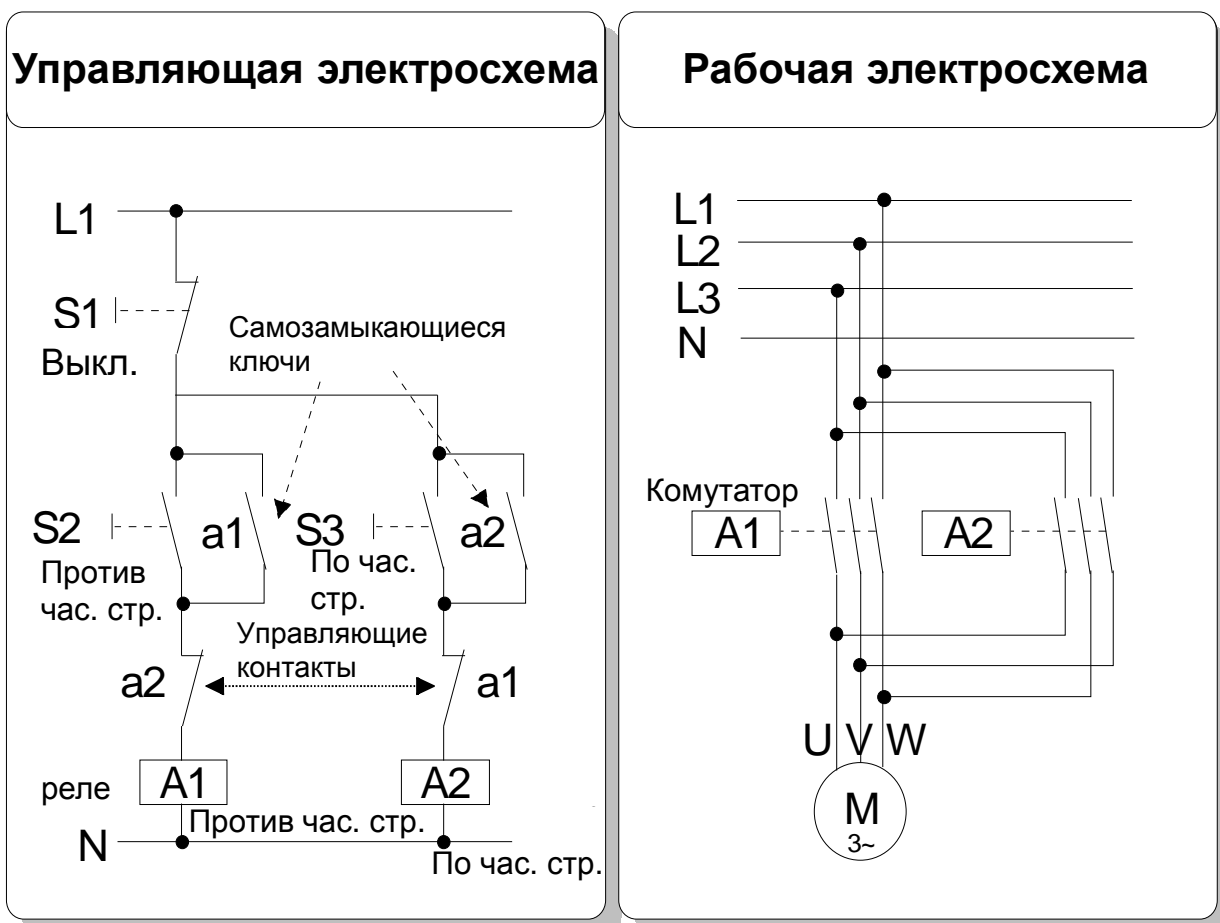


Рис. 12-6: Схема для выбора направления вращения двигателя переменного (трехфазного) тока при использовании блоков реле

Как уже подчеркивалось ранее, связанные и последовательные системы управления не зависят от видов технической реализации и позволяют создать контактно-связанную систему управления. При этом практически во всех системах в качестве предварительных функций выступают так называемые «фиксация» и «блокировка», являющиеся простейшими системами связанного управления. На Рис. 12-6 представлена схема управления направлением вращения асинхронного двигателя переменного тока в виде схемы соединений. На рисунке обозначена цепь управляющего тока, который обычно имеет напряжение 24 В или 220 В, а также силовая цепь управляемого электродвигателя, который включен напрямую в трехфазную V-сеть с напряжением 380 В (от L1 до L3). Рассмотрим левую проводящую дорожку управляющей цепи. Фиксация обеспечивается следующим образом: при изображении контактного плана все переключатели, например реле, изображаются в незамкнутом состоянии. При нажатии на стержень S2 ток проходит через контакты S1, S2, а2 и через катушку реле A1. Реле A1 срабатывает, и все контакты, обозначенные на электрической схеме как а1, переводятся в рабочее положение. В этом случае двигатель привода получает левое вращение. Так как после возвращения стержня S2 реле остается в рабочем состоянии, параллельно к стержню S2 включается контакт а1 (замыкатель). Через этот контакт реле остается после открытия S2 под напряжением, т.е. «самоудерживается». Параллельный контакт а1 называется «самоудерживающий контакт», а его включение - «самоудержанием». Для выключения левого вращения служит стержень S1, который при перемещении прерывает течение тока, при этом отключается реле A1. Правая часть схемы служит соответственно для включения электродвигателя привода через реле A2 в правом направлении. Изменение направления вращения обеспечивается простой сменой двух электрических фаз (на Рис. 12-6 обозначены L1 и L2, или V и W). Чтобы избежать самопереключения, если двигатель через A1 имеет левое вращение, один контакт реле а1 – включатель, выведен в токовую дорожку. В этом случае работа реле A1 с открытым контактом а1 не позволяет включиться реле A2. Такое включение называют блокировкой, а соответствующие

контакты «блокировочными контактами». Наряду с примером довольно сложной связанной системы управления, в дальнейшем будут рассмотрены системы управления простого привода подачи на базе релейной техники. На Рис. 12-6 представлена схема электрического управления такой системы.

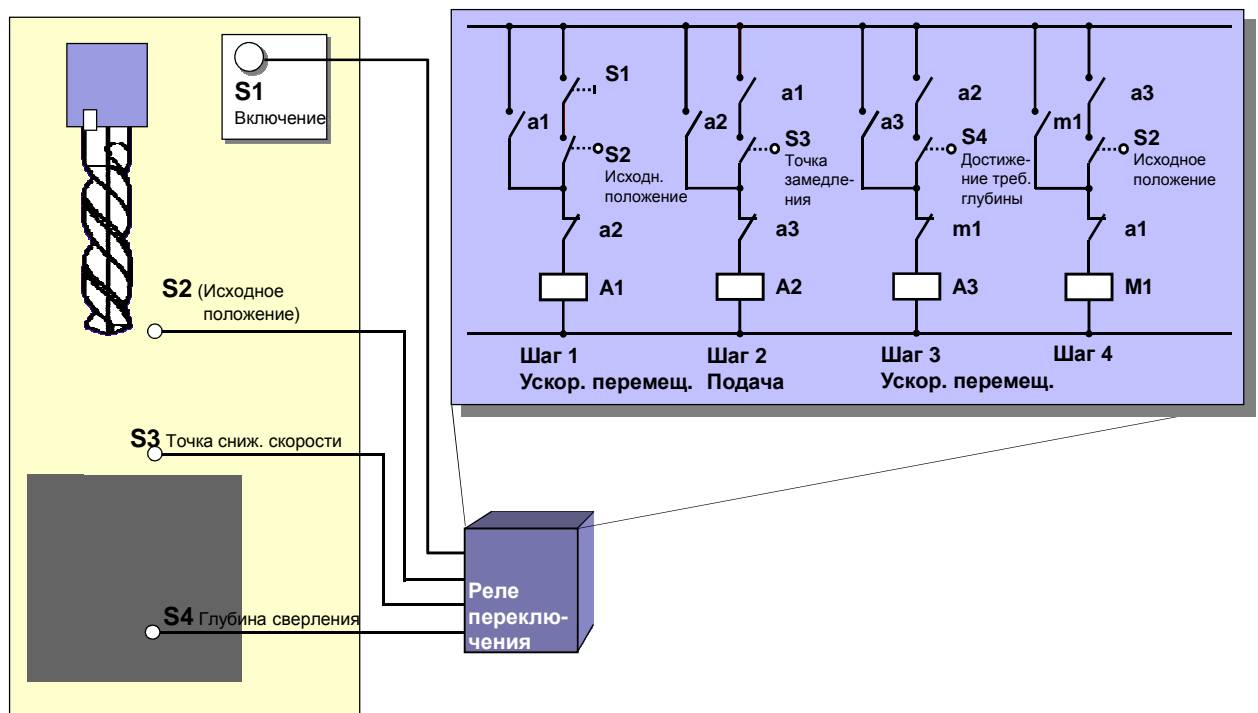


Рис. 12-7: Электросхема управления сверлильным станком (VPS)

Привод подачи обеспечивает три движения: ускоренное перемещение вперед, ускоренное перемещение назад и рабочую подачу. Каждое такое перемещение стола включается нажатием кнопки включения и выполняется до момента выключения. Однако движение стола осуществляется только в том случае, если два остальных движения не приведены в действие (блокирование). Остановка перемещения производится в тот момент, когда осуществляется нажим на конечный выключатель (переднее или заднее конечное положение). Нажатие кнопки также не приводит стол в движение, если наступил отказ гидравлической либо смазочной системы. Приведенная связанная система управления может быть реализована на базе полупроводниковых блоков. Системы управления с жесткими кабельными связями сегодня применяются редко – их заменяют гибкими системами с сохраняемой программой. Для реализации динамической системы управления используется та же элементная база, что и для связанной системы управления (реле, полупроводниковые модули). На Рис. 12-7 показана реализация управления на примере динамической системы управления в форме связанного программирования (VPS). Так как в этом примере условия текущих переключений одинаковы, начальный порядок включения может быть описан следующим образом. Сверло находится в начальном положении (фиксируется нажатием конечного выключателя S2) и приводится в движение стартовым выключателем при включении реле A1 и одновременном включении ускоренного перемещения. Путь переключатель S2 открыт для начального положения, но реле A1, через собственный контакт самоудержания a1, остается еще в рабочем положении. Посредством реле A1 этот контакт a1 закрыт в токоведущей дорожке для реле A2. Этот контакт обеспечивает разрешение на выполнение следующего шага 2 (рабочей подачи). Когда путь переключатель S3 достигает нижней точки, включается реле A2 и открывает блокировочный контакт a2 в токопроводящей дорожке от A1, так что A1 снова отключается. Соответственно следующий шаг отключает предшествующий до полного окончания цикла сверления. Такой порядок надежно обеспечивает исполнение технологических переходов в заданной последовательности.

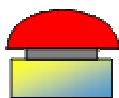


### Циклическая обработка программы

- При нормальной работе производится последовательная обработка команд, содержащихся в программном описании техпроцесса
- Выполнение программы осуществляется циклично

### Обработка программы с прерываниями по событиям

- Циклическая обработка программы прерывается при наступлении некоторого события (например, экстренной остановки). Обработка события производится в отдельной части программы.
- После обработки отдельной программы осуществляется возврат к исходной точке основной программы (если выполнение программы не закончено).



### Обработка программы с прерываниями по времени

- Циклическая обработка программы прерывается посредством внутреннего временного сигнала для выполнения с специальной функции
- После обработки отдельной программы осуществляется возврат к исходной точке основной программы



Рис. 12-8: Принцип действия системы SPS при обработке программы

В системе SPS управляющая программа представляет собой сохраняемую в памяти последовательность команд и, обычно, обрабатывается циклически. Это означает постоянную обработку программы, независимо от изменения состояния сигналов. После обработки последней команды программы производится переход к начальной команде, при этом команды на переход возможны как вперед, так и назад. Помимо обычной циклической обработки программы, современные большие SPS предлагают дополнительную возможность буферной, прерывной или временной обработки. При буферной обработке сигнал, получаемый из текущего процесса, например от кнопки аварийного отключения, отключает циклическую обработку программы, чтобы запустить для обработки специальную программу включения-выключения, которая обеспечивает надежное отключение узлов станка. Если программа полностью не была прервана – как в случае аварийного отключения, процессор запускает эту программу в месте остановки процесса циклической обработки. При временной обработке циклическая обработка может быть прервана при помощи внешнего временного сигнала (время таймера), для включения специальной программы обработки. Далее процесс повторяется как и при буферной обработке - циклическая программа запускается в прерванной позиции.



Рис. 12-9: Принцип действия системы SPS – программный цикл

Во время работы программного процесса сигналы выделяются из групп входа-выхода. SPS при этом работает с так называемым отображением процесса (имеются SPS, работающие непосредственно с группами вход-выход). При работе с отображением процесса все входы опрашиваются перед началом цикла и информация переносится во входное отображение. Это отображение состояний остается для всего цикла постоянным, так что изменение входных характеристик, происходящих во время рабочего цикла, будут игнорироваться системой управления. В течение рабочего цикла сохраненные характеристики связываются между собой соответственно применяемой программе, сохраняются в промежуточном накопителе отображения и совместно передаются на выходные клеммы. Таким образом, работа с отображением процесса предусматривает параллельное считывание входных состояний и одновременное управление выходами. Так как подобный цикл, в зависимости от длины программы и устройства, повторяется с промежутком в несколько миллисекунд (так называемое время цикла), обеспечивается достаточно быстрая реакция на все изменения процесса. Для определения величины сравнения в различных SPS по скорости обработки, они ранжируются для объема 1K (=1024). Стандартные величины находятся в пределах от 0,1 до 5 миллисекунд. К ним относятся команды управляющего процесса, имеющие логическую природу, такие, как «И», «ИЛИ». Помимо этого возможно программирование временных функций, которые реализует реле времени при электромеханическом управлении. Другие специальные команды служат для программирования счетчиков, а также условных и безусловных переходов во внутреннем объеме программы. Безусловные переходы выполняются всегда, а условные только в том случае, если предварительное логическое условие выполнено (разветвление). К аналоговой обработке значений относятся многочисленные аритмичные команды. На соответствующих устройствах (блоки для аналогового ввода-вывода, измерения пути и скорости, управления шаговыми двигателями) выполняются комплексные задачи управления, позиционирование осей перемещения, структурирование контура управления. Выполнение комплексных задач определяет изменение программы SPS. Она представляется не в одном блоке, как показано на Рис. 12-9, а разделяется для улучшенного структурирования на несколько программных частей, так называемых программных блоков. Один блок ограничен функцией, структурой или областью применения в программе. Преимуществами блочной техники программирования являются, например, простое и наглядное программирование, а также большой объем программ, возможности стандартизации и повторного применения часто используемых программных модулей (техника подпрограмм), упрощенное тестирование и

ввод программы в работу. Международный стандарт IEC 61131-3 определяет различные аппаратные модули отдельных производителей SPS в виде трех основных типов (программа, функция и функциональный блок). Это, как показано на Рис. 12-9, наряду со свойствами вызова (циклическое, временное или событийное управление, равно как и приоритет вызова) соотносится со временем исполнения программ и определяет конфигурацию вычислительного блока оборудования.

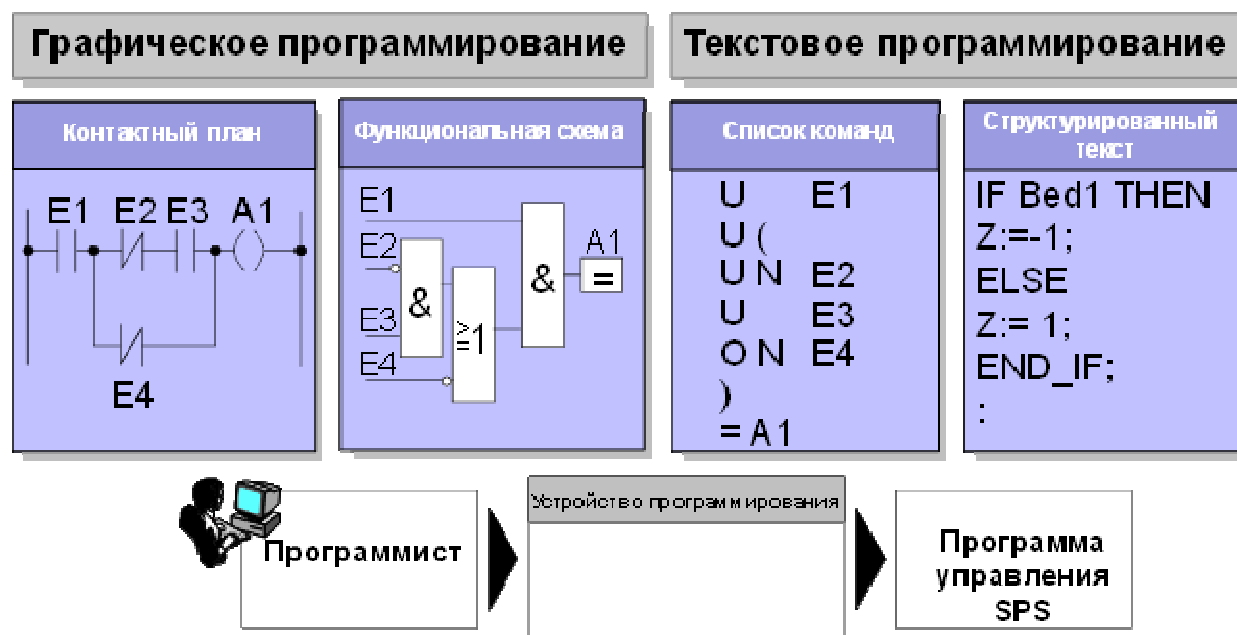


Рис. 12-10: Способы программирования системы SPS

Для системы SPS определены три основных языка программирования, которые разделяются по виду мнемотехнического и графического представления. Если в списке команд (AWL) определяется область мнемотехнического программирования, то контактный план (KOP) и функциональный план (FUP) являются графическими способами. Для всех способов требуется, помимо собственно SPS, еще одно устройство программирования. Объем предложения устройств программирования охватывает специальные конструкции, адаптированные к SPS и компактные системы программирования для стандартных персональных компьютеров. Последние имеют то преимущество, что не нуждаются в дополнительном программном оборудовании. Наряду с обычным offline-программированием, программное устройство имеет возможность сетевого соединения и прямого обмена данными с SPS. Такой способ предполагает выведение состояния системы SPS непосредственно на устройство программирования так, чтобы были возможны шаговые тесты программы, а отклик управляющей программы на внешние сигналы процесса мог быть визуализирован на экране монитора. Стремительное развитие области SPS ведет к увеличению разнообразия языков и устройств программирования у различных производителей. У пользователей SPS это вызывает затруднения, заключающиеся в том, что при переходе к оборудованию другого производителя, необходимы дополнительные время на отладку применяемой программы и расходы на новое устройство программирования. С учетом данной ситуации усиливается роль международной стандартизации. Результатом таких усилий является международный стандарт IEC 61131, часть 32. Рис.12-10 дает представление о перечисленных в этом стандарте языках программирования, которые принципиально различаются по текстовым или графическим способам программирования. Стандарт основан на списке команд, контактном плане и функциональном плане, при которых возможно точное описание и дифференциация, а также отсутствуют связанные с

особенностями процесса операции. Принятие во внимание распространенность этих языков облегчает переход пользователя на стандарты программирования и упрощает адаптивный переход от ранее используемых программ. В качестве языков программирования могут быть применены аналогичные PASCAL языки высокого уровня, «структурированный текст», типовые элементы языков высокого уровня, как например WHILE-циклы, IF и ELSE-IF и прикладные языки для структурирования программ прикладного управления. В целях скорейшего повсеместного внедрения стандарта IEC 61131-3, производители и потребители систем управления и программирования объединились в международную организацию PLC-Open, которая следует цели – возможность переноса используемых программ на устройства различных производителей. Для сертификации систем программирования PLC-Open определяет четыре стандартных уровня. Присутствующие сегодня на рынке системы программирования, такие как Step 7, WinSPS, Sucosoft S 40, Melsec Medoc plus или AconProSys 1131 – являются в основном языками первого уровня (Base Level) нормализованными с IEC 61131-3, т.е. они создают SPS-программы без адаптации к SPS других производителей. Стандарт точно описывает особенности языков программирования, однако не запрещает производителю интегрировать собственные, специальные языковые блоки. Это является необходимым, так как SPS различных производителей часто отличаются специальными функционалами. Также если с IEC-единообразными системами программирования произведенные программы пользователя не будут заменяемыми между SPS-системами различных производителей, это будет обусловлено основными элементами языка и структурой программы. В этом случае затраты на перевод SPS-программы в другую систему будут уменьшены. Перед введением стандарта IEC 61131-3 был принят подстандарт ведущих производителей. Несмотря на введение стандарта для систем программирования, как указано выше, разными производителями допускаются специфические формы программирования, основанные на использовании старого широко распространенного подстандарт. Поэтому, для последующих примеров программирования, контактных и функциональных планов и командных листов, использован старый синтаксис.



## Содержание

- 1 Введение в устройство систем управления станками
- 2 Системы логического управления (SPS)
- 3 Числовое программное управление (NC)
- 4 Заключение



Источник: ARC

**Рис. 12-11: Диаграмма распределения рынка систем ЧПУ по регионам**

С конца 70-х годов все системы ЧПУ оснащаются микропроцессорами. Термин «Управление CNC» имел определенный смысл в переходный период, чтобы разделить кабельные CNC системы с жесткой программой и NC системы с компьютерным управлением. В настоящее время обозначение NC должно применяться повсеместно вместо CNC. Конкуренция между производителями станков определили в значительном объеме эксплуатационные возможности и цену систем управления. Европейские производители в начале 90-х годов утратили ведущее положение. Продукция из Японии заняла доминирующее положение на мировом рынке и по количеству выпускаемых систем, особенно NC, и по технологическому их развитию. После этого рынок, вмещавший более 60-и европейских производителей, существенно консолидировался. После многочисленных слияний и поглощений, с 2000 года на мировом рынке присутствуют 5 известных европейских производителей систем числового управления. К этому можно добавить несколько небольших предприятий, имеющих региональное значение. Ускоренное развитие персональных компьютеров для рынка офисных и бытовых потребительских услуг привело к дальнейшему совершенствованию техники для систем управления. Компьютерные устройства и программное обеспечение коммерческого использования позволили производителям значительно снизить стоимость систем управления. Роль производителей также меняется – вместо непосредственного предложения только систем управления они используют свое Know-how для оказания индивидуальных сервисных услуг. Стандарты аппаратного и программного обеспечения, стандартизация коммуникационных устройств и открытые системы управления, которые могут быть гибко дополнены новыми функциями, пользуются все большим спросом у пользователей. Все большее значение приобретают возможности интегрирования систем управления в сеть и системы управления высокого уровня (Рис. 12-11).



Рис. 12-12: Функции системы числового программного управления

На Рис. 12-12 представлен функциональный охват современной системы ЧПУ. В зависимости от области применения и конфигурации, все возможности системы используются не всегда.

#### Программирование

Для программирования системы управления предлагаются разнообразные программные инструменты, которые охватывают, в зависимости от стоимости и функциональных возможностей, как простые буквенно-цифровые редакторы текстов, так и полу- и автоматические NC-программогенерирующие системы, а также графически ориентированные WOP-системы. Синтаксис программирования базируется на стандарте DIN 66025, применяемый язык при этом часто изменяется через специализированные расширения производителей.

#### Графическое моделирование процесса обработки

Дополнительной функцией является графическое моделирование процесса обработки на мониторе, которая позволяет производить контроль и оптимизацию NC-программы без выполнения рабочих операций. Этим достигается уменьшение время наладки станка и отладки NC-программы. В этом отношении графическое моделирование имеет большое значение, так как при мелкосерийном производстве подготовка NC-программы обычно осуществляется путем offline-программирования в объеме наладки станка. В соответствии с предъявляемыми требованиями используются 2D или 3D графические модели. Моделирование обеспечивает достижение двух целей одновременно: осуществляет контроль NC-программы на предмет возможных осложнений в рабочей зоне станка при перемещении узлов и смене инструмента, а также снижает объем контроля размеров и контуров (например, при обработке закрытых поверхностей); моделирование процесса обработки позволяет оптимизировать рабочие перемещения. При этом излишние перемещения (например, холостой ход) будут извлечены из программы или соединены с ускоренным перемещением, для того, чтобы сократить штучное время.

#### Функции контроля и диагностики

Для обеспечения безошибочного процесса обработки и снижения количества случаев повреждения станка, детали и инструмента, в системы ЧПУ внедряются функции контроля и диагностики. Такие функции встраиваются непосредственно в систему ЧПУ или реализуются через дополнительные устройства. Они подразделяются на области

контроля станка (например, контроля динамики привода, геометрической точности и системы смазки), собственного программного и аппаратного обеспечения (например, NC-тест самоконтроля, проверка соединений и переключателей) и процесса обработки (например, поломка инструмента, износ инструмента, размеры заготовки, состояние поверхности). Функции контроля совместно с функциями диагностики служат для локализации возникающих неисправностей и ошибок.

#### *Функции измерений и коррекции*

Высокие требования к качеству определяют необходимость постоянной корректировки рабочих перемещений в процессе резания. Основанием для этого являются несовершенство механической части станков, износ инструмента или температурные деформации механической структуры станка. Статические отклонения, такие как ошибка шага ходового винта или реверсивный люфт, как правило, определяются при пуско-наладочных работах и заносятся в память корректора. Для постоянно меняющихся размеров, как например позиция установки заготовки (погрешность установки), износ инструмента или температурная деформация шпинделя, применяются так называемые измерительные циклы. С помощью измерительных приборов, сенсоров и индикаторов устанавливаются размерные изменения заготовки или инструмента, удлинение станка и корректируются размерной компенсацией в системе управления.

#### *Интерфейс пользователя (HMI, HMC, MMI или MMC)*

Понятие интерфейс – оболочка пользователя, объединяет все вспомогательные средства, которые могут быть предоставлены пользователю системы NC-управления. Они могут быть разделены на два типа: монитор и элементы для ручного управления (например, переключатель, клавиатура, штурвал). Беспроблемная адаптация оболочки пользователя является основным показателем качества и открытости системы управления. Под термином «открытое управление» подразумевается, прежде всего, тенденция, в соответствии с которой производителю станков предоставляется большая свобода в проектировании различных конфигураций оболочки. При этом большое значение имеет не только возможность свободной конфигурации пространства оболочки, но и перечня информационных параметров, характеризующих процесс обработки или внутренние процессы коммуникации в ЧПУ, которые требуется визуализировать на ЧПУ. Современные оболочки практически полностью базируются на операционной системе MS-Windows. Они обладают программными и свободными функциональными клавишами. Информация в таких системах выводится на плоские цветные мониторы.

#### *Внешняя коммуникация – сетевая интеграция*

Функциональный охват внешних коммуникаций имеет решающее влияние на интегрируемость системы ЧПУ в производственно-техническую среду. Все вышеназванные способы подключения находят применение в разнообразных средствах коммуникации, начиная от простых аналоговых интерфейсов и цифровых периферийных шин, включая сенсорные и актуаторные шины, до локальных средств. В последнее время все чаще применяются системы удаленной диагностики посредством модема ISDN.

#### *Приемка станка и конфигурация*

При приемке станка система ЧПУ соответствует его особенностям и потребностям пользователя. Для этого систему управления параметризуют относительно осей, шпинделей, штурвалов, измерительных систем, области управления, скорости, ускорений и вида интерполяции. Некоторые производители систем управления предлагают для приемки и диагностики станка специальные вспомогательные функции с графическим анализом данных. Для оптимизации установки регуляторов может использоваться, например, анализатор контура регулирования по осям, который выводится на монитор системы управления при различных параметрах регулирования. Анализ смещения и установка Kv-фактора (величина усиления контура регулирования) для оптимизации осей, в этом случае, значительно упрощается. Контролируемые оси станка управляются системой посредством функции путь-время и отклик привода регистрируется на экране в форме истинного перемещения. Также будут считываться показания измерительных систем по осям подачи. Документация установки контура регулирования в зависимости от размеров заготовки позволяет оптимизировать последующие регулировки. Графическое представление заданного и истинного контуров при соответствующей системе измерений имеет разрешающую способность динамических отклонений в микронной области.

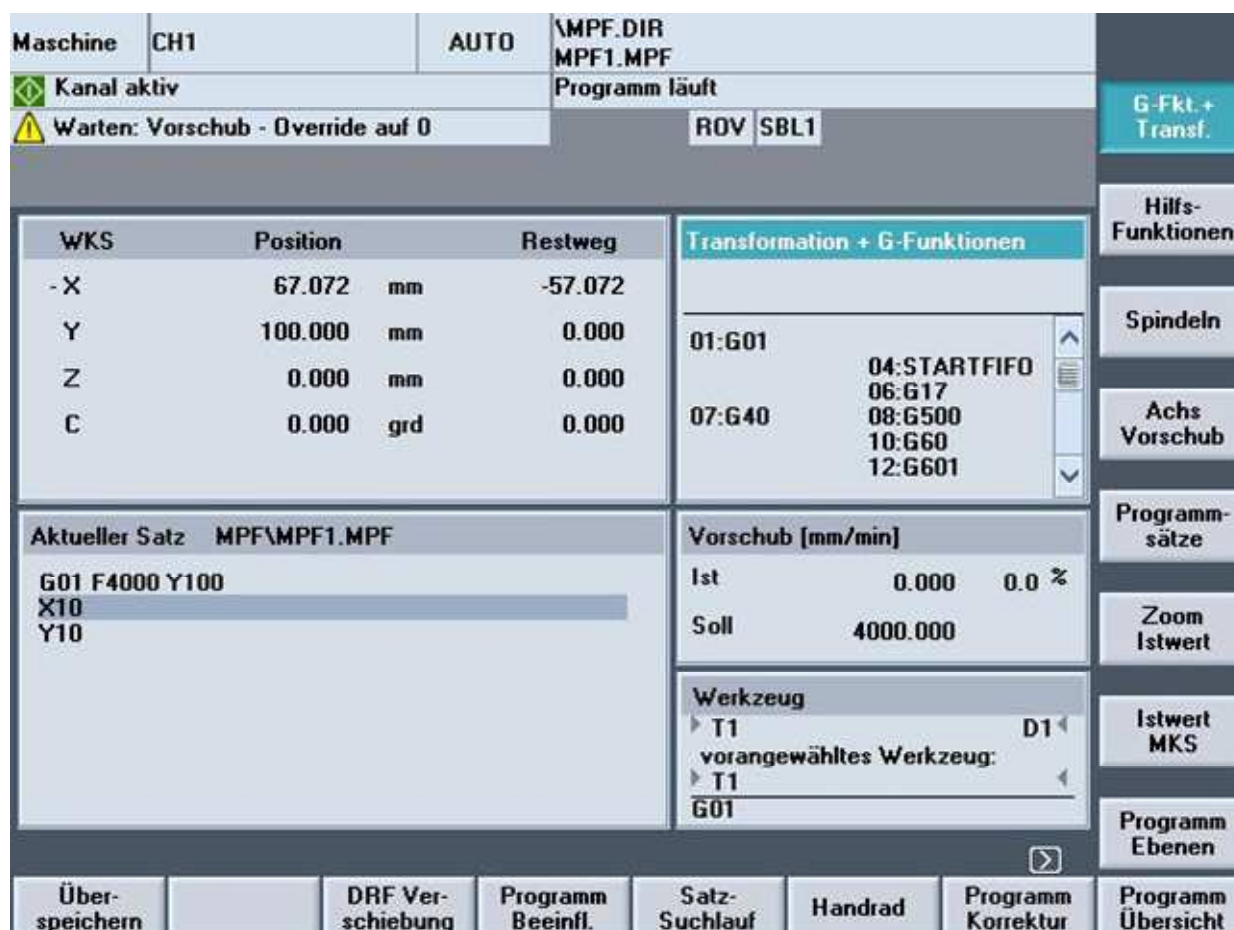


Рис. 12-13: Интерфейс пользователя системы ЧПУ

Интерфейс между пользователем и системой ЧПУ реализован в виде панели управления, на которой вручную активируются доступные функции. Как правило, панель управления имеет разнообразные компоненты, необходимые для обслуживания специализированных функций станка и системы управления. Панель управления включает буквенно-цифровую клавиатуру, различные программные клавиши и ЖК-монитор. В настоящее время в панель управления интегрируется промышленный ПК с операционной системой Windows. Через такой интерфейс ввода допускается редактирование программ, ввод величин коррекции или запрос состояния системы ЧПУ. Программные клавиши используются для вызова функций ЧПУ из структурированного алгоритма меню. Это могут быть ввод коррекции инструмента, изменение параметров программы, вызов изображения графического моделирования процесса обработки и т.п. В зависимости от выбранного вида функционирования системы, этими клавишами пользователь может вызвать дальнейшую информацию о состоянии станка. Панель обслуживания станка включает соответствующие функциональные элементы, которые необходимы для ручного управления. Такие элементы объединяются в различные группы, описываемые в специальном приложении доступных функций. Нажатием клавиш реализуются следующие действия:

- выбор вида функционирования (настройка, ручной ввод, автоматика, отдельное предложение);
- возврат системы управления в исходное состояние (Reset);
- выбор режима референцирования;
- установка чувствительности инкрементального перемещения (например, 0,01 мм/импульс).

Другая группа клавиш может свободно устанавливаться производителем станка. Посредством таких клавиш обычно активируются специализированные функции станка (например, включение транспортера стружки, включение системы охлаждения, зажим и освобождение инструмента и т.д.). Для ручного управления осями станка также необходимы дополнительные клавиши. Они отражают и вводят имеющийся набор осей

(X, Y, Z...) и желаемое направление перемещения «+» или «-». Через поворотный регулятор частоты вращения возможна дополнительная настройка запрограммированной скорости шпинделя и величины подачи. При установке частоты вращения шпинделя используется диапазон варьирования частоты в пределах от 50% до 120% от запрограммированного значения. При установке величины подачи диапазон варьирования составляет от 0 до 150%. Регулятор частоты вращения обычно расположен в группе с другими элементами клавиш, через которые, например, можно включать и выключать подачу или вращение шпинделя. Блок клавиш панели управления включает все функции обычного ПК со специальными обозначениями для курсора и монитора. Основные отличия присутствуют в порядке расположения символов элементов клавиш. Символика функциональных клавиш панели управления и станка описаны в соответствующем стандарте DIN.

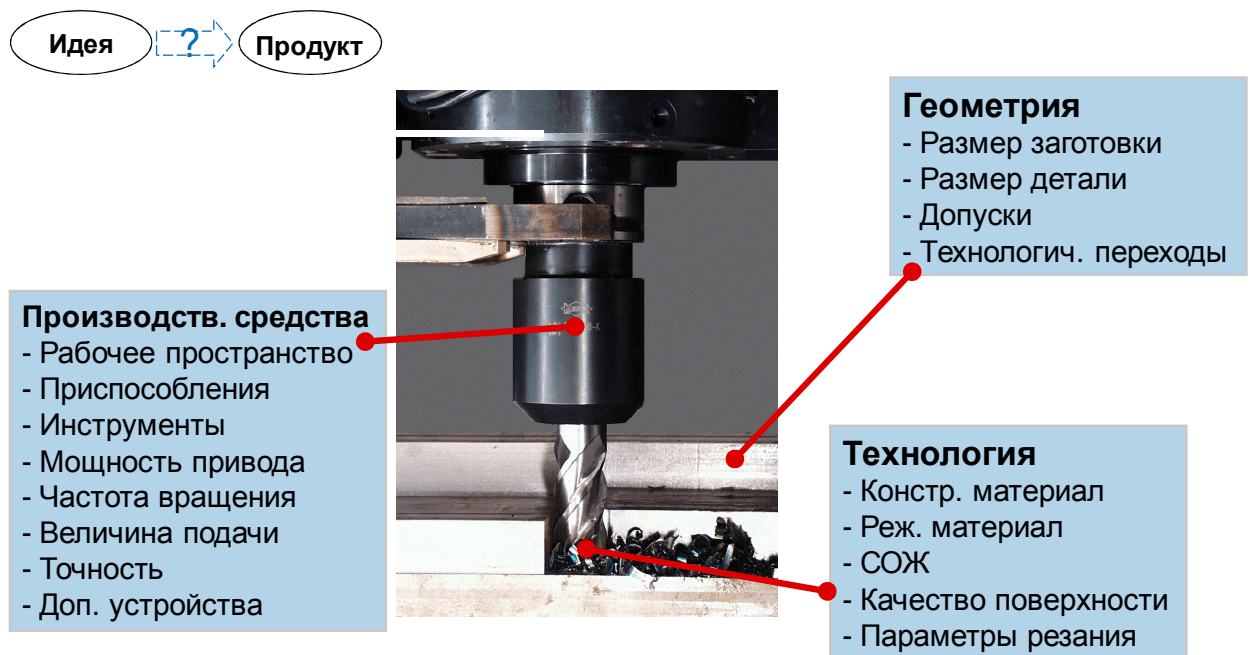


Рис. 12-14: Подготовка программы для станка с ЧПУ

При универсальном последовательном NC-программировании в соответствии со стандартом DIN 66025, в коде программирования станка с ЧПУ записываются NC-функции и NC-предложения, которые в совокупности выдаются как NC-программа детали. Мощность станка, размеры детали и заготовки, материал, геометрия инструмента и качество поверхности детали учитываются при выборе условий резания и разделении припуска. В рабочем плане устанавливается последовательность переходов обработки. В дополнение к имеющимся инструментальным картам и установочным наладкам, указываются данные пользователя о положении зажима заготовки, применяемые инструменты с кодовым номером и установочной длиной, а также удаление точки начала обработки от точки отсчета, которое программист устанавливает предварительно при написании программы. Если некоторые исходные величины не могут быть выдержаны, например, если заготовка зажимается со смещением, то в этом случае NC-программа дополнительно настраивается путем перемещения нулевой точки.



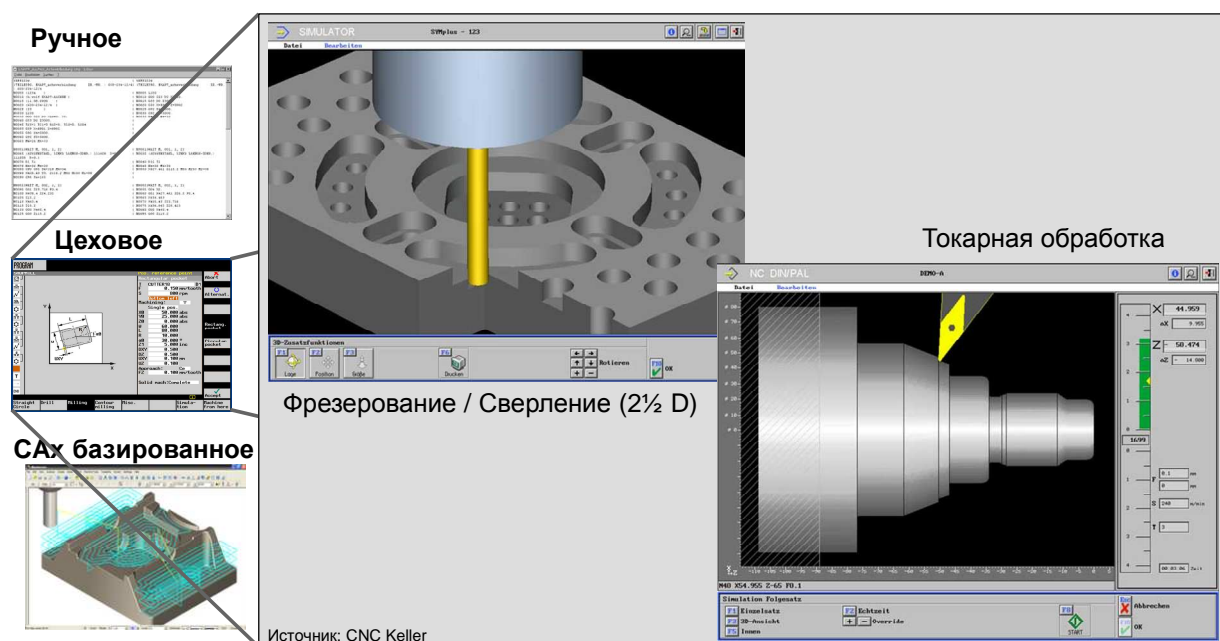


Рис. 12-15: Методы программирования ЧПУ

Развитие систем управления на основе компьютерных устройств в ряде отраслей определялось решением специфических для данной отрасли задач. Так появились технические решения, которые сегодня известны как CAD, CAQ, CAP, DNC и NC-системы программирования (Рис. 12-15). Основным требованием повышения экономических показателей производства, однако, выступает создание сетей и интеграция отдельных систем. Неизменное распределение задний обуславливает негибкость производства, не обеспечивает эффективное изготовление постоянно уменьшающихся партий. Исходя из этого, основные усилия при NC-программировании направлены на реализацию конструкторских задач подготовки производства и изготовления. Это означает, что программирование, ранее централизованно выполняемое при подготовке производства, в настоящее время все чаще переносится в конструкторские подразделения и производственные цеха. Ориентация на производственные участки и сопутствующее повышение ценности работы оператора позволяют повысить мотивацию персонала, поскольку увеличивается объем ответственных задач от простых рутинных действий до планирования и управления. Повышенная мотивация специалиста ведет к тому, что он на более ранней стадии распознает возникающие проблемы, ошибки или отказы и активно устраняет их. Фактически, программирование на рабочем месте, например на станке с ЧПУ, не является чем-то принципиально новым. Системы с ручным вводом данных эксплуатируются уже длительное время. Под ним понимается NC-управление с интерактивной графической системой программирования. Известные функции, такие как геометрические данные детали и заготовки, разделение припуска, контроль столкновения узлов и моделирование, поддерживаются в таких системах. Недостатком систем ручного ввода является несовместимость с другими системами из-за ее специализации на данном типе станка. При использовании различных станков специфические NC-программы управления не могут использоваться на других станках. Другими словами, это означает постоянный новый ввод данных и новое освоение системы управления для оператора. Так была сформулирована задача уменьшения недостатков существующих систем управления, с целью создания интегрированной в производственный процесс концепции программирования, ориентированной на запросы оператора. Практическое воплощение данной идеи было претворено в жизнь в 1984 году при реализации федерального проекта «Производственно-ориентированные методы программирования (WOP)». В нем участвовали многие производители станков и систем управления, разработчики программного обеспечения, технические университеты и пользователи из ФРГ. Общей целью планирования была реализация концепции программирования, базирующейся на следующих предпосылках:

- метод программирования ориентирован на способы обработки резанием с унифицированным диалогом;
- интерактивный графический ввод не включает язык программирования;
- доступно графическое моделирование процесса обработки;
- возможны оптимизация и изменение программы в методике нового программирования;
- полное взаимодействие оператора с производственным оборудованием числового управления;
- наличие модуля управления и передачи данных по инструменту, зажимным устройствам и программе;
- унифицированная система для работы в цеху и при подготовке производства.

Сравнение представленных критериев с функциональностью современных систем программирования показывает, что значительное число производителей используют в своих программах некоторые из заявленных пунктов. Проблемным фактором развития этого направления является то, что термин WOP не является защищенным и может достаточно свободно трактоваться. Разнообразные «WOP-системы» могут в ряде случаев отличаться друг от друга.

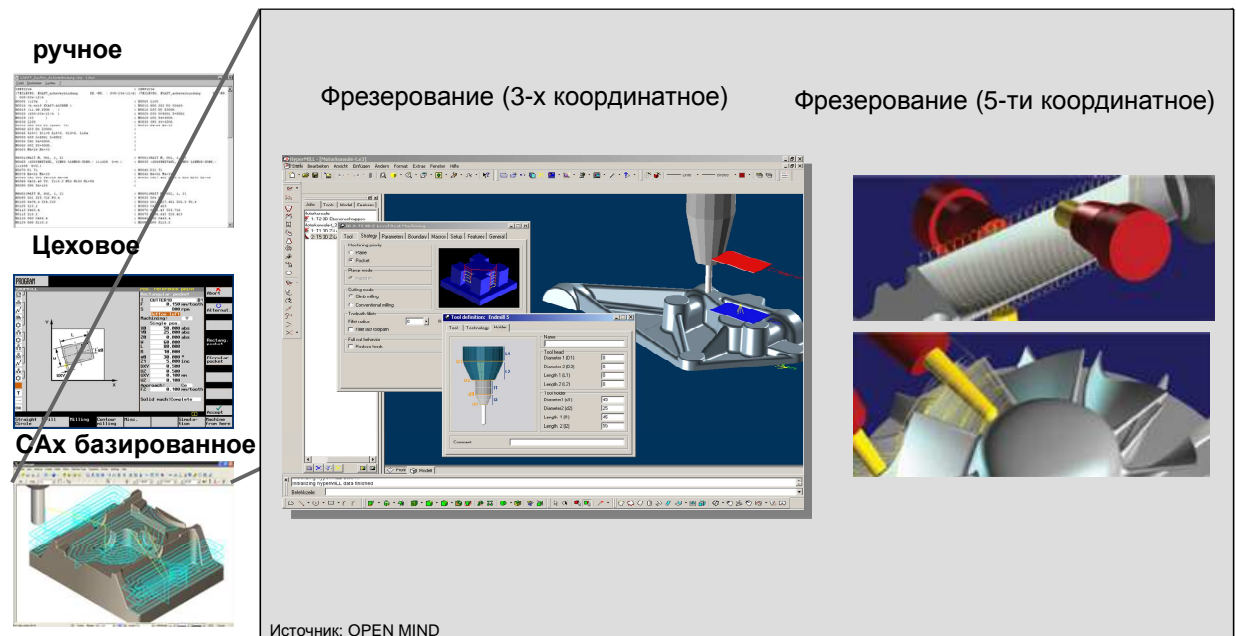


Рис. 12-16: Методы NC-программирования

Еще раз детально рассмотрим особенности создания программы при обработке поверхности свободной формы, так как этот вид обработки предъявляет особые требования к системам CAD/CAP/CAM. В принципе, окончательная обработка поверхностей свободной формы, как показано на Рис. 12-16, может быть обеспечена тремя различными способами: посредством 3-х, 3+2-х или 5-и координатным фрезерованием. В противоположность 2 1/2 координатной обработке, т.е. двухкоординатной обработке и установке третьей оси с фиксированным значением, при 3-координатном фрезеровании будут приводиться в движение синхронно 3 оси. При этом движения по трем осям будут интерполированными. Ориентация фрезы в этом случае остается постоянной в направлении Z системы координат станка. При обработке по схеме 3+2 ориентирование оси фрезы будет меняться на величину постоянного угла, в результате чего ось фрезы не будет совпадать с направлением оси Z. Пятикоординатная обработка позволяет реализовать непрерывное изменение пространственной ориентации фрезы к обрабатываемой поверхности, так, что инструмент располагается оптимально относительно заготовки. Преимущества 3-х и 3+2-х координатной обработки заключается



в том, что для ограниченного числа осей расчет траектории перемещения инструмента является математически менее сложным и может производиться за относительно короткое время. Возможные столкновения узлов легче распознаются, а единичные матрицы, т.е. неоднозначное определение позиции в декартовых координатах для используемых установок осей не встречаются. Поскольку для позиционирования заготовки используются только линейные приводы, в данных системах достигаются высокие значения скорости резания и подачи. Напротив, 5-координатная обработка характеризуется минимальным машинным временем. Оптимальное положение инструмента относительно заготовки допускает увеличенные значения подачи и глубины резания (большой съём материала), а также снижает объем необходимой доработки детали. Комплексная геометрия детали может быть получена с одного установа в одном рабочем цикле практически без доработки. Это обеспечивается отсутствием переустановок и затратного по времени ориентирования заготовки. Сложные кинематические процессы требуют, однако, разработки специализированных стратегий обработки под конкретную деталь. Так, например, насадная торцевая фреза должна устанавливаться по некоторым углом, реализующим ее ориентацию таким образом, что контакт рабочей части фрезы с заготовкой в направлении обработки осуществляется в заданном секторе для обеспечения локального резания заготовки и предотвращения ее повреждения в задней части. Эти сложные требования обеспечиваются посредством специально разработанных систем CAD/CAP/CAM. В отличие от простой геометрии деталей, полученных точением, комплексная геометрия свободных поверхностей рассчитывается в основном при помощи систем CAD. Система CAD при этом интегрируется в общую систему и связана с системой программирования через нейтральный интерфейс.

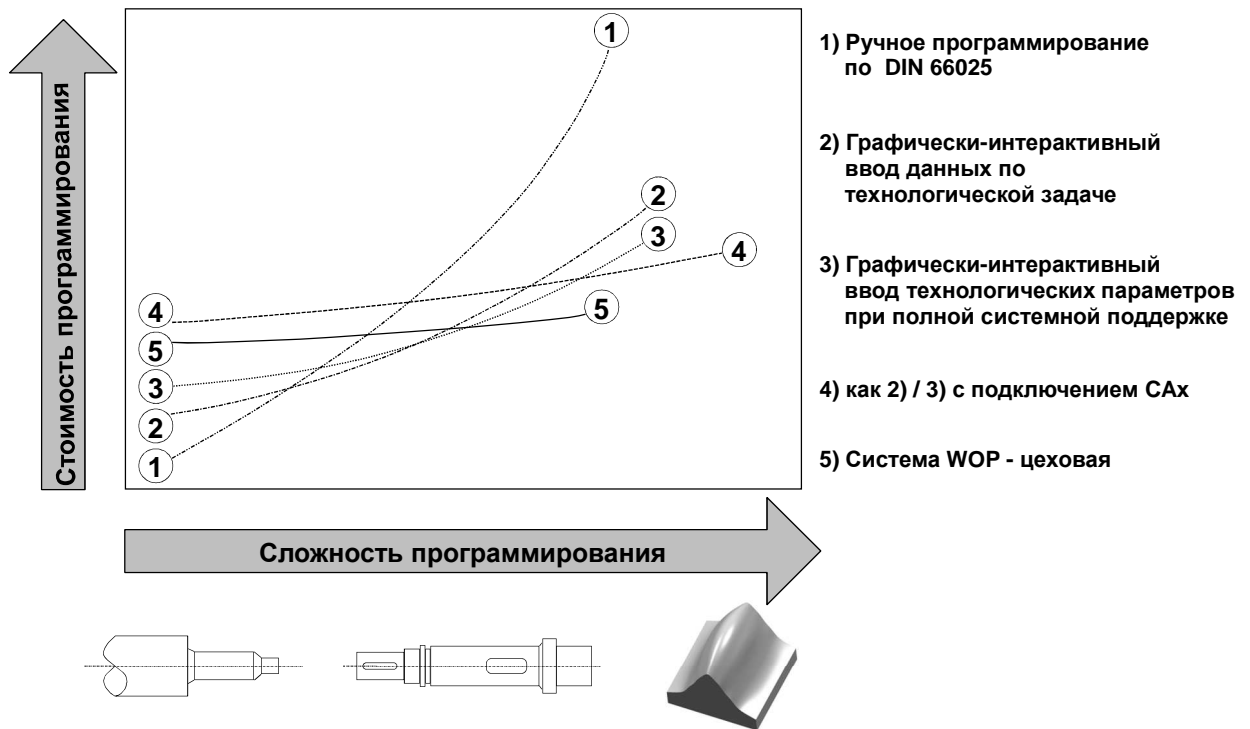


Рис. 12-17: Качественное сравнение методов NC-программирования

Методы программирования должны оцениваться также, как станок, по одинаковым производственным критериям. Комплексные системы с высокой стоимостью освоения, предполагающие значительные затраты на обучение персонала, эффективны только в том случае, если созданные NC-программы будут обеспечивать значительную экономию финансовых средств или достаточное повышение качества продукции. Стоимость программирования для станков с ЧПУ играет особую роль при производстве небольших партий изделий. Эта производственная задача для станков с ЧПУ многократно зависима от того, насколько (в отношении единичной детали) велики затраты на программирование. Поэтому при определении затрат используемые методы программирования являются масштабным фактором. Рассматривая значительное количество значимых факторов при выборе подходящей системы программирования, невозможно заранее определить, какой метод является наиболее выгодным. Обычно исходят из анализа стоимости программирования в совокупности с уровнем основной и дополнительной заработной платы, а также стоимости рабочего места программиста (часовой ставки использования оборудования системы, включая расходные материалы). Таким образом, эти расходы при ручном программировании в сравнении со стоимостью рабочего места для компьютерных методов программирования, включающие стоимость аппаратного и программного обеспечения, пренебрежимо малы. Дополнительные расходы компенсируются высоким коэффициентом использования, т.е. формированием прибыли от времени программирования установленной системы. Расходы на систему машинного программирования могут быть различными. В первую очередь, они связаны с актуальными задачами программирования. Пятикоординатное фрезерование поверхностей произвольной формы ставит, к примеру, более высокие требования к системе, чем при программировании обработки точением. Это в решающей степени определяет критерии выбора подходящей системы программирования и производства, зависящие от технологического процесса комплексной обработки детали. Принципиальное рассмотрение современных методов программирования на предмет эффективности при различной сложности детали, позволяет представить их в следующих качественных границах (Рис. 12-17). Использование ручного программирования в G-коде (DIN66025) целесообразно только при небольшой сложности деталей. Программирование сложных контуров требует значительных затрат времени, а в ряде случаев, практически невозможно. Стоимость компьютерного программирования при обработке контуров различной сложности увеличивается незначительно. Компьютерные системы

программирования разделены на 4 группы, которые ориентированы на функциональность и связь системы в системном блоке. Две первые группы представляют NC-программы, которые отличаются заданной при программировании системной поддержкой. Первая система (Рис. 12-17, 2) требует от пользователя введения в диалоговом режиме полной дифференцированной информации о технологическом процессе. Дополнительные функции, как автоматический выбор инструмента, ввод технологических параметров или автоматическое генерирование последовательности обработки не предусмотрены. Вторая группа (3) систем программирования обеспечивает данные функции. Здесь необходимо ввести геометрические параметры детали, заготовки и некоторую общую информацию (целевой станок, используемые инструменты, материал заготовки и т.д.), для того, чтобы под контролем оператора генерировать программу. Это автоматическое производство возможно в таком объеме, в настоящее время, только для относительно простых способов производства. Группа (4) представляет систему, которая в рассматриваемой компьютерной концепции интегрирована в системный блок. Сложные геометрические формы могут быть извлечены из CAD-системы и обработаны. Такой подход при использовании уже подготовленных технических данных геометрической информации, позволяет обеспечить эффективное программирование. Также возможно программное описание поверхности свободной формы (сплайнов). Последняя группа (5) является системой программирования, ориентированной на цеховую подготовку программ. Уже названные преимущества системы программирования, адаптированной для работы в конструкторских и производственных подразделениях с заменой централизованных структур программной подготовки, делают возможным ускоренное и гибкое реагирование на поток актуальных событий в процессе изготовления. В настоящее время обработка сложных 3D-поверхностей возможна со значительными ограничениями.

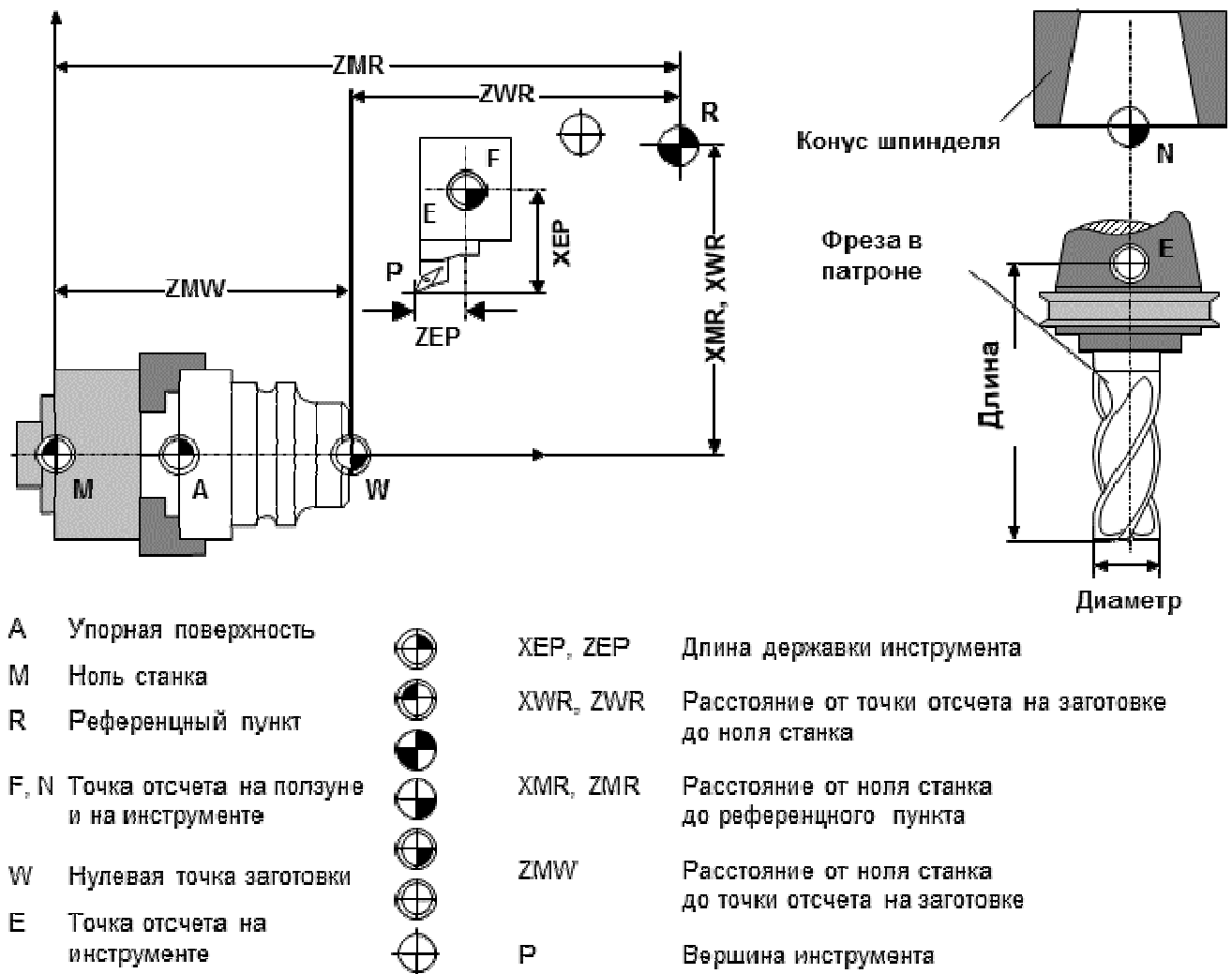


Рис. 12-18: Контрольные точки токарного станка с ЧПУ и фрезерного инструмента

Система координат привязана к заготовке, поэтому программирование производится независимо от того, движется при обработке инструмент или деталь. Программист всегда предполагает, что инструмент движется относительно координатной системы неподвижной по умолчанию заготовки. Программирование знака направления вращения шпинделя на токарном, фрезерном или сверлильном станке подчиняется правилу правого винта. Направление вращения в правую сторону по направлению подачи считается положительным. Это означает, что направление вращения из перспективы инструмента связано с направлением подачи. Общеизвестным считается для положительного вращения по осям: для A правое вращение в направлении +X, для B правое вращение в направлении +Y и для C правое вращение в направлении +Z. Для сверления правым сверлом применяется правое вращение шпинделя, что означает использование команды M03 при программировании. Помимо координатной системы на каждом станке с ЧПУ определены различные контрольные (референсные) точки. Важнейшие представлены на Рис. 12-18. С их помощью устанавливаются соотношения между позицией заготовки и положением инструмента.

#### Ноль станка – M

Посредством ноля станка производитель устанавливает жесткую привязку к координатной системе станка. Он является прямой или косвенной отсчетной точкой для других контрольных точек, референсных пунктов и производных нулевых точек. Ноль станка является неизменным параметром станка.

#### Референсный пункт R

Референсный пункт является грубо устанавливаемой через конечный выключатель и точно юстированным посредством измерительной системы постоянной точкой. Как правило, он находится на границе рабочей зоны станка, с тем, чтобы при зажатой

заготовке к нему имелся беспрепятственный доступ. Референсный пункт выставляется при наладке станка при постоянном расстоянии XMR, ZMR от ноля станка и остается после этого неизменным. При выполнении команды «подход к референчному пункту» он может быть достигнут вручную или при помощи SPS-программы с точностью путевого инкремента (в пределах от 0,1 до 1 мкм). Станки с абсолютно-циклической или инкрементальной измерительной системой должны при каждом новом включении выполнять перемещение к референчному пункту. После этого автоматический счетчик истинного положения устанавливается на ноль или другие введенные при наладке значения, например XMR или ZMR.

#### *Нулевая точка заготовки*

Нулевая точка заготовки является исходной для координатной системы заготовки, поэтому она связана с частичным программированием. Программист произвольно устанавливает ее положение, но должен при этом ориентироваться на размерную базу. Для детали типа тела вращения это, например, точка врезания на вращающейся оси с базовой кромкой измерения длины.

#### *Контрольная точка инструмента E*

Размеры инструмента для выполнения коррекции заносятся в память в раздел данных об инструменте и связываются с контрольной точкой инструмента. Контрольная точка инструмента при фрезеровании совпадает с точкой инструментальной оправки «N» в инструментальной оправке, при точении с контрольной точкой суппорта «F». Положение контрольной точки инструмента в высоком установочном конусе шпинделя фрезерного станка определяется не достаточно точно, так как посадочная поверхность в шпинделе станка не имеет упорной поверхности на фланце, а закрепляется в конической оправке. В данном случае необходима контрольная точка для установки инструмента, которая определяется отдельно для каждого станка и инструментального конуса. Чем дальше коническая оправка устанавливается в конусе рабочего шпинделя, тем дальше находится контрольная точка «E» инструмента в направлении его вершины. HSK-конус, напротив, устанавливается точно на фланец шпинделя, так что N и E становятся идентичны.

#### *Точка отсчета посадочной поверхности инструмента N и ползуна F*

При фрезеровании определяют точку посадочной поверхности инструмента, а при точении - контрольную точку ползуна. Данные точки аналогичны точкам отсчета на инструменте. Они участвуют в цикле референчных перемещений станка.

#### *Точка старта B*

Точка старта обозначает позицию контрольной точки инструмента в начале программы. Она достигается перед началом программы от референчного пункта вручную и по окончании обработки заготовки по программе, чтобы обеспечить начало обработки следующей заготовки.

#### *Точка смены инструмента WW*

При смене инструмента сменная головка на токарном станке или фрезерная головка на фрезерном станке перемещается в определенную позицию рабочего пространства, для выполнения надежной (без столкновений узлов) смены инструмента. Эта точка, как и ноль станка, является постоянным размером. При выполнении команды T на смену инструмента перемещение в эту точку выполняется автоматически.

#### *Геометрия инструмента*

При обработке заготовки практически всегда используются многочисленные инструменты, как, например, инструменты для черновой и чистовой обработки, инструменты для сверления и т.д. Они имеют различную длину закрепления, обозначаемую величинами XEP и ZER между режущими кромками и точкой установки инструмента «E», в зависимости от инструмента. При каждой смене инструмента соответствующие координатные пары XFP, ZFP расчета перемещения будут переназначаться. Незначительное изменение размера инструмента вследствие износа, неточной предварительной установки или температурных деформаций станка могут быть компенсированы оператором коррекцией инструмента перед началом обработки.

Обозначение	Функция и значение
%	Начало программы
: N /	1 to 9999 номер строки комментарий
/N	строка с комментарием
G	00 ускоренная подача 01 линейная подача 02 круговая подача по часовой стрелке 03 круговая подача против часовой стрелки 33 нарезание резьбы
G	4 время паузы
G	17 выбор плоскости X-Y 18 выбор плоскости X-Z 19 выбор плоскости Z-Y
G	39 компенсация радиуса резца (точение)
G	40 выключение коррекции размера инструмента 41 коррекция движения траектории, инструмент расположен слева относительно заготовки 42 коррекция движения траектории, инструмент расположен справа относительно заготовки
G	53 смещение начала координат (НК) нет
G	54 смещение НК 1 55 смещение НК 2
G	70 ввод в дюймах 71 ввод в метрических единицах
G	80 выключение рабочего цикла 81 to 89 циклы ЧПУ
G	90 ввод абсолютных координат 91 ввод инкрементальных координат
G	92 задание текущей позиции как начала координат
G	94 подача в мм/мин
G	95 подача в мм/оборот

Обозначение	Функция и значение
D	1 до 99 номер коррекц. фактора инструмента
X	0 до ± 99999.9 задание координаты перемещения в мм
Y	0 до ± 99999.9 задание координаты перемещения в мм
Z	0 до ± 9999.9 задание координаты перемещения в мм
4. ось	0 до ± 99999.9 задание координаты перемещения в °, оси: A, B, C, U, V, W
R	0 до n показатель субрутины
I	0 до ± 9999.9 параметр интерполяции по оси X 1 до 2000.0 ход в мм
J	0 до ± 9999.9 параметр интерполяции по оси Y 1 до 2000.0 ход в мм
K	0 до ± 9999.9 параметр интерполяции по оси Z 1 до 2000.0 ход в мм
F	0 до F <sub>max</sub> подача в мм/мин (фрез.) или мм/об (точ.)
S	0 до S <sub>max</sub> частота вращения в мин <sup>-1</sup>
T	1 до 9999 номер инструмента
H	1 до 9999 вспомогательные функции
L	1 до 9999 номер вызываемой подпрограммы
M	00 остановка (безусловная) 01 остановка (условная) 02 окончание программы без перехода 30 окончание программы и возврат в начало
M	03 вращение шпинделя, по часовой стрелке 04 вращение шпинделя, против час. стрелки 05 остановка шпинделя
M	00 до 99 вспомогательные функции, настраиваемые
( )	начало комментария окончание комментария
LF	линейная подача

Источник: DIN 66025

Рис. 12-19: Выдержка из обозначения функций по DIN 66025

Первые NC-программы обрабатывались исключительно последовательным способом, что было обусловлено имеющимся в распоряжении алгоритмам, мощностью компьютеров и технологиями хранения информации. Вместо того чтобы описывать параметры заготовки и необходимую для ее обработки технологическую и подготовительную информацию, они содержат перечисление отдельных NC-строк с указаниями по перемещениям и командами на переключение для определенного станка с ЧПУ. Здесь имеется в виду программирование станка, а не обработки конкретной заготовки. На основе этой технологии были разработаны расширенные NC-программные языки, которые представлены в стандартах DIN 66025 или ISO 6983. NC-программа на базе так называемого G-кода, в соответствии с DIN 66025, состоит из упорядоченных предложений, которые соответствуют одному шагу обработки. Указания по обработке в одной строке являются комбинацией на основе «слов» из определенных букв и последовательности цифр, которые могут быть кодированы индексами или без них. Значение и порядок таких слов указываются в программном ключе, на основании DIN 66025 для каждой NC-программы. В представленной таблице совместно указаны значения важнейших команд согласно DIN 66025. Начальным указанием NC-программы является начальный программный знак %. После этого в строчной последовательности следуют NC-предложения, которые определяются номером предложения «N» и завершаются знаком окончания предложения «LF» (Line Feed). Каждое предложение может иметь различное число слов. Обычно функции являются самоудерживающимися и поэтому могут не вводиться в каждое предложение заново, т.е. действуют до момента, пока в новом предложении они не будут переписаны или отменены. С условным перемещением «G» (ввод геометрических данных) у программиста имеются возможности внесения в программу вида интерполяции (линейная или полярная), вида размеров (мм или дюймы, абсолютный или относительный), корректирования пути инструмента, смещения ноля и запуска циклов (сверлильные циклы, циклы фрезерования карманов и т.д.). Перемещения по отдельным осям записываются в виде путевой информации. Она включает буквы на выбор по осям (X, Y, Z для линейных осей и A, B, C для поворотных осей) и цифры для указания величины перемещения или угла поворота. При перемещении по кругу вводятся параметры круговой интерполяции I, J, K связывающие реальное положение центра окружности с ее начальной точкой. Дополнительно к указанной геометрической информации, описывающей перемещения инструмента, NC-

программа включает технологические инструкции по обработке заготовки: «F»-команда (Feed) определяет величину подачи в мм/мин или обратную подачу в мм/об. Выбор производится между командами G94 или G95. Частота вращения шпинделя в об/мин определяется при программировании посредством команды «S» (вращение шпинделя). Для станков со сменой инструмента посредством команды «T» (инструмент) может быть выбран инструмент. Для каждого инструмента в памяти под индексом «D» сохранены номера корректировок для последующей коррекции инструмента. Эта информация позволяет корректировать радиус инструмента, длину инструмента или диаметр инструмента при отработке программы. Корректировка радиуса для фрез имеет большое значение при написании NC-программы. Вместо программирования перемещения контура инструмента производят активную корректировку эквидистанты к контуру готовой детали, которая затем реализуется на станке. Система управления обеспечивается посредством команд «G» G41 и G42 - совмещение реального положения инструмента относительно заготовки в направлении движения, т.е. инструмент должен находиться справа или слева от линии перемещения по отношению к реальной заготовке. Вследствие этого в системе управления возможен расчет вертикального положения инструмента к линии движения при генерировании перемещений по осям. Если припуск находится справа от линии движения инструмента, то используется G41, если слева - то G42. При токарной обработке в таком разделении нет необходимости. Большинство систем управления используют G46 для автоматической корректировки радиуса режущей кромки. Направление, в котором должна проводиться корректировка, определяется сохраненным в памяти системы управления положением токарного инструмента. Многочисленные дополнительные функции, как, например, правое - левое вращение шпинделя, переключение ступеней привода, включение-выключение системы охлаждения или окончание программы включаются посредством команд «M» (смешанные функции). L-функция обеспечивает вызов подпрограмм. Они сокращают программы при повторяющихся циклах обработки, как, например, при разделении припуска или наличия схемы сверления обрабатываемых отверстий. В этом случае возможно изменение размеров в виде параметров (Siemens R-параметры) при новом вводе и затем вызов подпрограммы для продолжения обработки. Окончание программы установлено в виде дополнительной функции M02. M30 - это функция, которая была необходима в прошлом при использовании перфоленты, которая по окончании программы перематывалась в начало. Перфолента была на начальной стадии основным носителем информации для NC-программ, так как другие средства хранения информации были ненадежны вследствие загрязнения или взаимодействия с магнитными полями в производственных цехах. В настоящее время станки с ЧПУ обладают достаточными объемами встроенной памяти и обладают способностью хранения и последующей реализации программ различной сложности. Перенос программы в систему управления может производиться разными методами. Во многих случаях программы записываются и считываются при помощи дискет или устройств флэш-памяти. Другие возможности переноса программ дают серийные интерфейсы (например, производственный PC) или система DNC (распределенное числовое управление) через сетевые ресурсы. В системе DNC, которая включает функции управления NC-программированием и локализации, установлен сервер, соединенный через локальную сеть LAN со станками с ЧПУ. Требуемые NC-программы или элементы программ вызываются по сети системой управления станка или, при устаревшей системе управления без жесткого диска, из терминала DNC.

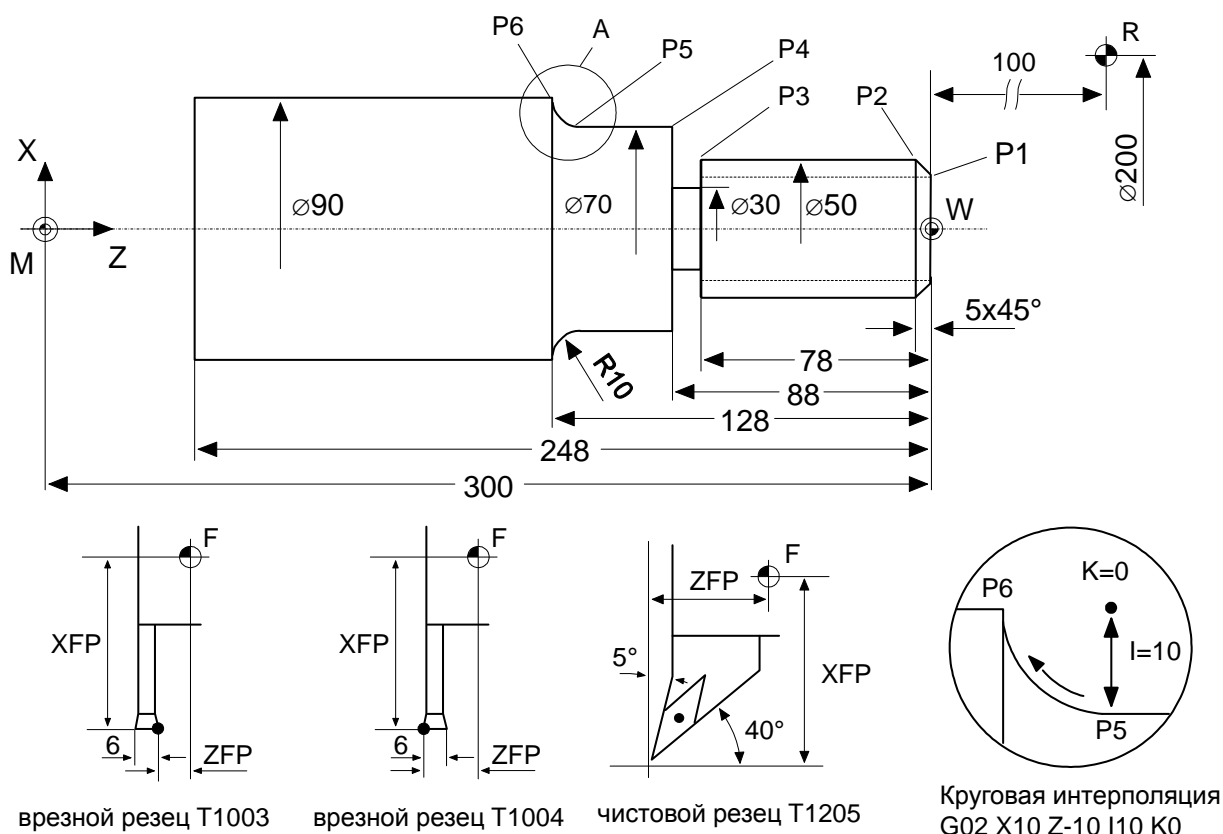


Рис. 12-20: Чертежи детали и инструмента (пример программы)

**Программа:**

N01 G59 X0 Z300 S1300  
 N02 G90 T1003 M04  
 N03 G00 X54 Z-78 F0,1  
 N04 G01 X30  
 N05 X54  
 N06 G00 X200 Z100  
 N07 T1104  
 N08 G00 X74 Z-88  
 N09 G01 X30  
 N10 X74  
 N11 G00 X200 Z100  
 N12 T1205  
 N13 G91  
 N14 G46  
 N15 G00 X-80 Z-98  
 N16 G96 V250  
 N17 G01 Z-2 F0,15  
 N18 X5 Z-5  
 N19 Z-75  
 N20 G00 X10 Z-6  
 N21 G01 Z-32  
 N22 G02 X10 Z-10 I10 K0  
 N23 G01 X2  
 N24 G40  
 N25 G90  
 N26 G00 X200 Z100  
 N27 M05

**Комментарий:**

Смещение ноля (M -> W), 1300 об/мин  
 Абсолютные координаты; смена инструмента T1003, вращение шпинделя против часовой стрелки  
 Ускоренное перемещение; подача 0,1 мм/об  
 Врезное точение справа  
 Отвод резца  
 Ускоренное перемещение к точке начала координат  
 Смена инструмента T1104  
 Ускоренный отвод инструмента  
 Врезное точение слева  
 Отвод резца  
 Ускоренное перемещение к точке начала координат  
 Смена инструмента T1205  
 Инкрементальный ввод координат  
 Включение коррекции инструмента  
 Ускоренное перемещение к P1  
 Постоянная скорость резания 250 м/мин  
 Линейное перемещение к P1; подача 0,15 мм/об.  
 P1 -> P2  
 P2 -> P3  
 Ускоренное перемещение к P4  
 Ускоренное перемещение к P5  
 P5 -> P6 (круговое перемещение)  
 Отвод резца  
 Компенсация радиуса резца  
 Абсолютный ввод координат  
 Ускоренное перемещение к точке отсчета координат  
 Остановка шпинделя

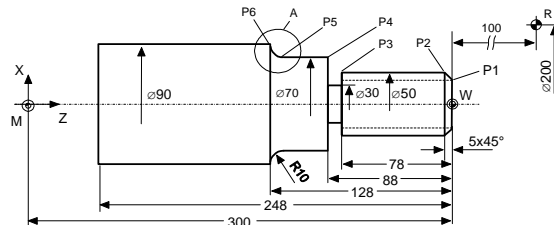


Рис. 12-21: Программа ЧПУ по DIN 66025 для токарной обработки

На Рис. 12-20 и Рис. 12-21 представлен пример токарной обработки предварительно подготовленной заготовки. Для обработки данной детали используется токарный станок. Как было показано выше, на практике применяется много систем управления, в которых дополнительные функции реализуются через собственные, нестандартизированные управляющие команды. Например, система управления, применяемая в токарном станке TRAUB, предлагает такие, отличающиеся от DIN 66025, команды (таблица 6.1). После уже проведенной предварительной обработки следует проход двумя инструментами и дополнительно выполняется окончательная обработка через маркированные точки P1 и



P6. В качестве первого шага NC-программа выполняет перемещение нуля посредством использования команды G59. Этим определяется реальное смещение ноля станка к контрольной точке заготовки W. Значение перемещения в рассматриваемом случае  $X=0$  и  $Z=300$ . Дополнительно определяется частота вращения шпинделя. Следующая строка N2 устанавливает вид введения размеров, направление вращения шпинделя и сменяемый инструмент T1003. Первые две цифры T-указания определяют позицию инструмента в revolverной головке или инструментальном магазине токарного станка (в примере позиция 10). Вторая пара цифр устанавливает позицию в данных памяти для точной корректировки инструмента. В этом случае набор коррекционного объема памяти происходит не через применение команды D, а посредством прямого соединения при вызове смены инструмента. В последующих строках обеспечивается обработка сначала правой и потом левой боковой поверхности прохода. После этого происходит замена инструмента для окончательной обработки T1205 (строка N12) и обходятся точки контура от P1 до P6. Эти перемещения программируются с указанием размеров в виде цепи. Напротив, для абсолютного отсчета, устанавливаемого при этом в направлении X, должны быть указаны значения диаметров, что в случае задания размеров по цепи приводит к реальному смещению стартовой и целевой позиций. Команда G46 (строка 14) включает компенсацию радиуса режущей кромки на токарном станке. Особенности настройки для обеспечения программирования по кругу еще раз определены в строке 22. Строка начинается с вызова командой G02 круговой интерполяции в направлении по часовой стрелке. После этого проводится установка начальной точки кругового перемещения (P5, окончание строки 21), конечного пункта кругового сегмента (P6) в реальных координатах начальной точки (P5) (в примере:  $X=10$  и  $Z=-10$ ). После этого будет введена позиция центра окружности от начальной точки в реальных координатах. Затем вводятся следующие величины: I=10 (соответственно, в направлении X) и K=0 (в направлении Z). По окончании программы (от строки 25) снова происходит переустановка на абсолютные измерения и производится перемещение к референчному пункту. Команда M30 окончательно завершает программу и возвращает ее к знаку % (начало программы), так, чтобы после нажатия клавиши «Старт» проводилась новая отработка программы.

**Дополнение к главной программе А**

N28 G97 S500 M04 Постоянная частота вращ. шпинделя  
500 об/мин, против часовой стрелки

N29 T0906 Смена инструмента T0906  
N30 L1/49 Задание переменной (L1=49 мм)  
N31 G22 A8100 Вызов подпрограммы  
N32 L1/48 Задание переменной (L1=48 мм)  
N33 G22 A8100 Вызов подпрограммы  
N34 L1/47,4 Задание переменной (L1=47,4 мм)  
N35 G22 A8100 Вызов подпрограммы  
N36 G00 X200 Z100 Ускоренное перемещение к точке отсчета координат  
N37 M05 Остановка шпинделя

**Подпрограмма O8100**

N101 G00 X54 Z2 Ускоренное перемещение  
N102 XL1 Ускоренный подход  
N103 G33 Z-83 F1,5 Нарезание резьбы  
N104 G00 X54 Ускоренное перемещение по оси X  
N105 M99 Окончание подпрограммы

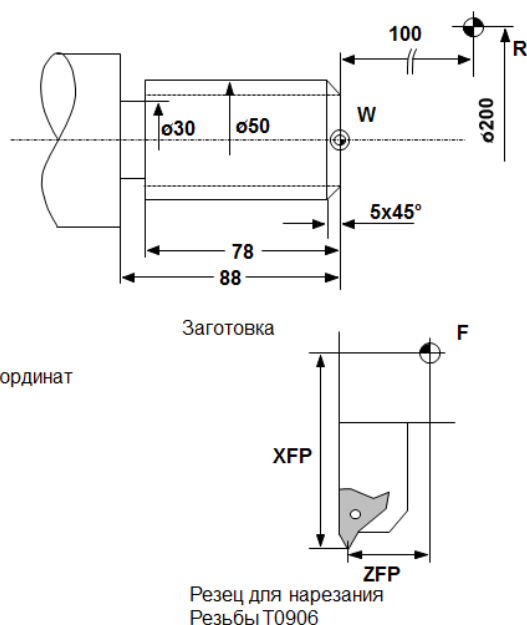


Рис. 12-22: Пример: подпрограмма при программировании NC

**Техника разработки подпрограмм**

С помощью техники разработки подпрограмм часто повторяющиеся переходы (сверлильные циклы, схемы расположения обрабатываемых отверстий или поверхностей для фрезерования) записываются в программу один раз и затем вызываются посредством символических наименований с вводом актуальных параметров. Используемые команды, как измерение по цепи и т.д. в отличие от языков высокого уровня, таких как C, Pascal и т.д. не ограничиваются на подпрограмме, а действуют в объеме всей NC-программы. На Рис. 12-22 изображен пример для случая нарезания резьбы. Посредством применения подпрограммы требуемая резьба должна быть выполнена как левая. Это требует внедрения дополнительной части программы в основную программу А и создания собственно подпрограммы. Резьба (M50X1,5) изготавливается с помощью инструмента T0906. Технологический процесс предусматривает выполнение 3-х переходов удаления материала до достижения заданной глубины резьбы равной 1,3 мм. Подпрограмма обозначается буквой «О» и программный номер 8100. Подпрограмма будет три раза вызвана из основной программы (N31, N33, N35) командой G22. Передаваемым параметром (L1) здесь является соответствующие переходам глубины, которые в основной программе отделены от L1 знаком «/». Подача F салазок установлена в соответствии с шагом резьбы. Команда G33 (строка N103, нарезание резьбы) синхронизирует при обработке подачу и вращение шпинделя.

## Содержание

- 1 Введение в устройство систем управления станками
- 2 Системы логического управления (SPS)
- 3 Числовое программное управление (NC)
- 4 Заключение

## Заключение

- Для управления станками необходимы как системы логического управления (SPS), так и системы числового программного управления (NC). Эти системы решают различные задачи и обеспечивают выполнение различных требований.
- Различаются виды логического управления (VPS, SPS) и формы реализации SPS (аппаратно реализованные SPS, SPS в виде модульных карт, программно реализованные SPS).
- В лекции представлены графические (контактная схема, функциональная схема) и текстовые (список команд, структурированный текст) методы программирования системы SPS.
- При написании программ NC должны учитываться требования и ограничения, налагаемые технической базой, геометрией обрабатываемых деталей и технологией производства.
- Имеются различные методы для написания NC-программ. Преимущественным является программирование на базе DIN 66025, которое рассматривается на практических занятиях. Также применяются производственно-ориентированные (цеховые) методы и методы, базируемые на САХ
- При NC-программировании принимаются во внимание различные геометрические и технологические граничные условия.