

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

# **ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ (ПРОИЗВОДСТВО МАШИН)**

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальностей 1-36 01 01  
«Технология машиностроения»,  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование  
машиностроительного производства»

В трех частях

Часть 2

Составители  
А.А. Лысов, А.С. Аршиков

Новополоцк  
ПГУ  
2009

УДК 621:658.512(075.8)  
ББК 34.5я73  
Т38

Рекомендовано к изданию методической комиссией  
машиностроительного факультета в качестве учебно-методического комплекса  
(протокол № 5 от 12.12.2007)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

зам. гл. инженера ОАО «Проммашремонт» М. В. ПОДОСЕТНИКОВ;  
канд. техн. наук, доц. каф. металлорежущих станков и инструментов  
А. М. ДОЛГИХ

**Технология машиностроения (производство машин) :** учеб.-метод.  
Т38 комплекс для студентов спец. 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного про-  
изводства». В 3 ч. Ч. 2 / сост. А. А. Лысов, А. С. Аршиков. – Новополоцк :  
ПГУ, 2009. – 272 с.  
ISBN 978-985-418- 863-8.

Содержит теоретический курс, методические указания к выполнению лабора-  
торных, практических и контрольных работ для студентов дневной и заочной  
форм обучения. Описаны методы разработки технологических процессов в ус-  
ловиях автоматизированного производства. Приведены основные сведения и ме-  
тодики подготовки управляющих программ, принципы разработки маршрутных  
и операционных технологических процессов обработки на станках с ЧПУ.

Предназначен для студентов машиностроительных специальностей. Может  
быть полезен инженерно-техническим работникам предприятий машинострои-  
тельного профиля, учащимся средних специальных учебных заведений.

**УДК 621:658.512(075.8)**  
**ББК 34.5я73**

**ISBN 978-985-418- 863-8 (Ч. 2)**  
**ISBN 978-985-418-581-1**

© Лысов А. А., Аршиков А. С., составление, 2009  
© УО «Полоцкий государственный  
университет», 2009

## ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим достижением научно-технического прогресса является комплексная автоматизация промышленного производства.

В связи с созданием и использованием гибких производственных комплексов механической обработки резанием особое значение приобретают станки с числовым программным управлением (ЧПУ).

В результате замены универсального оборудования станками с ЧПУ оказалось возможным сократить трудоемкость изготовления деталей в несколько раз.

Внедрение ЧПУ в технологию машиностроения обусловило необходимость построения числовых моделей технологического процесса, а следовательно, широкое использование математических методов и вычислительной техники. Это привело к революционным изменениям в технологии машиностроения.

Эксплуатация станков с ЧПУ возможна при наличии не только соответствующего технологического процесса, но и обеспечивающих его исполнение управляющих программ (УП). Поэтому программирование обработки для станков с ЧПУ отличается трудоемкостью и сложностью, требует от технолога высокой профессиональной подготовки, знания не только ряда технологических дисциплин, но и основ программирования, некоторых разделов математики и т. п.

Обеспечение высокого качества технологических процессов и УП при минимальных затратах труда и времени на их подготовку и изготовление – одно из главных условий рационального использования станков с ЧПУ в промышленности. Это условие связано и с новыми принципами организации производства.

Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ – качественно новый этап, на котором выполняется значительная часть работы, перенесенная из сферы непосредственного производства в область его технологической подготовки. Развитие и широкое распространение в промышленности средств вычислительной техники, применение ЭВМ для управления участками станков и создание автоматизированных рабочих мест – все это создает предпосылки для полного перехода на автоматизированную подготовку УП для станков с ЧПУ. При этом неизбежно слияние систем автоматизации программирования (САП) изготовления изделий с системами автоматизации их проектирования (САПР), что связано с решением насущного вопроса производства – комплексной автоматизации проектирования и изготовления.

## ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- АРМ** – автоматизированное рабочее место  
**АСИ** – автоматическая смена инструмента  
**АСПДЛ** – автоматизированная система подготовки данных на перфоленге  
**АСТПП** – автоматизированная система технологической подготовки производства  
**АСУ** – автоматизированная система управления  
**АСУП** – автоматизированная система управления производством  
**АЦП** – аналого-цифровой преобразователь  
**АЦПУ** – автоматизированное цифровое печатающее устройство  
**БД** – база данных  
**БИС** – большая интегральная схема  
**БПУ** – бюро программного управления  
**ВТ** – вычислительная техника  
**ГАП** – гибкое автоматизированное производство  
**ГПК** – гибкий производственный комплекс  
**ГПМ** – гибкий производственный модуль  
**ГПС** – гибкая производственная система  
**ДОС** – датчик обратной связи  
**ДП** – диалоговое прерывание  
**ИО** – информатор ошибки  
**ИОС** – информация обратной связи  
**КД** – конструкторская документация  
**КЦПП** – кустовой центр подготовки программ  
**НИР** – научно-исследовательские работы  
**НМД** – накопитель на магнитных дисках  
**ОГТ** – отдел главного технолога  
**ОТК** – отдел технического контроля  
**ПМО** – программно-математическое обеспечение  
**ППЗУ** – перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство  
**ПЦ** – постоянный цикл  
**РТК** – расчетно-технологическая карта  
**САП** – система автоматизации программирования  
**САПР** – система автоматизированного проектирования  
**Система СПИД** – система станок – приспособление – инструмент – деталь

**СОЖ** – смазочно-охлаждающая жидкость  
**СПД** – система подготовки данных  
**СПО** – системное программное обеспечение  
**СПУ** – система программного управления  
**СУБД** – система управления базами данных  
**СЧПУ** – система числового программного управления  
**ТД** – технологическая документация  
**ТЗ** – техническое задание  
**ТП** – технологический процесс  
**ТПП** – технологическая подготовка производства  
**ТУ** – технические условия  
**УП** – управляющая программа  
**УЧПУ** – устройство числового программного управления  
**ФСУ** – фотосчитывающее устройство  
**ЧПУ** – числовое программное управление  
**ШД** – шаговый двигатель  
**ЭВМ** – электронно-вычислительная машина

## ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ

Приведены применяемые в науке, технике и производстве термины и основные понятия в области систем числового программного управления металлорежущими станками. Приведены также некоторые термины из других областей знаний, используемые при рассмотрении программирования обработки на станках с ЧПУ. Здесь же даны установленные стандартом сокращения, далее применяемые по тексту всего УМК.

**Управляющая программа (УП)** – совокупность команд на языке программирования, соответствующая заданному алгоритму функционирования станка для обработки конкретной заготовки.

**Числовое программное управление (ЧПУ) станком** – управление обработкой заготовки на станке по УП, в которой данные заданы в цифровой форме.

**Позиционное ЧПУ (позиционное управление)** – ЧПУ, при котором рабочие органы станка перемещаются в заданные точки, причем траектории перемещения не задаются.

**Контурное ЧПУ станком (контурное управление)** – ЧПУ, при котором рабочие органы станка перемещаются по заданной траектории и с заданной скоростью для получения необходимого контура обработки.

**Адаптивное ЧПУ станком (адаптивное управление)** – ЧПУ, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям.

**Групповое ЧПУ станками (групповое управление)** – ЧПУ группой станков от ЭВМ, имеющей общую память для хранения управляющих программ, разделяемых по запросам от станков.

**Ручная подготовка УП** – подготовка и контроль УП в основном без применений ЭВМ:

**Автоматизированная подготовка УП** – подготовка и контроль УП с применением ЭВМ.

**Программоноситель** – носитель данных, на котором записана УП. В качестве носителя данных могут применяться перфолента, магнитная лента, магнитный диск и запоминающие устройства различного типа.

**Программное обеспечение системы ЧПУ (программное обеспечение)** – совокупность программ и документации для реализации целей и задач системы ЧПУ.

**Устройство числового программного управления (УЧПУ)** – устройство, выдающее управляющие воздействия на исполнительные органы

станка в соответствии с УП и информацией о состоянии управляемого объекта.

**Аппаратное устройство ЧПУ** – устройство ЧПУ, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства.

**Программное устройство ЧПУ** – устройство ЧПУ, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления устройства.

**Система числового программного управления (СЧПУ)** – совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станком.

**Кадр управляющей программы (кадр)** – составная часть УП, вводимая и обрабатываемая как единое целое и содержащая не менее одной команды.

**Слово УП (слово)** – составная часть кадра УП, содержащая данные о параметре процесса обработки заготовки и (или) другие данные по выполнению управления.

**Адрес ЧПУ (адрес)** – часть слова УП, определяющая назначение следующих за ним данных, содержащихся в этом слове.

**Номер кадра УП (номер кадра)** – слово в начале кадра, определяющее последовательность кадров в УП.

**Формат кадра УП (формат кадра)** – условная запись структуры и расположения слов в кадре УП с максимальным числом слов.

**Главный кадр** – кадр УП, содержащий все данные, необходимые для возобновления процесса обработки заготовки после перерыва. Главный кадр УП обозначают специальным символом.

**Абсолютный размер** – линейный или угловой размер, задаваемый в УП и указывающий положение точки относительно принятого нуля отсчета.

**Размер в приращении** – линейный или угловой размер, задаваемый в УП и указывающий положение точки относительно координат точки предыдущего положения рабочего органа станка.

**Автоматическая работа системы устройства ЧПУ (автоматическая работа)** – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором обработка УП происходит с автоматической сменой кадров УП.

**Работа системы ЧПУ с пропуском кадров (пропуск кадра)** – автоматическая работа СЧПУ (УЧПУ), при которой не обрабатываются кадры УП, обозначенные символом ПРОПУСК КАДРА.

**Ускоренная обработка УП (ускоренная обработка)** – автоматическая работа СЧПУ (УЧПУ), при которой предусмотренные в УП скорости подач автоматически заменяются на ускоренную подачу.

**Покадровая работа** – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором обработка каждого кадра УП происходит только после воздействия оператора.

**Работа системы (устройства) ЧПУ с ручным вводом данных (ручной ввод данных)** – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором набор данных, ограниченный форматом кадра, производится вручную оператором на пульте.

**Работа системы ЧПУ с ручным управлением (ручное управление)** – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором оператор управляет станком с пульта без использования числовых данных.

**Зеркальная обработка** – функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором рабочие органы станка перемещаются по траектории, представляющей собой зеркальное отображение траектории, записанной в УП.

**Ввод УП (ввод)** – функционирование УЧПУ, при котором ввод данных в память УЧПУ с программносителя происходит от ЭВМ верхнего ранга или с пульта оператора.

**Вывод УП (вывод)** – функционирование УЧПУ, при котором происходит вывод хранимой в памяти УЧПУ управляющей программы на носитель данных. При выводе УП могут выводиться дополнительные данные, используемые при обработке УП и хранящиеся в памяти УЧПУ, например, константы и т. п.

**Поиск кадра в УП (поиск кадра)** – функционирование УЧПУ, при котором на программносителе или в запоминающем устройстве УЧПУ обнаруживается заданный кадр УП по его номеру или специальному признаку.

**Редактирование УП (редактирование)** – функционирование УЧПУ, при котором управляющую программу изменяет оператор непосредственно у станка.

**Контурная скорость** – результирующая скорость подачи рабочего органа станка, вектор которой равен геометрической сумме векторов скоростей перемещения этого органа вдоль осей координат станка.

**Нулевая точка станка (нуль станка)** – точка, принятая за начало координат станка.

**Исходная точка станка (исходная точка)** – точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для начала работы по УП.

**Фиксированная точка станка (фиксированная точка)** – точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для определения положения рабочего органа станка.

**Точка начала обработки** – точка, определяющая начало обработки конкретной заготовки.

**Нулевая точки детали (нуль детали)** – точка на детали, относительно которой заданы ее размеры.

**Плавающий нуль** – свойство СЧПУ (УЧПУ) помещать начало отсчета перемещения рабочего органа в любое положение относительно нулевой точки станка.

**Дискретность задания перемещения** – минимальное перемещение или угол поворота рабочего органа станка, которые могут быть заданы в УП.

**Дискретность отработки перемещения** – минимальное перемещение или угол поворота рабочего органа станка, контролируемые в процессе управления.

**Коррекция инструмента** – изменение с пульта управления запрограммированных координат (координаты) рабочего органа станка.

**Коррекция скорости подачи** – изменение с пульта оператора запрограммированного значения скорости подачи.

**Коррекция скорости главного движения** – изменение с пульта оператора запрограммированного значения скорости главного движения станка.

**Значение коррекции положения инструмента (коррекция на положение инструмента)** – расстояние по оси координат станка, на которое следует дополнительно сместить инструмент.

**Значение коррекции длины инструмента (коррекция на длину инструмента)** – расстояние вдоль оси вращающегося инструмента, на которое следует дополнительно сместить инструмент.

**Значение коррекции диаметра фрезы (коррекция на фрезу)** – расстояние по нормали к заданному контуру перемещения фрезы, на которое следует дополнительно переместить центр фрезы.

**Задающая информации (программа управления)** – информация, известная до начала технологического процесса и зафиксированная тем или иным способом на материальном носителе, называемом программносителем. В программе даются сведения о характере движения рабочих органов, их синхронизации, режимах обработки, различные технологические и другие команды.

**Информация обратной связи (ИОС)** – информация, источником которой является сам технологический процесс. К этой информации относят-

ся данные о фактическом положении и скорости движения рабочего органа, о размере обрабатываемой поверхности, о температурных и силовых деформациях в системах СПИД, о температуре в зоне резания, уровне вибрации и т. п.

**Датчики обратной связи (ДОС)** – устройства, с помощью которых собирается информация обратной связи.

**Информация возмущения** – информация, источником которой служит окружающая среда (температура, влажность, колебания припуска заготовки, твердость материала, уровень вибрации и др.).

**Системы управления разомкнутые** (без обратной связи, с разомкнутой цепью, циклические, жесткие, программные) – системы управления, использующие только задающую информацию. В системах отсутствуют контроль за выполнением заданной программы и обратная связь. В разомкнутых системах используется только один поток информации. Задающая информация перерабатывается в форму, удобную для управления приводом, выполняющим тот или иной элементарный цикл технологического процесса. Информация возмущения, имеющая место при выполнении технологического процесса, как и информация обратной связи, в разомкнутых системах управления не используется.

**Системы управления замкнутые** (с замкнутой цепью, с обратной связью, рефлекторные, ациклические) – системы управления, работающие на основе совместного использования задающей информации и информации обратной связи, содержащей данные о фактической скорости перемещения рабочего органа, его положении, об окончании цикла или отдельных его элементов и другие сведения о протекании технологического процесса.

**Геометрическая информация** – информация, описывающая форму, размеры элементов детали и инструмента и их взаимное положение в пространстве

**Технологическая информация** – информация, описывающая технологические характеристики детали и условия ее изготовления.

**Интерполяция** – получение (расчет) координат промежуточных точек траектории движения центра инструмента в плоскости или пространстве.

**Аппроксимация** – процесс замены одной функциональной зависимости другой с определенной степенью точности.

**Алгоритм** – формальное предписание, однозначно определяющее содержание и последовательность операций, переводящих совокупность исходных данных в искомый результат – решение задачи.

**Бит** – одноразрядная единица двоичной информации.

**Байт** – единица количества двоичной информации, равная восьми битам.

**Бод** – единица скорости передачи информации; 1 бод = 1 бит/с.

**Машинное слово** – объем информации, равный 1, 2 или 4 байт (8, 16, или 32 бит) в зависимости от разрядности блоков ЭВМ.

**Килобайт** – единица количества двоичной информации, равная 1024 ( $10^3$ ) байт.

**Мегабайт** – единица количества двоичной информации, равная 1 048 576 ( $10^6$ ) байт.

**Микропроцессор** – универсальный цифровой электронный блок, реализованный с большой степенью интеграции, у которого выполняемая им функция определяется после изготовления путем программирования.

**Код** – ряд правил, посредством которых выполняется преобразование данных из одного вида в другой. Применение кода (кодирование) сводится к записи информации в виде комбинации символов.

**Геометрический элемент** – непрерывный участок расчетной траектории или контура детали, задаваемый одним и тем же законом в одной и той же системе координат.

**Опорная точка** – точка расчетной траектории, в которой происходит изменение либо закона, описывающего траекторию, либо условий протекания технологического процесса.

**Опорная геометрическая точка** – точка расчетной траектории, в которой происходит изменение закона, описывающего траекторию.

**Опорная технологическая точка** – точка расчетной траектории, в которой происходит изменение условий протекания технологического процесса.

**Пост-процессор** – согласующая программа САП, учитывающая особенности данного станка и формирующая кадр.

**Процессор** – программа первичной переработки информации в САП, формирующая данные по обработке детали безотносительно к типу станка.

**Расчетная траектория** – теоретическая аппроксимированная относительная траектория инструмента.

**Рукопись программы** – информация, записанная в виде, удобном для составления языковой или управляющей программы.

**Точность позиционирования** – величина поля рассеивания отклонений положений центра инструмента от заданных при отработке геометрического перехода без резания, рассчитанная для всего диапазона задаваемых размеров.

**Управляемая координата** – ось системы координат, относительное перемещение вдоль которой центра инструмента осуществляется с помощью одного исполнительного органа системы управления.

**Центр инструмента** – неподвижная относительно державки точка инструмента, по которой ведется расчет траектории.

**Чувствительность** – минимальное рассогласование, на которое может реагировать система.

**Шаг программирования** – разность между двумя ближайшими программируемыми числовыми величинами.

**Эквидистанта** – линия, равноотстоящая от линии контура детали (заготовки).

**Интерполятор системы ЧПУ станком** – вычислительный блок системы ЧПУ, задающий последовательность управляющих воздействий для переменных рабочих органов станков по осям координат в соответствии с функциональной связью между координатами опорных точек, заданных программой управления станком.

**Ось координат станка с ЧПУ** – направление, совпадающее с перемещением рабочего органа станка по направляющей опоре в соответствии с программой управления станком, связанное с одной единицей привода.

**Файл** – совокупность данных, объединенных по некоторому общему смысловому признаку или нескольким признакам. Способ хранения информации в виде файла (данных) широко применяется в запоминающих устройствах ЭВМ. При этом начало и конец файла отмечают специальными метками, что позволяет легко найти соответствующую информацию (например, на магнитной ленте).

**Дисплей** – устройство визуального отображения алфавитно-цифровой и графической информации.

**Интерфейс** – совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих совместимость (взаимодействие) различных функциональных блоков (устройств), образующих измерительную, вычислительную или управляющую систему в соответствии с требуемыми условиями, например, видом кода, моментом выдачи (приема) информационных и управляющих сигналов, формой представления информации (аналоговая или цифровая).

## **КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

### **1. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РЕЗАНИЕМ**

#### **1.1. Способы автоматизации рабочего цикла на станках в единичном, серийном и массовом производстве**

Автоматическое изготовление деталей на станках в серийном или массовом производстве означает автоматическое выполнение основных и вспомогательных переходов, определяющих замкнутый цикл работы станка. Основные технологические переходы определяют непосредственно процесс резания, т.е. процесс формообразования изготавливаемых деталей. Вспомогательные переходы включают работы по загрузке и выгрузке заготовок, замене режущего инструмента, выполнение контроля и управления циклом работы станка. На автоматических линиях и станках-автоматах при массовом изготовлении одной детали с постоянным комплектом режущего инструмента работа выполняется по неизменному жесткому циклу. При этом автоматизация основных и вспомогательных переходов осуществляется на базе применения элементов путевой автоматики и командоконтролеров [1].

В условиях единичного, мелко- и среднесерийного производства автоматизация рабочего цикла означает применение гибкой автоматизации при выполнении всех основных и вспомогательных переходов по изготовлению различных деталей. Решение этих задач обеспечивается путем применения станков с ЧПУ, многоцелевых станочных модулей, используемых в составе ГПС, и применения специальных систем, обеспечивающих реализацию гибкой безлюдной технологии. В состав таких систем входят: система автоматической установки и съема заготовок и спутников; система автоматической замены режущего инструмента; система автоматического управления режимами резания с учетом состояния элементов технологической системы и характера процесса резания; система автоматического контроля на рабочем месте; транспортно-складская система; система технической диагностики за состоянием оборудования; система автоматического управления оборудованием, реализуемая на основе применения ЭВМ.

Автоматизация транспортирования, установки и съема различных корпусных деталей, изготавливаемых на многоцелевых станках, входящих в состав ГПС, осуществляется благодаря применению единых спутников. Наличие у спутников одинакового комплекта основных баз обеспечивает

точную автоматическую ориентацию закрепленных на них заготовок на различных позициях технологического оборудования.

На рабочих поверхностях спутников предусматривают сетку пазов или сетку точных базовых и резьбовых отверстий. Это позволяет устанавливать и закреплять на спутнике разнообразные по форме заготовки, имеющие различные комплекты технологических баз.

Для точной установки и закрепления деталей на спутниках используют универсальную технологическую оснастку (подкладные плиты, планки, прихваты, винтовые упоры, угольники и т. д.). Такая оснастка обеспечивает технологическую гибкость, что означает многократность ее использования при установке на едином спутнике различных по конструкции и размерам корпусных деталей. В условиях серийного производства на спутники устанавливают приспособления из элементов УСП, а также специальные приспособления, изготавливаемые для определенных деталей.

Для установки спутников на многоцелевых станках используют в основном две схемы базирования: базирование по плоскости и двум отверстиям или базирование по трем плоскостям в координатный угол. Первую схему базирования применяют для спутников шириной  $B$  до 500 мм. Для спутников больших размеров применяют обычно базирование по трем плоскостям; при этом в качестве направляющей базы используют паз, расположенный вдоль оси симметрии спутника. Это позволяет значительно уменьшить влияние параметров погрешности установки, формируемых на направляющей базе [2].

Для обеспечения автоматической работы станочного модуля в течение полутора-двух смен перед станком устанавливают многоместные загрузочные устройства (накопители) для спутников (рис. 1.1). Для передачи спутников на станок из позиций неподвижного накопителя применяют схему с использованием двухпозиционного перегружателя (каретки-оператора) (рис. 1.1, *а*). Загрузочное устройство карусельного типа (рис. 1.1, *б*) осуществляет передачу и прием спутников через одну позицию, расположенную перед станком. Загрузочное устройство с подвижными позициями (рис. 1.1, *в*) обеспечивает передачу и прием спутников с двух различных позиций, расположенных вдоль оси.

Установка на спутниках различных деталей предусматривает наличие системы автоматической идентификации (распознавания) спутников. С этой целью на спутники устанавливают кодовые гребенки или другие кодовые элементы, по которым датчик на исходной позиции определяет наличие соответствующего спутника с определенной заготовкой и дает команду на вызов тре-

буемой управляющей программы и подготовку необходимого инструмента. В ГПС накопители для спутников связаны между собой гибкой транспортной системой. Автоматическая тележка-оператор, управляемая от ЭВМ, обеспечивает передачу требуемой детали со спутником на другой модуль, на склад, на моечную или на контрольно-измерительную машину (КИМ).

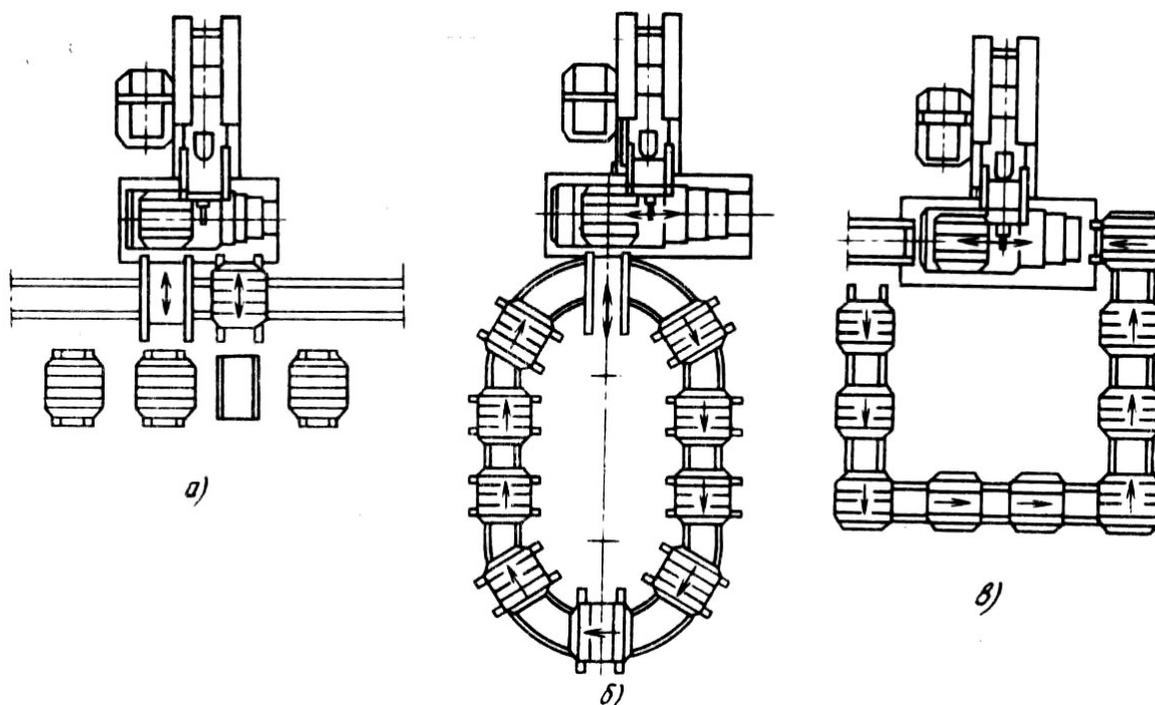


Рис. 1.1. Многоместные загрузочные устройства для спутников многоцелевых станков

В условиях крупносерийного и массового производства при изготовлении корпусных деталей на автоматических линиях из агрегатных станков с постоянным тактом выпуска также применяют спутники. Однако наличие жесткой транспортной системы, обеспечивающей неизменную последовательность прохождения станков, работающих по жесткому циклу, исключает ту технологическую гибкость, которая имеет место в ГПС [3].

Необходимость обеспечения стабильности и точности установки заготовок на станках обуславливает высокие требования к точности изготовления спутников, в частности, требования по высоте спутников в пределах 0,01 – 0,02 мм, требования к точности размеров и относительного расположения базизирующих поверхностей. На рис. 1.2. представлена схема базирования спутника в координатный угол  $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta y_4, \Delta y_5, \Delta x_6)$  и показаны требования к точности комплекта его основных баз и фактические отклонения от плоскости рабочей поверхности.

Предельные отклонения нормальных координат на установочной базе  $\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3$  зависят от точности геометрической формы базирующей поверхности

$$\Delta z_i^B = h_z^B; \quad \Delta z_i^H = h_z^H \quad \text{для } i = 1 \dots 3,$$

где  $h_z^B, h_z^H$  – верхние и нижние предельные отклонения формы поверхности установочной базы.

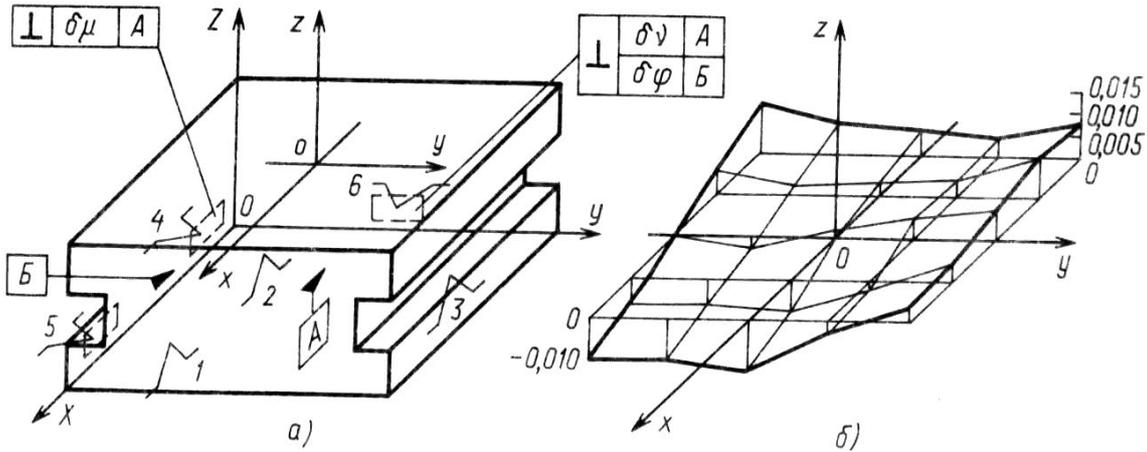


Рис. 1.2. Параметры геометрической точности базирующих поверхностей спутника: а – требования к точности расположения основных баз; б – фактические отклонения геометрической формы на рабочей поверхности (вспомогательной базе) спутника

Предельные отклонения нормальных координат направляющей базы ( $\Delta y_4, \Delta y_5$ ) зависят как от точности геометрической формы поверхности направляющей базы  $h_z^B, h_z^H$ , так и от точности ее расположения, т. е. перпендикулярности  $\delta_\mu$  направляющей базы к установочной

$$\begin{aligned} \left\| \Delta_{y_i}^B \right\| &= \left\| h_y^B \right\| + z_i \left\| \Delta^H \mu \right\|, \\ \left\| \Delta_{y_i}^H \right\| &= \left\| h_y^H \right\| + z_i \left\| \Delta^B \mu \right\|, \end{aligned}$$

где  $\Delta^B \mu, \Delta^H \mu$  – предельные условные отклонения;  $z_i$  – координаты положения опорных точек 4, 5.

В свою очередь, предельные отклонения нормальных координат опорной базы составляют

$$\begin{aligned} \left\| \Delta_{x_6}^B \right\| &= \left\| h_x^B \right\| + \left\| \Delta^H \varphi \Delta^B \nu \right\| \cdot \left\| y_6 \right\|, \\ \left\| \Delta_{x_6}^H \right\| &= \left\| h_x^H \right\| + \left\| \Delta^B \varphi \Delta^H \nu \right\| \cdot \left\| z_6 \right\|, \end{aligned}$$

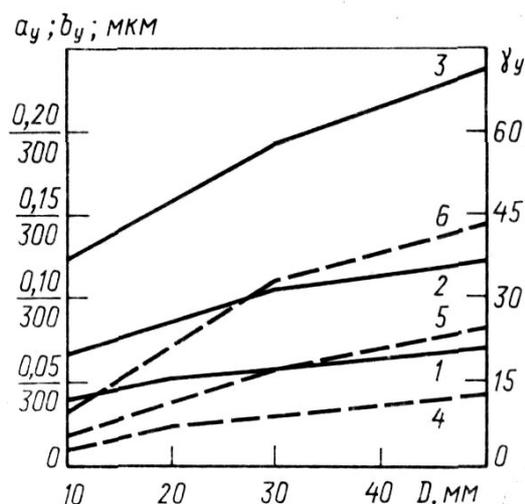
где  $h_x^B, h_x^H$  – предельные отклонения от плоскостности опорной базы;  $\Delta^B \nu, \Delta^H \nu, \Delta^B \varphi, \Delta^H \varphi$  – предельные угловые отклонения, определяющие

перпендикулярность опорной базы к установочной и направляющей базам;  
 $y_6, z_6$  – плановые координаты опорной точки.

Таким образом, зная предельные отклонения формы и отклонения от перпендикулярности базирующих поверхностей  $\Delta u, \Delta \varphi, \Delta v$ , можно рассчитать составляющие погрешности установки спутника, формируемые от различных баз.

На рис. 1.3 представлены графики предельных значений элементов  $a_y, b_y$  и  $\gamma_y$  вектора погрешности установки  $\omega_y$  при базировании спутника или детали по плоскости и двум отверстиям. Элементы  $a_y, b_y$  определяют смещение по установочной базе в направлении координатных осей, а элемент  $\gamma_y$  определяет поворот на установочной плоскости при расстоянии между штырями  $L = 300$  мм. С увеличением диаметра отверстия погрешность установки возрастает. Это объясняется увеличением зазора между штырями и отверстием.

Рис. 1.3. Составляющие вектора погрешности установки при базировании спутника и заготовки по плоскости и двум отверстиям: 1, 4 – для посадки H7/h6; 2, 5 – для посадки H7/d8; 3, 6 – для посадки H7/f7;  
 —  $a_y, b_y$ ; - - -  $\gamma_y$



Оценить влияние погрешности установки на отклонение от требуемой точности положения вспомогательной базы, определенного участка поверхности, отдельной точки или оси можно путем расчета приведенной погрешности установки. При расчете приведенной погрешности установки учитывают положение рассматриваемых геометрических элементов относительно основных баз детали. С этой целью положение вспомогательной базы или сочетания поверхностей задают в виде вектора  $k = (A, B, G, \lambda, \beta, \gamma)$ , а положение точки  $N$  – ее координатами  $x_N, y_N, z_N$ . Наличие погрешности установки  $\omega_y$  означает, что рассматриваемая поверхность или точка займут относительно базовой детали иное положение, которое определяет соответст-

вующий вектор  $k^*$ ,  $R^*$ . Таким образом, приведенная погрешность установки в общем случае представляет собой разность

$$\omega_{y.B} = k^* - k. \quad (1.1)$$

Если рассматривать приведенную погрешность установки применительно к партии деталей или к определенной совокупности реализации одного объекта, то, естественно, имеют место верхнее  $\omega_{y.B}^B$  и нижнее  $\omega_{y.B}^H$  предельные значения погрешности, разность между которыми определяет поле рассеяния  $\omega_{y.B}$  приведенной погрешности установки:

$$\omega_{y.B} = \omega_{y.B}^B - \omega_{y.B}^H.$$

Предельные значения приведенной погрешности установки рассчитывают по формулам

$$\omega_{y.II}^B = \omega_y^B + \Pi_y^B k, \quad (1.2)$$

$$\omega_{y.II}^H = \omega_y^H + \Pi_y^H k, \quad (1.3)$$

где  $\omega_y^B, \omega_y^H$  – матрица предельных отклонений погрешности установки;  $\Pi_y^B$ ,  $\Pi_y^H$  – блочные матрицы преобразования, имеющие порядок  $n = 6$ ;

$$\Pi_y^B = \left\| \begin{array}{cc} \pi^B & 0 \\ 0 & \pi^B \end{array} \right\|; \quad (1.4)$$

$$\Pi_y^H = \left\| \begin{array}{cc} \pi^H & 0 \\ 0 & \pi^H \end{array} \right\|. \quad (1.5)$$

Диагональные блоки этих матриц компонуются из угловых элементов вектора погрешности установки:

$$\pi_y^B = \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\gamma_y^H & \beta_y^B \\ \gamma_y^B & 0 & -\lambda_y^H \\ -\beta_y^H & \lambda_y^B & 0 \end{array} \right\|; \quad (1.6)$$

$$\pi_y^H = \left\| \begin{array}{ccc} 0 & -\gamma_y^B & \beta_y^H \\ \gamma_y^H & 0 & -\lambda_y^B \\ -\beta_y^B & \lambda_y^H & 0 \end{array} \right\|. \quad (1.7)$$

Если для детали известны фактические значения параметров вектора  $\omega_y$ , то отклонения координат точки  $N(\Delta x_y, \Delta y_y, \Delta z_y)$ , представляющих приведенную погрешность установки, можно рассчитать по формуле

$$\begin{pmatrix} \Delta x_y \\ \Delta y_y \\ \Delta z_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_y \\ b_y \\ c_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & -\gamma_y & \beta_y \\ \gamma_y & 0 & -\lambda_y \\ -\beta_y & \lambda_y & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}. \quad (1.8)$$

Если известны элементы вектора  $\omega_y$  погрешности установки спутника, то можно рассчитать отклонения любой поверхности оси или точки обрабатываемой детали, расположенные в пределах рабочего объема над спутником. Это делается путем определения приведенной погрешности установки  $\omega_y$ . Такие расчеты выполнены для рассматриваемого спутника, у которого рабочий объем над исполнительной поверхностью составляет  $380 \times 380 \times 380$  мм. На рис. 1.4 показаны предельные значения приведенной погрешности установки для крайних точек, расположенных в вершинах куба, ограничивающего рабочий объем. Отклонения координат представлены матрицей

$$\begin{pmatrix} \Delta^B x_y & \Delta^B y_y & \Delta^B z_y \\ \Delta^H x_y & \Delta^H y_y & \Delta^H z_y \end{pmatrix}.$$

Погрешность установки спутника зависит от погрешности базирования  $\omega'_y$  и погрешности закрепления  $\omega''_y$  и в общем случае представляет собой векторную сумму [1]

$$\omega_y = \omega'_y + \omega''_y. \quad (1.9)$$

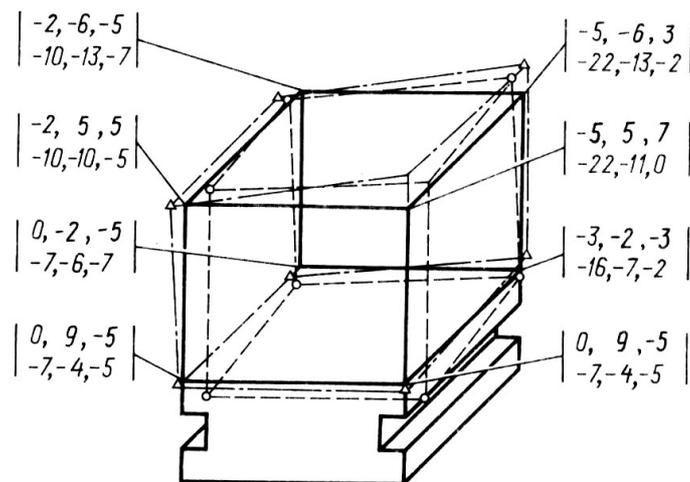


Рис. 1.4. Отклонения  $\omega_{y,B}$  в рабочем объеме спутника, обусловленные погрешностью его установки: - - - - при  $\omega_y = \omega_y^B$ ; - . - . - . при  $\omega_y = \omega_y^H$ ; ———— — номинальное положение

Каждый из слагаемых векторов имеет одинаковую структуру из трех перемещений  $a_y, b_y, c_y$  и трех относительных поворотов  $\lambda_y, \beta_y, \gamma_y$ , возникающих на соответствующих этапах формирования погрешности установки. Погрешность базирования  $\omega'_y$  определяется отклонениями геометрической точности основных базирующих поверхностей спутника (см. рис. 1.2). Погрешность закрепления  $\omega''_y$  определяется, в свою очередь, значением упругих, контактных и собственных деформаций спутников, которые возникают как в процессе закрепления на них заготовок, так и в процессе закрепления самих спутников на станках. Деформирование спутников под действием массы заготовки и сил ее закрепления приводит к искажению параметров геометрической точности его основных баз и рабочих поверхностей. В результате в шести опорных точках, определяющих схему базирования спутника, происходит формирование дополнительных отклонений нормальных координат  $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ , которые аналогично  $T = \|T_I\|$  можно записать в виде матрицы

$$U = (U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U_6).$$

Это позволяет путем расчета оценить составляющие погрешности установки  $\omega_y$ , обусловленные деформацией спутников:  $\omega_y = QU$ .

Изложенная ниже методика определения погрешности установки, возникающей в результате упругих перемещений в стыках, также основана на определении деформаций в опорных точках и расчете параметров относительно положения  $a_y, b_y, c_y, \lambda_y, \beta_y, \gamma_y$  с помощью матрицы налагаемых связей.

Если известна действующая на спутник суммарная нагрузка  $P = (P_X, P_Y, P_Z, M_X, M_Y, M_Z)$ , то нормальные силы в опорных точках  $N = (N_1, N_2, \dots, N_6)$  можно определить путем умножения матриц ( $N = C \times P$ ), или в развернутой форме:

$$\begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ N_3 \\ N_4 \\ N_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \dots & c_{16} \\ c_{21} & c_{22} & \dots & c_{26} \\ & & & \\ & & & \\ c_{61} & c_{62} & \dots & c_{66} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} P_X \\ P_Y \\ P_Z \\ M_X \\ M_Y \\ M_Z \end{pmatrix},$$

где  $C$  – операторная матрица нормальных сил.

Элементы матрицы  $C = \|C_{ik}\|$  представляют собой функции координат опорных точек и коэффициентов трения в стыках. Их можно определить из условия статического равновесия детали

$$\sum_{i=1}^{i=k} M(x, y, z) = 0; \quad \sum_{i=1}^{i=n} P(x, y, z) = 0,$$

и они имеют определенные выражения для каждого из вариантов базирования, т. е. каждая строка матрицы  $C$  представляет собой оператор перехода от вектора общей нагрузки  $P$  к нормальной силе  $N_i$ , возникающей в соответствующей опорной точке.

Зная площади  $S_i$  опорных элементов, определяем среднее давление, а затем упругие перемещения  $\rho$  в опорах.

$$\begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \sigma_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{S_1} & & & & & \\ & \frac{1}{S_2} & & & & \\ & & \frac{1}{S_6} & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{pmatrix} \begin{pmatrix} N_1 \\ N_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ N_6 \end{pmatrix},$$

Для этого могут быть использованы эмпирические зависимости, приведенные в работах [4, 5], в частности, для плоских стыков

$$\rho_i = c\sigma^m,$$

где  $\rho_i$  – контактное перемещение, мкм;  $\sigma$  – среднее давление, Па;  $c$  – коэффициент, учитывающий геометрию поверхности и свойства материалов;  $m$  – показатель степени.

Упругие перемещения в опорах  $\rho = (\rho_1, \dots, \rho_6)$  представляют собой дополнительные отклонения нормальных координат. Поэтому погрешность установки, обусловленная деформированием при закреплении,

$$\omega_y'' = Q\rho,$$

где  $Q$  – матрица налагаемых связей.

Таким образом, отклонения нормальных координат  $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$  в опорных точках спутника в общем случае необходимо рассматривать как сумму

$$T = h + U + \rho, \quad (1.10)$$

где  $h = (h_1, h_2, \dots, h_6)$ ;  $U = (U_1, U_2, \dots, U_6)$ ;  $\rho = (\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_6)$  – соответственно отклонения, обусловленные погрешностью геометрической формы баз, деформациями спутника и контактными деформациями в стыках.  $C$

учетом (1.10) формула для расчета погрешности установки спутника принимает вид

$$\omega_y = Q(h + Q + \rho). \quad (1.11)$$

В большинстве случаев, когда в комплекте базирующих поверхностей имеется установочная база, силы закрепления детали или спутника передаются через опорные элементы установочной базы (точки  $i = 1, 2, 3$ ), которые имеют большую площадь контакта и обладают более высокой жесткостью. В соответствии с этим возникают меньшие контактные деформации. Базирующие поверхности других баз (направляющей, опорной или двойной опорной), обеспечивающие ориентацию детали при установке, в свою очередь не должны воспринимать больших нагрузок.

Для возможности выполнения обработки корпуса с пяти сторон за одну установку на многоцелевых станках применяют специальные поворотные головки, устанавливаемые на шпиндель станка (рис. 1.5). Горизонтальное расположение фрезы и наличие поворотного стола 3 позволяют обрабатывать заготовку 4 с четырех сторон (рис. 1.5, а). При повороте головки 1 в плоскости  $NN$  на угол  $\lambda = 180^\circ$  фреза располагается вертикально и можно выполнять обработку со стороны горизонтальной плоскости (рис. 1.5, б).

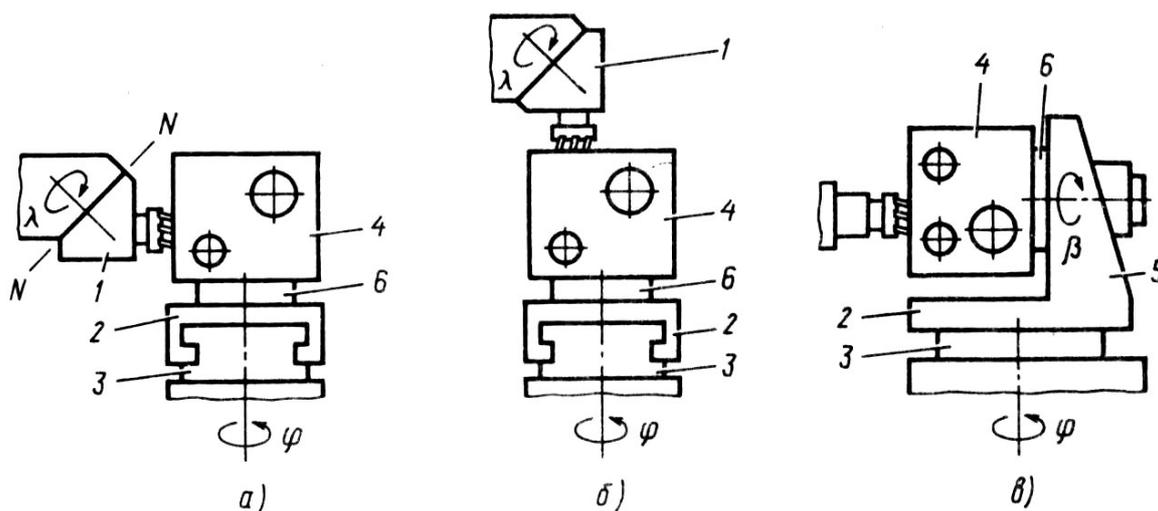


Рис. 1.5. Обработка заготовки на спутнике с пяти сторон: а, б – с использованием поворотной головки для инструмента, установленного на шпинделе станка; в – с использованием поворотного приспособления для заготовки на спутнике; 1 – поворотная головка для инструментов; 2 – спутник; 3 – поворотный стол станка; 4 – заготовка; 5 – приспособление на спутнике для поворота заготовки; 6 – подкладная плита

Для возможности выполнения фрезерования напроход заготовку устанавливают на спутник с использованием подкладной плиты б (адаптера), ко-

торая исключает возможность касания инструментом рабочей поверхности спутника.

Обработку заготовки корпусной детали с пяти сторон при одной установке возможно осуществить также при наличии на спутнике специального поворотного приспособления (рис. 1.5, в). Поворот стола со спутником вокруг вертикальной оси на угол  $\varphi$  и поворот заготовки с помощью приспособления на угол  $\beta$  позволяют при неизменном горизонтальном расположении фрезы обработать заготовку с пяти сторон.

Обработка большинства поверхностей с одной установки уменьшает влияние погрешности установки заготовки и спутника на точность обработки и обеспечивает более высокую точность относительного расположения получаемых поверхностей. При этом существенно сокращаются затраты времени на переустановку и ориентацию заготовки на спутнике. Все это особенно эффективно при изготовлении тяжелых и крупных деталей с большим числом обрабатываемых поверхностей.

Автоматическая замена инструмента на многоцелевых станках обеспечивается благодаря применению стандартизованных инструментальных оправок. Они имеют общие основные базы для установки оправок в шпиндель или в револьверную головку станка, а также одинаковые исполнительные поверхности для закрепления различного режущего инструмента. На многоцелевых станках для обработки корпусных деталей инструментальные оправки имеют конические хвостовики, и их базирование осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1.6, а:  $T = (\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta y_3, \Delta y_4, \Delta x_5, \Delta z_6)$ . На многоцелевых станках для изготовления деталей типа тел вращения инструментальная оправка базируется по плоской торцовой поверхности и цилиндрическому хвостовику (рис. 1.6, б):  $T = (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta y_5, \Delta y_6)$ . Настраечные размеры  $x_p, y_p, z_p$ , определяющие положение вершины режущей кромки инструмента в осевом  $OZ$  и радиальном  $OX$  направлениях, отсчитываются от нулевой точки  $I$  (ноль инструмента).

Режущий инструмент хранится в инструментальных магазинах. Автоматический выбор требуемого инструмента, устанавливаемого в шпиндель, осуществляется благодаря его кодированию. Возможны два варианта: кодирование инструментальных оправок и кодирование позиций инструментального магазина. Оправки кодируют с помощью различного сочетания кодовых кулачков или набора кодовых колец. При вращении инструментального магазина датчик, расположенный на позиции установки и съема, фиксирует прохождение требуемого инструмента и дает команду на останов магазина.

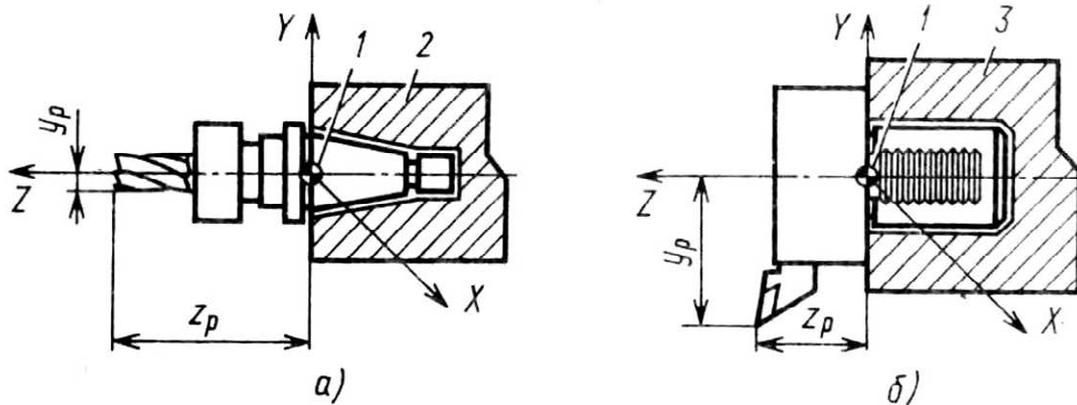


Рис. 1.6. Установка режущего инструмента на многоцелевых ставках: *a* – базирование оправки с фрезой в шпинделе на станке фрезерно-расточного типа; *б* – базирование резцового блока в револьверной головке многоцелевого станка токарного типа; 1 – ноль инструмента; 2 – шпиндель; 3 – револьверная головка

Передача инструмента из магазина в рабочую позицию шпинделя станка осуществляется манипулятором (рис. 1.7), оснащенным двумя схватами. Манипулятор захватывает инструмент, необходимый для последующего технологического перехода, и перемещается в исходную позицию (рис. 1.7, *a*). При этом второй хват находится в готовности съема инструмента, расположенного в шпинделе. Для вывода инструмента из шпинделя манипулятор перемещается вдоль оси (рис. 1.7, *б*), затем поворачивается на угол  $180^\circ$  и обратным перемещением вдоль оси устанавливает в шпиндель новый инструмент (рис. 1.7, *в*). Далее отработавший инструмент устанавливается в инструментальный магазин (рис. 1.7, *г*).

Таким образом, часть вспомогательных переходов по замене режущего инструмента выполняется параллельно с основным временем резания. Продолжительность автоматической замены режущего инструмента составляет 3 – 5 с.

В инструментальных магазинах многоцелевых станков может быть расположено 30–80 различных режущих инструментов. Наиболее распространенными являются инструментальные магазины барабанного типа. Инструментальные магазины цепного типа имеют большую вместимость, число инструментальных гнезд у них составляет 120 – 180 шт. Применяют также дисковые инструментальные магазины с числом инструментальных гнезд 30 – 52 шт. Рядом со станком на специальной поворотной стойке размещаются четыре дисковых магазина (рис. 1.8), которые могут быть поочередно автоматически установлены на станок. Такая сегментная инструментальная система обеспечивает большую вместимость инструмента, комплектация которой в дисках зависит от технологии обработки определенной детали.

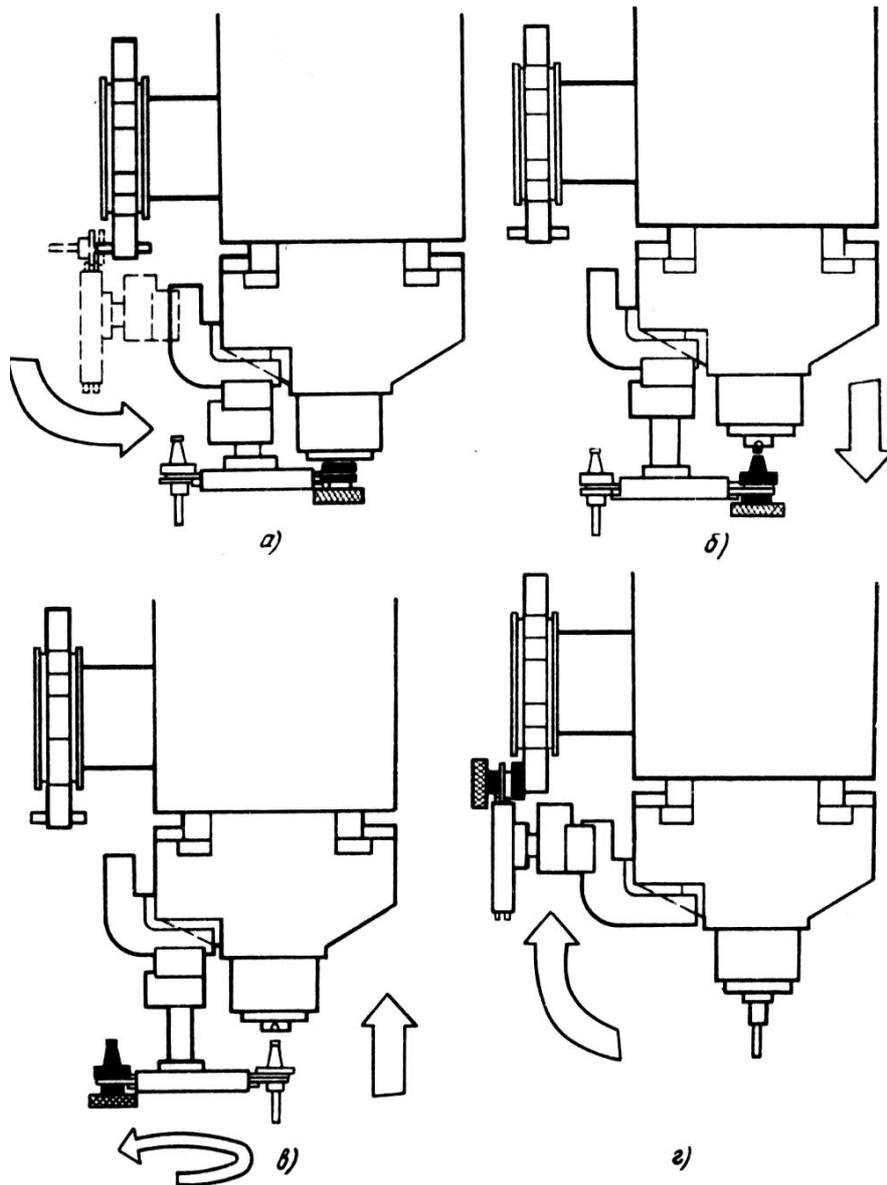


Рис. 1.7. Схема передачи инструмента из инструментального магазина в шпиндель станка: *а* – неполное положение; *б* – вывод инструмента из шпинделя; *в* – установка в шпиндель нового инструмента; *г* – установка инструмента в магазин

Конструкция отдельных многоцелевых станков с наклонным расположением инструментального магазина позволяет осуществить автоматическую замену инструмента без специальных встроенных манипуляторов (рис. 1.9). При перемещении шпинделя вверх отработавший инструмент устанавливается в гнездо магазина (рис. 1.9, *а*). Шпиндель отводится вдоль оси, освобождаясь от инструмента (рис. 1.9, *б*), после чего барабан поворачивается и на исходную позицию подается новый инструмент. Установка инструмента происходит при обратном перемещении шпинделя (рис. 1.9, *в*), после чего шпиндельная бабка опускается в рабочее положение (рис. 1.9, *г*).

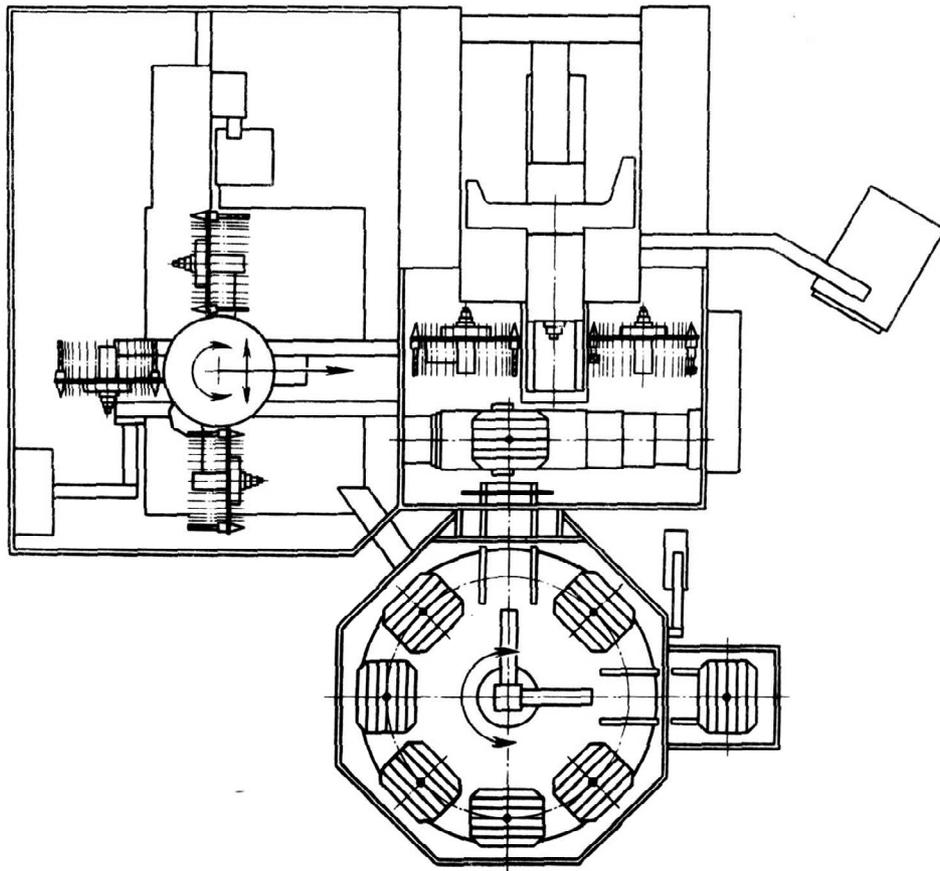


Рис. 1.8. Многоцелевой станок с системой дисковых инструментальных магазинов

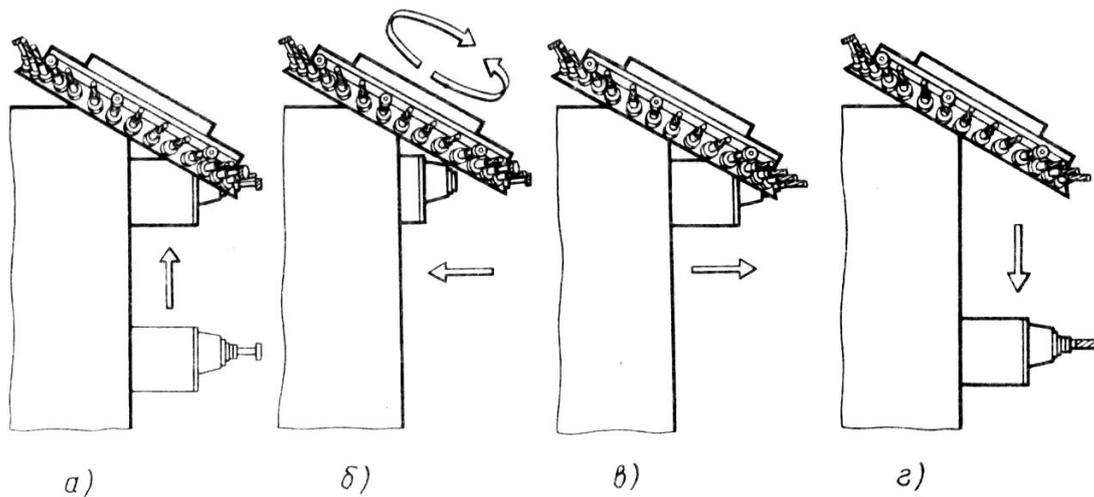


Рис. 1.9. Автоматическая замена инструмента без применения манипулятора

Двухпозиционный манипулятор перемещается по балке, обеспечивая доставку инструмента из инструментального магазина в револьверную го-

ловку. В инструментальный магазин, выполненный в виде восьмигранной поворотной призмы, устанавливается до 80 различных инструментов. При необходимости увеличения его вместимости параллельно устанавливают несколько таких же призм.

В роботизированных технологических комплексах токарного типа для замены режущего инструмента используют промышленные роботы, с помощью которых осуществляется установка и сьем обрабатываемых заготовок. Применение робота для манипулирования с потоком заготовок и инструмента становится возможным благодаря использованию сменных схватов.

Устройство, обеспечивающее автоматическую замену многошпиндельных сверлильных головок, для ГПМ, применяемых в серийном производстве, представлено на рис. 1.10.

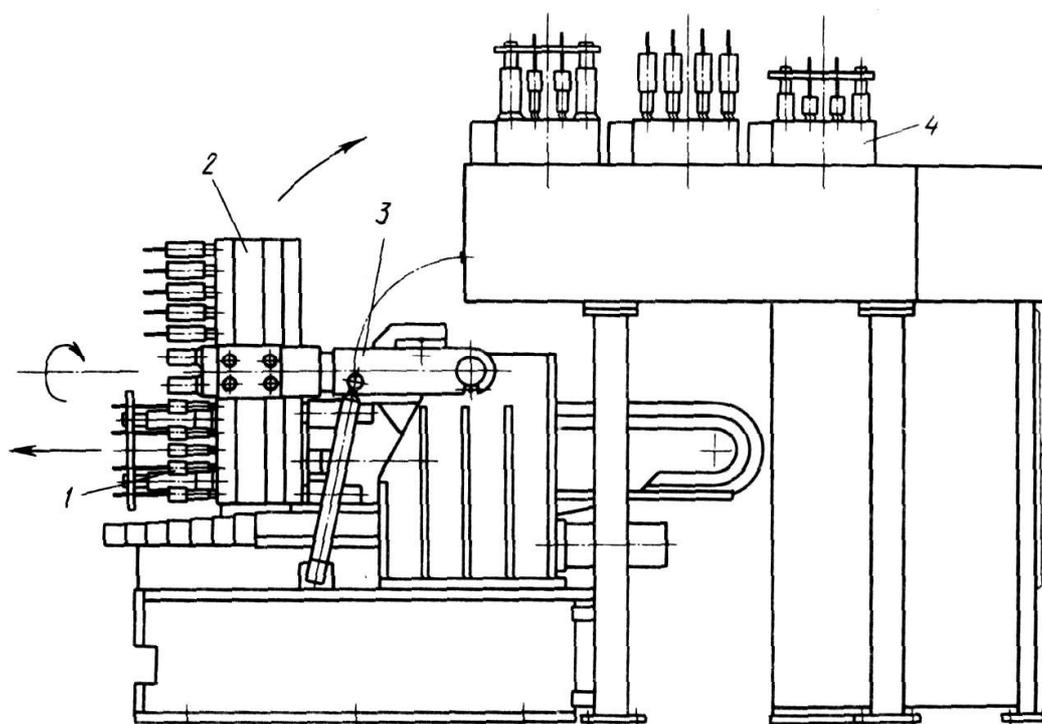


Рис. 1.10. Многоцелевой станок с устройством автоматической замены многошпиндельных головок

Хранятся головки в автоматизированных горизонтальных магазинах 4. Головка из магазина в исходную позицию 2 передается манипулятором 3, после чего в результате поворота вокруг горизонтальной оси головка с исходной позиции 2 поступает на рабочую позицию 1.

При установке режущего инструмента в шпиндель (см. рис. 1.6) происходит совмещение системы координат ( $OXYZ$ ) и основных баз инструментальной оправки с системой координат исполнительных поверхностей шпинделя

$(OXYZ)_{III}$ . Погрешность установки инструмента определяется при этом как вектор

$$\omega_{y.II} = (a_{y.II}, b_{y.II}, c_{y.II}, \lambda_{y.II}, \beta_{y.II}, \gamma_{y.II}),$$

параметры которого характеризуют положение одной системы координат относительно другой:  $(OXYZ)_{II} \Rightarrow (OXYZ)_{III}$ .

$$7 \Downarrow \omega_{y.II}$$

Значения составляющих вектора  $\omega_{y.II}$  можно рассчитывать, используя выражение ( $\omega_y = Q \cdot T$ ). Для оценки влияния погрешности установки инструмента  $\omega_{y.II}$  на точность обработки необходимо знать отклонения вершины режущей кромки инструмента в направлении соответствующих координатных осей  $\Delta x_{II}, \Delta y_{II}, \Delta z_{II}$ . Эти отклонения могут быть рассчитаны как приведенная погрешность установки (1.2), (1.3). Если известны предельные возможные значения составляющих вектора  $\omega_{y.II}$

$$\omega_{y.II}^B = (a_{y.II}^B, b_{y.II}^B, c_{y.II}^B, \lambda_{y.II}^B, \beta_{y.II}^B, \gamma_{y.II}^B);$$

$$\omega_{y.II}^H = (a_{y.II}^H, b_{y.II}^H, c_{y.II}^H, \lambda_{y.II}^H, \beta_{y.II}^H, \gamma_{y.II}^H),$$

то отклонения вершины режущей кромки инструмента соответственно составят:

– верхние

$$\begin{pmatrix} \Delta^B x_{II} \\ \Delta^B y_{II} \\ \Delta^B z_{II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{y.II}^B \\ b_{y.II}^B \\ c_{y.II}^B \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & \beta_{y.II}^B \\ 0 & 0 & -\lambda_{y.II}^B \\ -\beta_{y.II}^H & \lambda_{y.II}^H & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix};$$

– нижние

$$\begin{pmatrix} \Delta^H x_{II} \\ \Delta^H y_{II} \\ \Delta^H z_{II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{y.II}^H \\ b_{y.II}^H \\ c_{y.II}^H \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & \beta_{y.II}^H \\ 0 & 0 & -\lambda_{y.II}^B \\ -\beta_{y.II}^B & \lambda_{y.II}^H & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{pmatrix}.$$

На отклонения режущей кромки инструмента существенное влияние оказывает также точность размерной настройки инструмента по координатам  $\Delta x_P, \Delta y_P, \Delta z_P$ , которая выполняется на специальном приборе вне станка.

Таким образом, суммарные отклонения вершины режущей кромки инструмента, возникающие при его замене, составляют:

$$\begin{pmatrix} \Delta x_{II} \\ \Delta y_{II} \\ \Delta z_{II} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Delta x_P \\ \Delta y_P \\ \Delta z_P \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{y.II} \\ b_{y.II} \\ c_{y.II} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & z_P \\ -z_P & 0 \\ y_P & -x_P \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \lambda_{y.II} \\ \beta_{y.II} \end{pmatrix}. \quad (1.12)$$

Применение многоцелевых станков для выполнения практически полной обработки заготовки с одной установки ее на спутнике является особенно эффективным при изготовлении крупногабаритных деталей, например, корпусов насосов, компрессоров, турбин, продолжительность переустановки которых занимает десятки минут. Эффективному решению этой технологической задачи способствует разработка системы сменных инструментальных головок, обеспечивающих выполнение различных технологических переходов с использованием широкой номенклатуры режущего инструмента.

На рис. 1.11 показаны различные технологические переходы, выполняемые на многоцелевом станке карусельного типа по обработке плоских и фасонных цилиндрических поверхностей, центральных и других многочисленных отверстий в крупногабаритной корпусной детали.

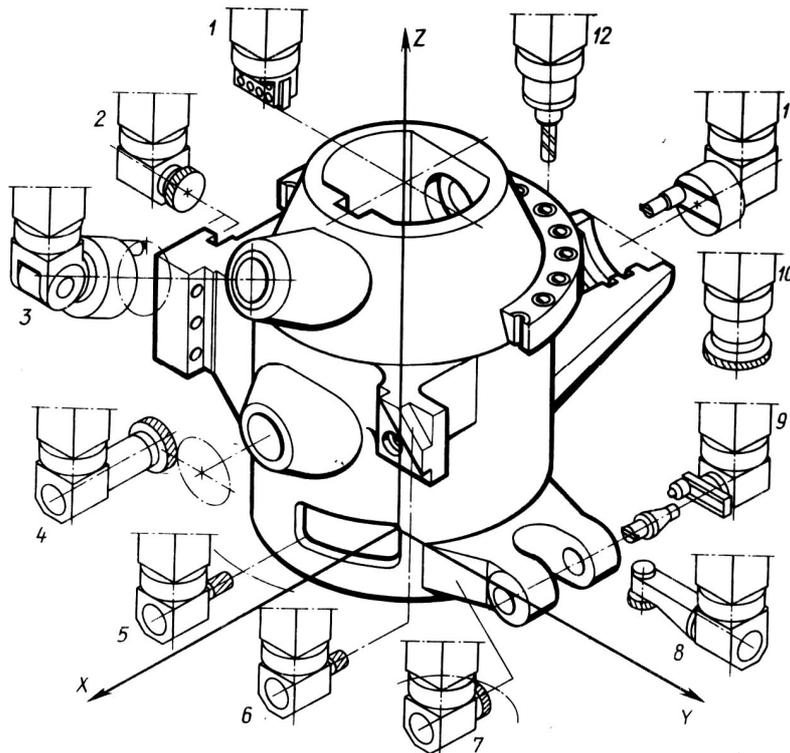


Рис. 1.11. Схема технологических переходов, выполняемых на многоцелевом станке карусельного типа при обработке крупногабаритной заготовки корпусной детали: 1 – карусельное точение по цилиндрическим и плоским горизонтальным поверхностям; 2, 3 – фрезерование привалочных поверхностей; 4 – фрезерование торцов; 5 – контурное фрезерование бокового окна; 6 – фрезерование уступов; 7, 8 – фрезерование поверхностей приливов; 9 – растачивание отверстий, обработка торцов; 10 – фрезерование плоскости разъема; 11 – прорезка канавок резцом; 12 – сверление и зенкерование малых отверстий, нарезание резьбы

На многоцелевых станках карусельного типа в качестве спутников используют круглые сменные столы, которые при выполнении карусельных работ вращаются вокруг центральной оси, а при выполнении различных других технологических переходов остаются неподвижными или совершают координатные установочные перемещения на требуемый угол.

Применяемые при этом сменные инструментальные головки обеспечивают автоматическую установку и передачу крутящего момента для соответствующего режущего инструмента (резцов, устанавливаемых на вращающихся оправках, сверл, зенкеров, разверток, фрез, метчиков). Требуемое относительное расположение оси инструмента (горизонтальное, вертикальное или наклонное) определяется при этом конструкцией инструментальных головок. Такие головки позволяют при необходимости получить также требуемое консольное расположение фрезы или расточного резца для обработки труднодоступных поверхностей заготовки. В инструментальных головках могут быть установлены малогабаритные шлифовальные шпиндели с собственным приводом для выполнения шлифования чашечными или дисковыми кругами малых размеров.

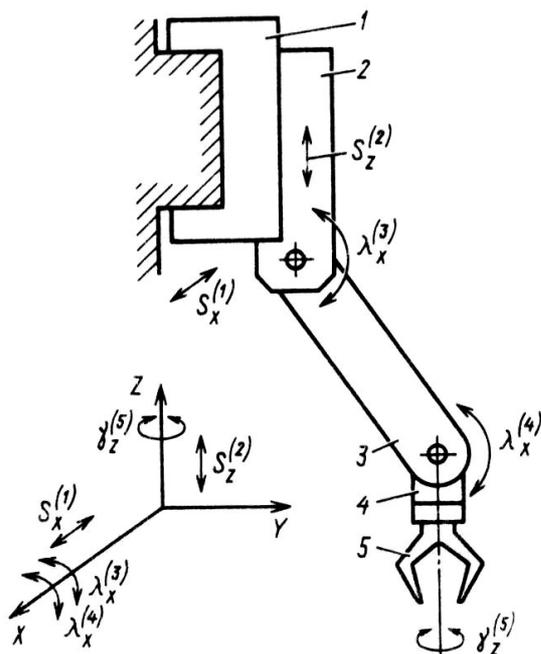


Рис. 1.12. Подвесной промышленный робот, используемый в робототехнических комплексах: 1 – продольная каретка; 2 – поперечная каретка; 3 – тяга; 4 – поворотная рука; 5 – схват

Все инструментальные головки имеют одинаковый комплект основных баз и располагаются в инструментальном магазине.

При использовании промышленных роботов в РТК для установки и съема заготовок, спутников или для замены режущего инструмента возникает необходимость оценки точности позиционирования конечных звеньев роботов. На рис. 1.12 представлен промышленный подвесной робот, используемый в РТК при изготовлении валов. Расчет позиционных отклонений конечных звеньев основан на выявлении позиционных связей, представляющих особый вид размерных связей, формируемых в промышленных роботах и манипуляторах. Составляющими

звеньями этих связей являются векторы  $\omega_{II}$ , определяющие точность позиционирования каждого из подвижных звеньев робота:

$$\omega_{II}^{(i)} = (a_{II}^{(i)}, b_{II}^{(i)}, c_{II}^{(i)}, \lambda_{II}^{(i)}, \beta_{II}^{(i)}, \gamma_{II}^{(i)}).$$

Расчет позиционных связей на стадии проектирования роботов позволяет правильно выбрать требуемый привод соответствующего звена. В свою очередь, выявление позиционных связей действующих роботов позволяет управлять ими с целью повышения точности позиционирования на конечном звене:

$$\omega_{II\Sigma} = (a_{II\Sigma}, b_{II\Sigma}, c_{II\Sigma}, \lambda_{II\Sigma}, \beta_{II\Sigma}, \gamma_{II\Sigma}).$$

Каждое из подвижных звеньев робота имеет определенную схему базирования, описываемую соответствующей матрицей, в которой нормальные координаты шестой опорной точки соответствуют управляемой переменной координате соответствующего звена:

$$\begin{aligned} T_1 &= (\Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3, \Delta z_4, \Delta z_5, \Delta x_6), & \Delta x_6 &\Rightarrow S_x; \\ T_2 &= (\Delta y_1, \Delta y_2, \Delta y_3, \Delta x_4, \Delta x_5, \Delta z_6), & \Delta z_6 &\Rightarrow S_z; \\ &..... \\ &..... \\ T_5 &= (\Delta z_1, \Delta z_2, \Delta z_3, \Delta x_4, \Delta y_5, \Delta x_6), & \Delta x_6 &\Rightarrow S_y. \end{aligned}$$

Система ЧПУ робота обеспечивает задание и отработку перемещений по соответствующей из управляемых координат  $X, Z, \lambda^{(3)}, \lambda^{(4)}, \gamma$ . В процессе перемещения каждого из подвижных звеньев происходит формирование отклонений в положении их основных баз относительно вспомогательных баз предыдущего базового звена. Отклонение при перемещении каждого из звеньев робота 1, 2, ..., 5 определяет вектор позиционных отклонений  $\omega_{II}^{(i)}$ , в котором точность только одного из шести параметров определяется точностью работы соответствующего привода:

$$\begin{aligned} - \text{ для звена 1 } & \omega_{II}^{(1)} = ([a_{II}], b_{II}, c_{II}, \lambda_{II}, \beta_{II}, \gamma_{II}); \\ - \text{ для звена 2 } & \omega_{II}^{(2)} = (a_{II}, b_{II}, [c_{II}], \lambda_{II}, \beta_{II}, \gamma_{II}); \\ & ..... ; \\ & ..... \\ - \text{ для звена 5 } & \omega_{II}^{(5)} = (a_{II}, b_{II}, c_{II}, \lambda_{II}, \beta_{II}, [\gamma_{II}]). \end{aligned}$$

Оставшиеся пять составляющих в каждом из векторов позиционирования являются неуправляемыми, и их точность зависит от точности изготовления звеньев робота.

Каждое из рассматриваемых позиционных отклонений вектора  $\omega_{II}^{(i)}$  влияет на значение позиционных отклонений конечного звена робота. Это влияние характеризует вектор

$$E = (E_{x_i}, E_{y_i}, E_{z_i}, E_{\lambda_i}, E_{\beta_i}, E_{\gamma_i}),$$

составляющие которого определяют положение конечного звена робота относительно исполнительных поверхностей соответствующего подвижного звена.

Позиционные отклонения на конечном звене представляют собой сумму приведенных позиционных отклонений, формируемых на каждом из подвижных звеньев, и в общем случае их рассчитывают по формуле

$$\omega_{II\Sigma} = \sum_{i=1}^{i=k} W_i \omega_{II}^{(i)}, \quad (1.13)$$

где  $W_i$  – матрица приведения составляющих позиционных отклонений к конечному звену;  $k$  – число подвижных звеньев робота.

В развернутой форме записи это выражение имеет вид

$$\begin{pmatrix} a_{II\Sigma} \\ b_{II\Sigma} \\ c_{II\Sigma} \\ \dots \\ \lambda_{II\Sigma} \\ \beta_{II\Sigma} \\ \gamma_{II\Sigma} \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^{i=k} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & E_{z_i} & -E_{y_i} \\ 0 & 1 & -E_{z_i} & 0 & E_{x_i} \\ 0 & 1 & E_{y_i} & -E_{x_i} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 1 & E_{y_i} & -E_{x_i} & 0 \\ 0 & -E_{\gamma_i} & 1 & E_{x_i} & E_{\beta_i} \\ E_{\beta_i} & -E_{\lambda_i} & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_{II}^{(i)} \\ b_{II}^{(i)} \\ c_{II}^{(i)} \\ \dots \\ \lambda_{II}^{(i)} \\ \beta_{II}^{(i)} \\ \gamma_{II}^{(i)} \end{pmatrix},$$

где  $E_{x_i}, E_{y_i}, E_{z_i}, E_{\lambda_i}, E_{\beta_i}, E_{\gamma_i}$  – линейные и угловые коэффициенты вектора  $E_i$ , определяющие приведение позиционных отклонений  $\omega_{II}^{(i)}$  каждого из подвижных звеньев к конечному звену.

Зная позиционные отклонения, формируемые на каждом из подвижных звеньев промышленного робота, можно оценить как на стадии проектирования, так и при выборе оборудования для ГПС или РТК значения возможных позиционных отклонений на конечном звене, т.е. на схвате робота. Если в результате расчетов окажется, что отклонения, возникающие на конечном звене, не отвечают решению поставленной технологической задачи, то возникает задача применения более точных приводов, повыше-

ния точности при изготовлении конструкции робота или применения адаптивных систем, обеспечивающих повышение точности позиционирования на замыкающем звене.

## **1.2. Разработка технологии и управляющих программ для изготовления деталей на станках с ЧПУ. Основы программного обеспечения на станках с ЧПУ**

Станки с числовым программным управлением представляют собой быстро программируемые технологические системы, которые особенно эффективны для автоматизации мелко и среднесерийного производства. Основной особенностью станков с ЧПУ является их технологическая гибкость, благодаря которой осуществляется быстрый переход на изготовление новых деталей. Технологическая гибкость станков с ЧПУ определяется следующими факторами.

1. Непосредственное задание размеров изготавливаемых деталей как исходной геометрической информации в виде массива цифровых данных.

2. Цифровое задание необходимой технологической информации, определяющей на каждом из переходов частоту вращения шпинделя, скорость рабочей и ускоренной подачи, глубину резания и др.

3. Автоматическое управление всеми вспомогательными переходами и командами по автоматической замене инструмента, включение и выключение СОЖ, замена и закрепление заготовок и др.

4. Выполнение предусматриваемой коррекции размерной настройки режущих инструментов и режимов резания.

Эти основные принципы числового управления имеют различную реализацию в соответствии с типом станочного оборудования, требованиями к точности и уровню автоматизации [6]. В соответствии с решаемыми технологическими задачами и видом привода различают системы позиционного, контурного и комбинированного управления (рис. 1.13) [7, 8].

В позиционных системах управление осуществляется путем задания положения отдельных точек или отрезков прямых линий. Управление по точкам перемещения инструмента от одной программируемой точки к другой осуществляется на ускоренных ходах без выполнения обработки в процессе позиционирования. Такие системы применяют на станках сверльно-расточной группы, а также на автоматах для точечной сварки. Технологические переходы, например, сверление, зенкерование или растачивание отверстий, выполняются при этом после позиционирования в задан-

ной точке (рис. 1.13, *а*). При управлении перемещениями по отрезкам прямых режущий инструмент перемещается с установленной рабочей подачей, осуществляя обработку на заданном отрезке (рис. 1.13, *б*). Отрезки прямых задаются путем программирования координат конечных точек.

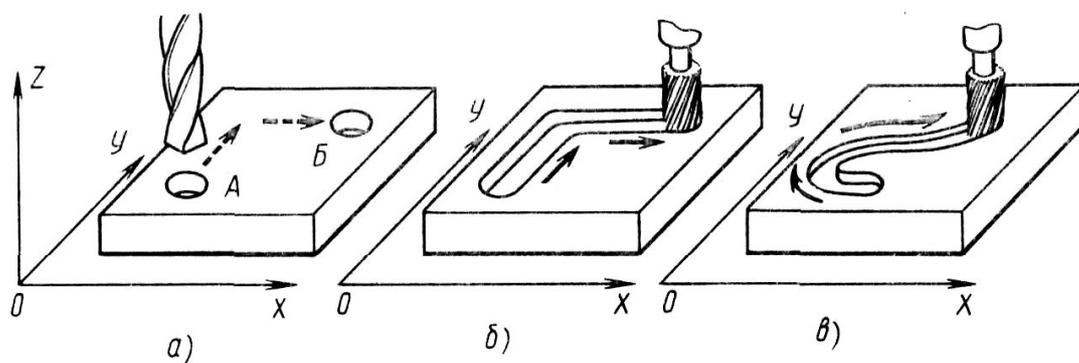


Рис. 1.13. Примеры решения технологических задач в системах позиционного контурного управления: *а* – сверление отверстий путем программирования отдельных точек; *б* – фрезерование прямолинейных пазов путем программирования отрезков прямых; *в* – фрезерование криволинейной поверхности путем программирования контура

При этом перемещения выполняются поочередно в направлении одной из координатных осей с контролем длины перемещения и скорости. В таких системах обычно не предусматривается функциональное согласование движений по нескольким координатным направлениям. Эти системы применяют на фрезерных, токарных и шлифовальных станках.

В системах контурного управления формообразование деталей происходит в результате одновременного согласования движений в направлении нескольких координатных осей. При этом обеспечивается перемещение режущего инструмента по требуемой траектории с заданной результирующей скоростью (рис. 1.13, *в*). Таким образом, обеспечивается непрерывное управление перемещениями по двум, трем и более управляемым координатам. Программу управления приводами подач при контурной или объемной обработке рассчитывают в комплексе исходя из требуемой формы детали и необходимой результирующей скорости движения. Контурные системы ЧПУ являются наиболее сложными, их применяют в основном на токарных и фрезерных станках.

Комбинированные системы управления могут выполнять функции как позиционных, так и контурных систем ЧПУ. Они значительно расширяют технологические возможности оборудования, и их применяют на многоцелевых станках фрезерно-расточного типа.

Для управления движением формообразования необходимо однозначно определить все точки рабочего пространства станка. С этой целью используют координатную систему станка, в которой ориентируют изготавливаемую деталь и составляют управляющую программу.

Координатные оси системы обозначают по правилу правой руки (рис. 1.14). Ось  $Z$  совмещается с осью шпинделя, ей соответствует средний палец правой руки. Ось  $X$ , которой соответствует крайний палец, всегда располагается горизонтально. Направление координатных осей указывает на положительное направление перемещения режущего инструмента относительно неподвижной детали.

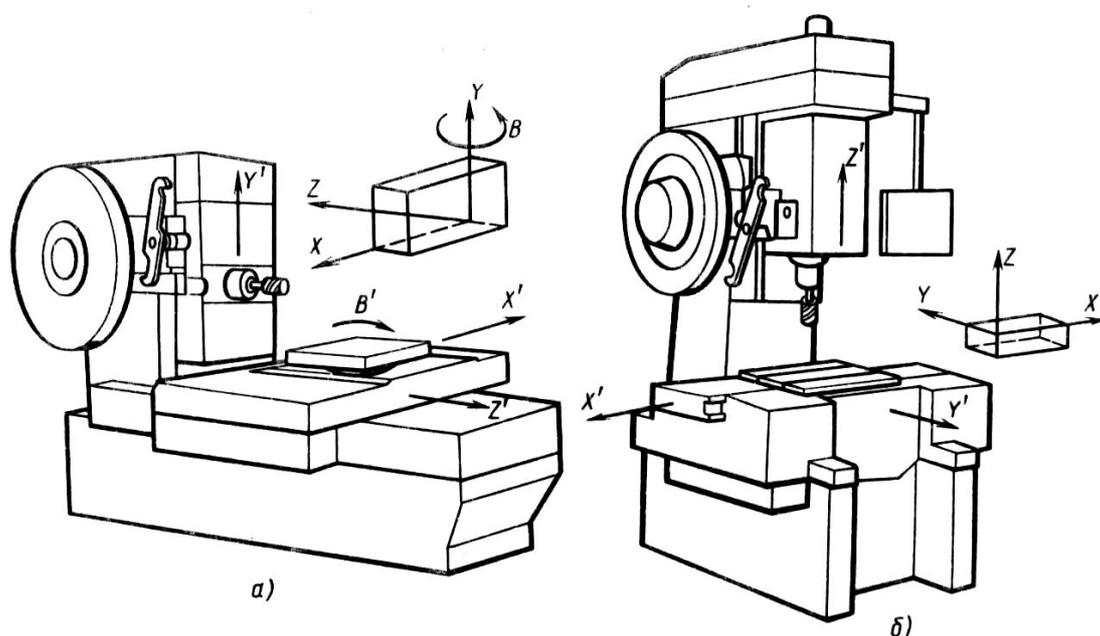


Рис. 1.14. Расположение координатных систем на станках с ЧПУ горизонтальной (а) и вертикальной (б) компоновки

При перемещении детали относительно неподвижного инструмента ее положительные перемещения направлены в обратном направлении, и их обозначают индексом соответствующей оси со штрихом:  $X'$ ,  $Y'$ ,  $Z'$ . За положительное направление вращения  $A$ ,  $B$ ,  $C$  вокруг соответствующей оси  $X$ ,  $Y$  или  $Z$  принято вращение по часовой стрелке при взгляде вдоль положительного направления оси.

Положение координатной системы станка определяется нулевой точкой  $M$  – ноль станка (рис. 1.15).

Точное положение ноля станка, как и направление осей координат, указывают в руководстве ЧПУ станка. Нулевая точка  $D$  детали, пред-

ставляющая начало отсчета ее координатной системы, а также нулевая точка  $N$  инструмента, относительно которой выставляется инструмент на размер, определенным образом располагаются в системе координат станка.

Исходная точка  $R$ , определяющая начало отсчета при перемещении рабочих органов по программе, также привязана относительно нулевой точки станка.

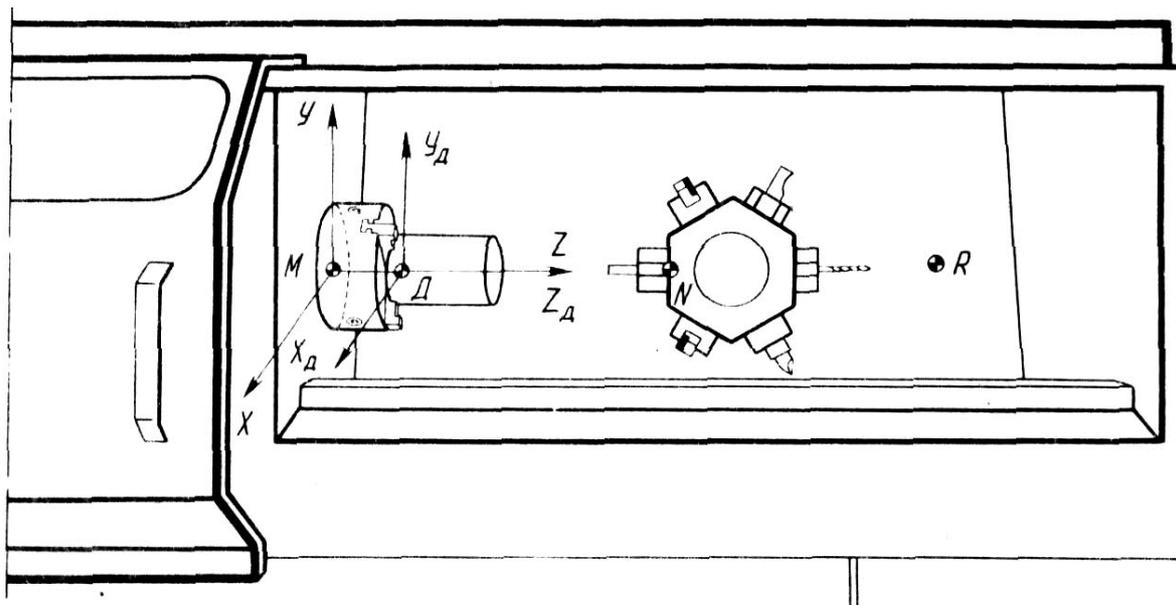


Рис. 1.15. Расположение координатной системы и характерных точек в рабочей зоне станка с ЧПУ

Числовое программное управление металлорежущими станками обеспечивает гибкую автоматизацию процесса обработки заготовки на станке в соответствии с заданной управляющей программой, составленной в алфавитно-цифровом коде. В качестве программносителя используют перфоленту, кассету магнитной ленты, дискету. Для записи управляющей программы на восьмидорожковую перфоленту в системах ЧПУ применяют единый метод кодирования информации, основанный на применении международного семиразрядного кода ISO-7bit. Значение буквенных символов латинского алфавита, используемых в ISO-7bit, дано в табл. 1.1.

Управляющая программа содержит информацию о геометрических параметрах изготавливаемой детали и технологических командах, определяющих процесс изготовления детали на станке.

Таблица 1.1

Буквенные символы, используемые в ISO-7bit  
для кодирования информации

Символ	Содержание
A	Поворот вокруг оси $X$
B	Поворот вокруг оси $Y$
C	Поворот вокруг оси $Z$
D	Коррекция инструмента
E	Вторая функция подачи
F	Подача
G	Подготовительная функция
H	Свободен для функционального кодирования
I	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси $X$
J	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси $Y$
K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно оси $Z$
L	Не определен
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
O	Свободен для функционального кодирования
P	Третичное перемещение параллельно оси $X$
Q	Третичное перемещение параллельно оси $Y$
R	Перемещение на быстром ходу по оси $Z$ или третичное перемещение параллельно оси $Z$
S	Частота вращения шпинделя
T	Инструмент
U	Вторичное перемещение параллельно оси $X$
V	Вторичное перемещение параллельно оси $Y$
W	Вторичное перемещение параллельно оси $Z$
X	Перемещение параллельно оси $X$
Y	Перемещение параллельно оси $Y$
Z	Перемещение параллельно оси $Z$

Управляющая программа состоит из последовательно записанных кадров, каждый из которых включает определенное число программных слов, записанных в фиксированном порядке. Каждое слово, в свою очередь, состоит из адресной буквы, определяющей код соответствующей команды, и последующей группы цифр. Таким образом, все кадры программы имеют единый формат

$$N3.G2.X + 33.Y + 33.Z + 32.B32.F2.S2.T2:M2.ПС,$$

где  $N3$  – номер кадра, определяемый трехзначным числом, например, №001, №002;

G2 – подготовительные команды, кодируемые двузначным числом, например, G00; G01 и так далее до G99; они определяют режим работы ЧПУ;

X + 33 – перемещение вдоль оси X со знаками «+» или «-», указывающими направление движения, определяется шестизначным числом, обозначающим координату перемещения, мм; при этом первые три цифры до запятой определяют значение координаты в целых долях, а цифры после запятой – значение координаты в десятичных долях, X + 154.125;

Y + 33 – перемещение вдоль оси Y;

Z + 32 – перемещение вдоль оси Z; при этом значение координаты после запятой определяется двумя цифрами, например, Z – 068.34;

B32 – поворот вокруг оси Y с пятизначным числом его координаты; первые три цифры указывают градусы, а последующие две – его десятые и сотые доли, например, B 180.00;

F2 – скорость подачи, величина которой кодируется двузначным числом, например, F28;

S2 – частота вращения шпинделя, кодируемая двузначным числом, например, S54;

T2 – код инструмента, номер которого определяется двузначным числом, например, T12;

M2 – вспомогательные функции, кодируемые двузначным числом от M00 до M99, например, M03 означает включение вращения шпинделя по часовой стрелке;

ПС – символ окончания кадра, обозначающий перевод строки.

Начало программы обозначается символом «%». При составлении программы некоторые слова в отдельных кадрах могут быть опущены, однако последовательность записи слов сохраняется. В табл. 1.1 даны значения адресных букв латинского алфавита от A до Z, используемых для программирования в коде ISO-7bit. Подготовительные команды от G00 до G99 определяют в целом режим работы системы (характер позиционирования), выбор требуемых постоянных циклов, переход к соответствующей системе отсчета (абсолютной или в приращениях) (табл. 1.2).

В руководстве ЧПУ для определенного станка формат кадра [7, 8, 9] конкретизируется и даются указания по программированию с учетом конструкции станка, комплекта управляемых координат и применяемой системы ЧПУ. Линейные размеры задают в миллиметрах и их десятичных долях. Угловые размеры задают в градусах или радианах. Скорость подачи может иметь единицу измерения мм/мин или мм<sup>-1</sup>. В первом случае ее кодируют подготовительной функцией G94, а во втором – функцией G95.

Скорость главного движения может быть задана в мм/мин; при этом используют подготовительную функцию G96 (если частота вращения шпинделя измеряется в мин<sup>-1</sup>, то используют подготовительную функцию G97).

Таблица 1.2

Основные подготовительные команды

Кодирование	Содержание
G00	Позиционирование. Перемещение в заданную точку на быстром ходу
G01	Перемещение в точку по прямой с заданной подачей. Линейная интерполяция
G02, G03	Перемещение по дуге с заданной подачей по часовой и против часовой стрелки. Круговая интерполяция
G04	Пауза в обработке на время, заданное на пульте или в кадре
G09	Торможение. Плавное уменьшение скорости подачи до фиксированного значения в данной точке
G17, G18, G19	Выбор плоскости обработки соответственно XY, ZX, YZ
G45-G52	Коррекция по диаметру или радиусу инструмента
G54, G55, G56	Смещение нулевой точки детали в направлении осей X, Y, Z
G60	Точное позиционирование
G80	Отмена постоянного цикла
G81-G89	Постоянные циклы
G90, G91	Отсчет перемещений в абсолютной системе или в приращениях

При кодировании числовых значений параметров скорости подачи и главного движения применяют методы прямого обозначения, геометрической и арифметической прогрессии или символического соответствия. Наиболее удобным является прямое обозначение, когда, например, подачу 25 мм/мин кодируют F25. Значения основных вспомогательных команд, определяемых адресом M00 – M99, приведены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Основные вспомогательные команды

Кодирование	Содержание
M00	Программируемый стоп
M02	Конец программы
M03, M04	Вращение шпинделя соответственно по или против часовой стрелки
M05	Останов шпинделя
M06	Замена инструмента
M08, M09	Включение и выключение охлаждения
M10, M11	Зажим инструмента, снятие зажима
M60	Замена заготовки
M68	Зажим заготовки
M78	Зажим стола
M79	Отжим стола

Управляющую программу на перфоленту записывают путем перфорирования на ней кодовых отверстий (рис. 1.16). Лента шириной 25,4 мм имеет восемь дорожек с шагом перфорации 2,5 мм. Нумерация дорожек с 1 по 8 начинается от базовой кромки. На первых семи дорожках (1 – 7) располагаются кодовые отверстия. Восьмая дорожка служит для контроля четности числа отверстия в каждой строке. Транспортная дорожка 5 с отверстиями малого диаметра служит для перемещения ленты в осевом направлении.

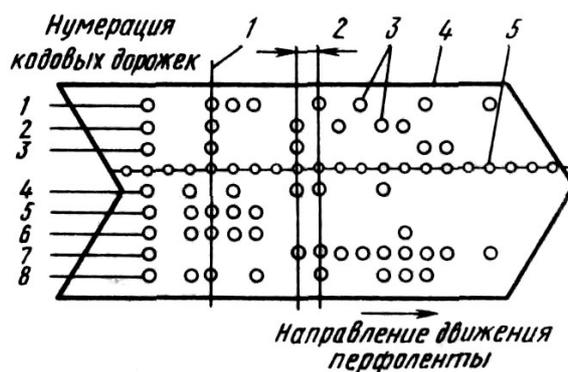


Рис. 1.16. Расположение отверстий на перфоленте:

- 1 – строка; 2 – шаг перфорации; 3 – кодовые отверстия; 4 – базовая кромка;  
5 – отверстия ведущей (транспортной) дорожки

Каждая строка на перфоленте выражает только одну кодовую комбинацию (одну цифру, букву или знак) (рис. 1.17).

При этом число отверстий (символов) в строке должно быть четным, что обеспечивается пробивкой отверстий в восьмой дорожке. При кодировании букв от *A* до *Z* происходит дополнительная пробивка отверстий по седьмой дорожке.

Цифры в двоичном коде 8-4-2-1 кодируют на первых четырех дорожках (рис. 1.18). Считывание программы осуществляется по кадрам, каждый из которых заканчивается символом ПС (LF).

При программировании необходимо исходить из того, что деталь остается условно неподвижной, а инструмент перемещается относительно нее в пределах координатной системы. Управляющая программа записывается в системе координат, непосредственно связанной с обрабатываемой деталью (координатная система детали  $X_D, Y_D, Z_D$ ). Началом отсчета этой системы является ноль детали  $D$ . Координатная система детали  $X_D, Y_D, Z_D$  определенным образом располагается относительно координатной системы станка  $XYZ$  (см. рис. 1.15); при этом ноль детали связывается с нулем станка координирующими размерами  $A, B, G$ .

Дорожки								Обозначение	Наименование
8	7	6	5	4	3	2	1		
		•	•		•			0	Цифра 0
•		•	•		•		•	1	Цифра 1
•		•	•		•	•		2	Цифра 2
		•	•		•	•	•	3	Цифра 3
•		•	•		•	•		4	Цифра 4
		•	•		•	•	•	5	Цифра 5
		•	•		•	•	•	6	Цифра 6
•		•	•		•	•	•	7	Цифра 7
•		•	•	•				8	Цифра 8
		•	•	•			•	9	Цифра 9
	•				•		•	A	Угловой размер относительно оси X
	•				•	•		B	Угловой размер относительно оси Y
•	•				•	•	•	C	Угловой размер относительно оси Z
	•				•	•		D	Угловой размер относительно специальной оси, или третья подача
•	•				•	•	•	E	Угловой размер относительно специальной оси, или вторая подача
•	•				•	•	•	F	Подача
	•				•	•	•	G	Подготовительная операция (режим работы ЧПУ)
	•			•				H	Команда постоянно не закреплена (резерв)
•	•				•		•	I	Не закреплена
•	•				•		•	J	Не закреплена
	•				•		•	K	Не закреплена
•	•				•		•	L	Команда постоянно не закреплена (резерв)
	•				•		•	M	Вспомогательная операция
	•				•		•	N	Порядковый номер
•	•				•		•	O	Не используется
	•				•			P	Размер третичного движения, параллельного оси X
•	•				•		•	Q	Размер третичного движения, параллельного оси Y
•	•				•		•	R	Размер быстрого перемещения по оси Z или размер третичного движения, параллельного оси Z
	•				•		•	S	Частота вращения шпинделя
•	•				•			T	Смена инструмента (его номер)
	•				•		•	U	Размер вторичного движения, параллельного оси X
	•				•		•	V	Размер вторичного движения, параллельного оси Y
•	•				•		•	W	Размер вторичного движения, параллельного оси Z
•	•				•			X	Размер первичного движения по оси X
	•				•		•	Y	Размер первичного движения по оси Y
	•				•		•	Z	Размер первичного движения по оси Z
		•	•				•	•	Установка исходную точку (восстановление информации, например, установка обратной перематки до заданного положения на ленте)
		•	•				•	+	Плюс
		•	•				•	-	Минус
		•	•				•	tab	Таблица (горизонтальная вдоль строки ГТ)
		•	•				•	/	Произвольный пропуск блока, фразы
•	•				•		•	%	Начало программы
		•	•				•	LF	Конец блока, фразы или кадра (перевод строки ПС)
		•	•				•	(	Не для управления
		•	•				•	)	Для управления
•	•				•		•	Del	Строка не читается (забой ЗБ)

Рис. 1.17. Кодирование информации на перфоленте при использовании кода ISO-7bit

Лента      Цифры  
 8    4   2   1

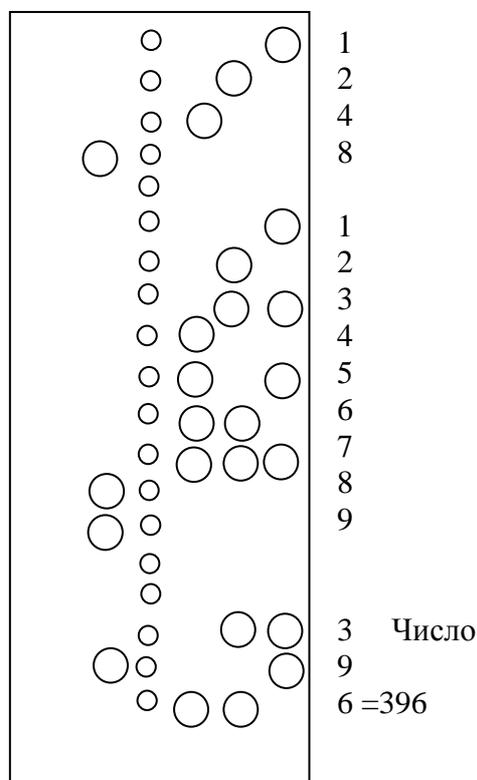


Рис. 1.18. Задание на перфоленте цифр в двоичном коде

В качестве координатной системы детали может быть использована координатная система ее технологических баз или другая удобная система координат, построенная на плоскостях симметрии детали или на пересечении ее сторон. При составлении программы размеры детали могут быть заданы в абсолютных значениях (в координатах) или в приращениях. Для задания размеров в абсолютных значениях наиболее удобным является простановка размеров на чертеже детали по координатному методу. Задание размеров координатным методом предусматривает наличие в чертеже начала отсчета. Эта точка выполняет функцию нулевой точки координатной системы детали (ноля детали). Размерные линии располагают параллельно координатным осям, и все они исходят из нулевой точки (рис. 1.19). Для задания размеров в приращениях более удобным является простановка размеров на чертеже по цепному методу. При цепном методе каждый задаваемый размер исходит из ранее образмеренной позиции.

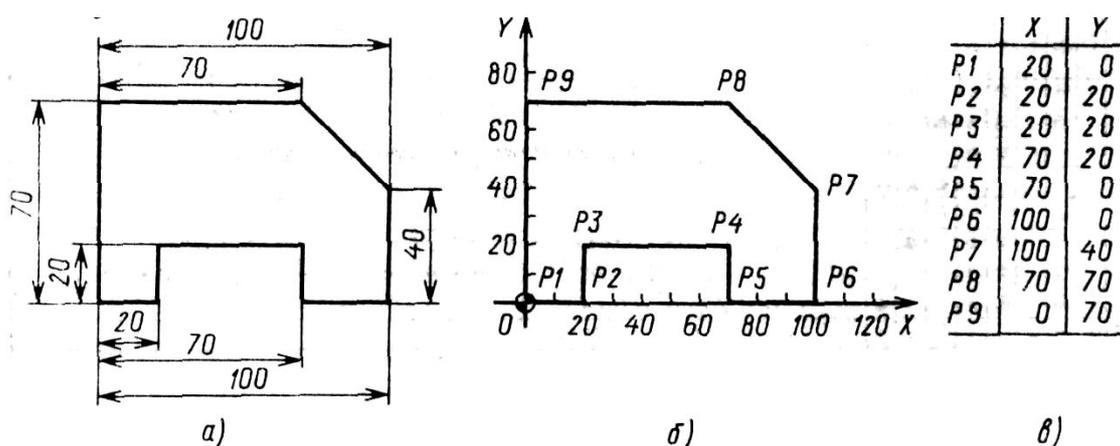


Рис. 1.19. Задания размеров при программировании в абсолютных значениях (в координатах): а – простановка размеров на детали координатным методом; б – определение координат программируемых точек P1 – P9; в – задаваемые значения координат для программируемых точек

При программировании в приращениях размеры, проставленные по цепному методу, необходимо представить как приращения от предыдущей образмеренной точки в выбранной системе координат детали. С этой целью удобно использовать «малую» скользящую систему координат  $O_i X_i Y_i$  (рис. 1.20), которую последовательно смещают от одной образмеренной точки к другой. Координаты каждой последующей точки  $N(x_i, y_i)$  в этой скользящей системе и представляют собой приращение размеров, используемых при программировании.

При составлении программы необходимо задавать средние размеры детали. Это объясняется тем, что отклонения, возникающие в процессе обработки, с равной вероятностью могут быть направлены как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения размера

При несимметричном расположении допусков относительно номиналов средние значения размеров необходимо рассчитывать по формулам (1.14), (1.15). Среднее значение координатного размера, образуемого несколькими цепными звеньями  $B_i$ ,

$$A_{cp} = \sum_{i=1}^{i=k} \left( B_i + \frac{\Delta_i^b - \Delta_i^h}{2} \right), \quad (1.14)$$

где  $B_i$  – номинальные размеры цепных звеньев;  $\Delta_i^b, \Delta_i^h$  – предельные отклонения размеров цепных звеньев;  $k$  – число цепных звеньев, определяющих значение координатного звена.

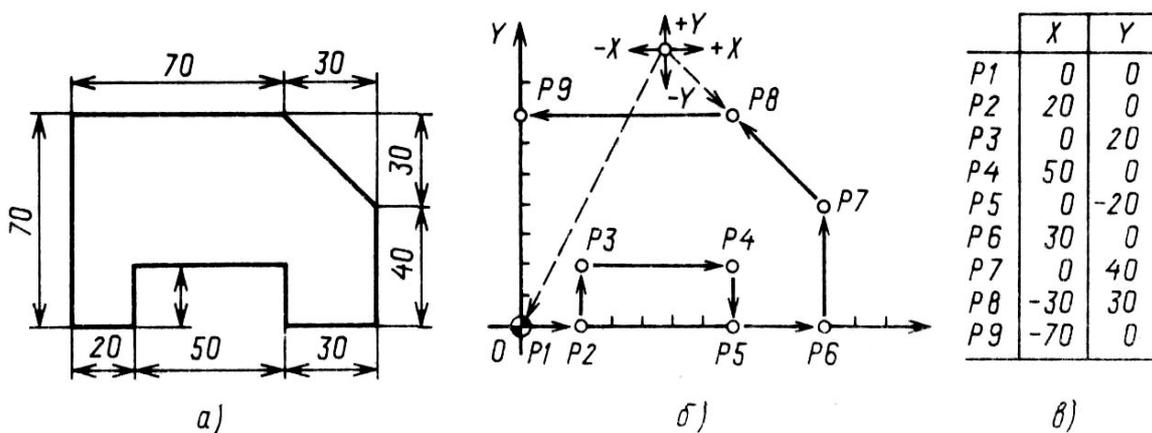


Рис. 1.20. Задания размеров при программировании в приращениях: а – простановка размеров детали цепным методом; б – определение приращений размеров в программируемых точках P1 – P9; в – задаваемые значения приращений для программируемых точек

Среднее значение цепного звена, образованного двумя координатными размерами  $A_i, A_{i+1}$ ,

$$B_{cp} = (A_{i+1} - A_i) + 0,5[(\Delta_{i+1}^B - \Delta_{i+1}^H) - (\Delta_i^B - \Delta_i^H)], \quad (1.15)$$

где  $A_i, A_{i+1}$  – номинальные размеры двух координатных звеньев;  $\Delta_i^B, \Delta_i^H, \Delta_{i+1}^B, \Delta_{i+1}^H$  – предельные отклонения размеров двух координатных звеньев.

Многие системы управления позволяют реализовать обработку при программировании как в координатах, так и в приращениях. Однако в большинстве случаев программирование в координатах имеет преимущество: ошибка в одном размере (в одной точке) не влияет на остальные размеры, кроме того, при этом достигается большая наглядность при программировании. Программирование в приращениях также имеет преимущество в том случае, если отдельные участки контура детали многократно повторяются и соответствующие части программы без смещения координат могут аналогично многократно повторяться.

На упрощение процесса программирования существенное влияние оказывает правильный выбор нулевой точки. Например, при выборе начала отсчета в точке  $P1$  (см. рис. 1.19, б) значения программируемых координат полностью совпадают с поставленными размерами (см. рис. 1.19, а, в). Однако если за начало отсчета выбрать точку  $P2$  (см. рис. 1.19, б), то большинство программируемых координат необходимо пересчитывать.

Для симметричных деталей программирование существенно упрощается, если систему координат детали расположить по осям симметрии с центральным расположением нулевой точки. При этом многие системы управления позволяют представить зеркальное отражение геометрии детали по осям.

### **Разработка управляющих программ для многоцелевых станков**

Технологическая подготовка обработки корпусных деталей на станках с ЧПУ и многоцелевых станках существенно отличается от подготовки обработки на обычных универсальных станках. Она включает решение ряда технологических задач, направленных на разработку управляющей программы и получение необходимой технологической оснастки, обеспечивающих правильную настройку станка на обработку детали. Рассмотрим вопросы технологической подготовки на примере обработки корпусной детали (рис. 1.21) на автоматизированном участке, состоящем из двух многоцелевых станков 243ВМФ2 и 6904ВМФ2, соединенных гибким транспортом.

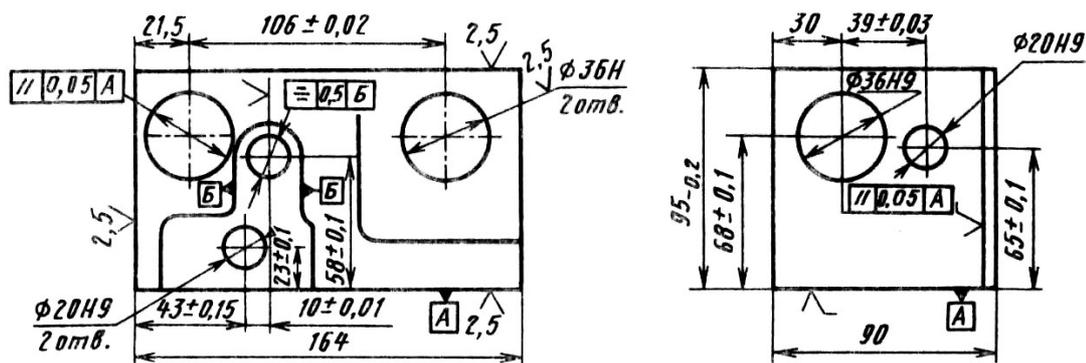


Рис. 1.21. Эскиз корпусной детали, предназначенной для обработки на автоматизированном участке

Первый многоцелевой станок – вертикальной компоновки, второй имеет горизонтальное расположение шпинделя и поворотный стол. Все это позволяет обрабатывать деталь с разных сторон. Деталь обрабатывается на спутниках. Деталь на спутнике закрепляет рабочий на участке установки и выверки. После этого деталь со спутником автоматически транспортируется к требуемому станку. Спутник базируется на станке в координатный угол, ориентация и закрепление спутника осуществляется автоматическим приспособлением, установленным на столе станка.

Исходными для разработки управляющей программы и необходимой наладки станков являются чертежи детали и заготовки, разработанная технология на деталь, представленная в виде маршрута, и технологические данные применяемого оборудования.

Технология изготовления корпусной детали предусматривает первоначальную обработку плоскости *A* и двух отверстий диаметром 10H7 с целью получения технологических баз, затем последующую обработку от них всех остальных поверхностей заготовки. Плоскость *A* и два базовых отверстия диаметром 10H7 обрабатывают на первом станке 243ВМФ2, а затем после переустановки заготовки обрабатывают остальные поверхности на втором станке 6904ВМФ2. Определив задачи выполнения каждой операции и выбрав технологические базы, разрабатывают схему установки заготовки на станке. На первой операции заготовка базируется по трем плоскостям, при этом выставка ее на спутнике осуществляется по разметке с применением регулируемых опор. На второй операции заготовка базируется по плоскости и двум отверстиям. При этом ее устанавливают на подкладную плиту (адаптер), которая в свою очередь закрепляется на спутнике. Такая схема установки позволяет выполнять обработку с четырех сторон. Для каждой из обрабатываемой

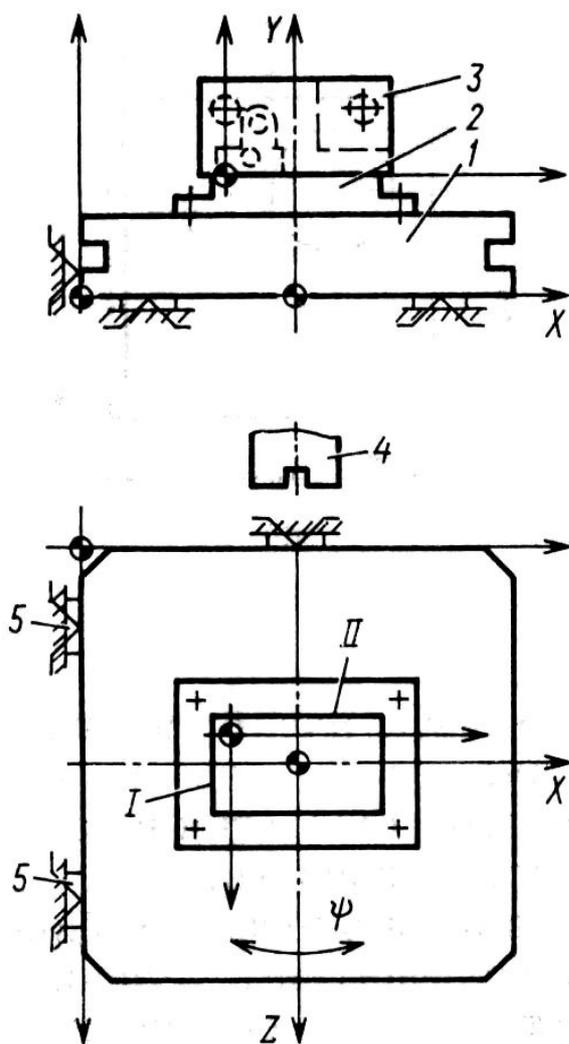


Рис. 1.22. Установка заготовки на спутнике при обработке на многоцелевом станке 6904ВМФ2: 1 – спутник; 2 – подкладная плита; 3 – заготовка; 4 – шпиндель; 5 – опорные элементы приспособления; I, II – позиции для последовательной обработки заготовки со стороны I и II

кости симметрии детали  $XOY$  и  $YOZ$  (рис. 1.22).

Такое положение начала отсчета означает наличие как положительных, так и отрицательных координат отверстий, что допустимо для системы ЧПУ с плавающим нолем.

Для фрезерования поверхности задают координаты положения оси фрезы, соответствующие началу и концу рабочего хода, учитывая врезание и перебег фрезы. На рис. 1.23 представлены планы обработки детали с двух сторон на станке 6904ВМФ2.

сторон на основе чертежа разрабатывают геометрический план обработки и определяют последовательность выполнения технологических переходов.

Каждому отверстию на плане обработки присваивают номер в соответствии с последовательностью его обработки, следовательно, отверстия одного размера обычно имеют последовательные номера.

В соответствии с принятой схемой базирования для каждой установки детали выбирают систему начала отсчета (ноль детали). Относительно этой координатной системы производят пересчет всех размеров, определяющих положение обрабатываемых поверхностей заготовки.

В результате составляют таблицу координат положения отверстий для каждого плана обработки. При обработке заготовки на втором станке в качестве координатных плоскостей начала отсчета приняты плоскость  $A$  установочной базы  $XOZ$  и перпендикулярные к ней две плос-

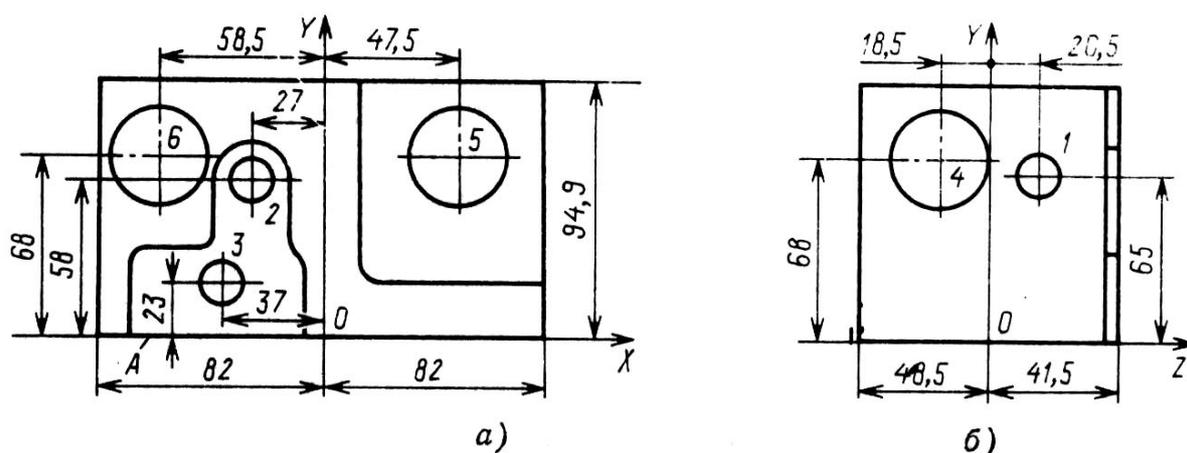


Рис. 1.23. План обработки заготовки; *a* – со стороны II; *б* – со стороны I

В соответствии с намеченными переходами выбирают необходимый режущий инструмент и определяют режимы резания. В результате выполнения этого этапа составляют операционную карту механической обработки резанием, в которой отражается последовательность выполнения технологических переходов по каждой стороне детали, состав применяемого инструмента и технологической оснастки, режимы резания и соответствующие затраты основного и вспомогательного времени на каждом переходе.

Используя операционную карту механической обработки и данные по станку с рекомендациями по созданию формообразующих и вспомогательных движений, составляют для каждой операции расчетно-технологическую карту. В этой карте показывают траекторию относительного перемещения режущего инструмента, указывают координаты опорных точек относительного положения детали и инструмента, положение нулевой плоскости, радиус инструмента, приводят данные об относительном расположении припуска на обрабатываемых поверхностях заготовки.

Для составления управляющей программы разработанный технологический процесс изготовления детали на станке кодируют с помощью международного кода ISO-7bit. При этом используют специальные таблицы шифра режущего инструмента, таблицы кодов подготовительных и вспомогательных технологических команд, таблицы кодов подачи и частоты вращения шпинделя, коды стандартных циклов. Управляющая программа формируется из ряда последовательных кадров, формат которых представлен выше.

Кодирование процесса обработки отражают в технологической программной карте (бланк-программе) [8, 10]. В ней представлена технологическая программная карта для обработки корпусной детали (см. рис. 1.21)

на станке 6904ВМФ2. Технологическая программная карта отражает в кодовой записи последовательность и содержание подготовительных команд и выполняемых технологических переходов, каждый из которых представлен несколькими кадрами управляющей программы.

С технологической программной карты кодированную информацию переносят на восьмидорожковую перфоленту. Это делают с помощью устройства «Брест-1» для подготовки управляющей программы или на специальных программаторах. С помощью алфавитно-цифровой клавиатуры оператор вводит закодированную технологическую информацию, получая при этом на перфоленте управляющую программу и бланк ее распечатки, используемый для контроля.

Получение управляющей программы еще не достаточно для настройки станка. Поэтому, помимо технологической программной карты для наладчика, составляют карту наладки станка, в которой указывают относительное положение приспособления на столе станка и показывают размерную связь координатных систем детали, приспособления и станка. В карте наладки указывают также измерительные базы и последовательность выполнения настройки станка, обеспечивающие согласование нулей. Кроме этого, в карте приводят номенклатуру применяемого режущего инструмента с указанием требуемых размеров точной установки его в осевом и радиальном направлениях.

Обычные системы ЧПУ с программносителем в виде перфоленты обеспечивают возможность считывания, запуска и прерывания работы заданной программы, которую составляют вне станка. При этом режущий инструмент и необходимые приспособления заранее определены и указаны в соответствующих картах наладки. Таким образом, изменение заданной программы, кроме внесения определенной коррекции в размеры или в режимы, практически исключается.

При использовании компьютерных систем ЧПУ типа CNC технологические возможности программного оборудования и его гибкость значительно расширяются. С помощью компактных программносителей (дискет или магнитофонных кассет) оператор быстро вводит одну или несколько управляющих программ в память ЭВМ. Управляющая программа может быть составлена и отредактирована оператором непосредственно у станка и введена в систему с помощью клавиатуры.

Создание ЧПУ на базе микроЭВМ обеспечивает получение свободно программируемых систем числового управления станками. Структурная схема компьютерной системы ЧПУ в общем виде представлена на рис. 1.24.

Компонентами системы являются следующие элементы: мини-ЭВМ 7, включающая блок памяти 2 и процессор 3; пульт 4 управления системой с модулем 5 считывания и вывода управляющей программы; модуль 6 логических элементов управления и согласования координатных приводов; модуль 7 тиристорного управления следящими приводами; привод 8 движения по управляемым координатам; измерительная система 9 обратной связи и диагностики состояния оборудования.

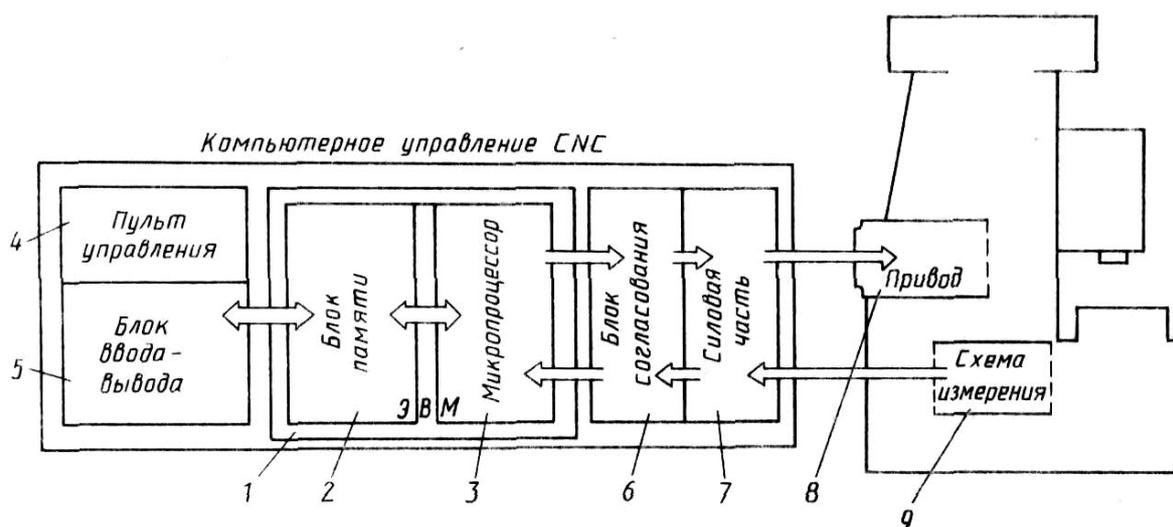


Рис. 1.24. Структурная схема компьютерной системы ЧПУ станка

Использование в системе компьютеров современной концепции с достаточно обширной внутренней памятью позволяет записывать и продолжительное время хранить требуемый набор управляющих программ, необходимое программно-математическое обеспечение (ПМО), а также данные по оборудованию.

Пульт управления обеспечивает широкие сервисные возможности при работе системы в различных режимах, в том числе ручной ввод и редактирование программы с использованием графического дисплея и средств индикации, диалоговое общение с системой, а также расширенную индикацию при многофункциональной системе контроля и диагностики состояния оборудования.

Модуль 5 ввода и вывода осуществляет также подключение периферийных устройств на этапе отладки эксплуатации оборудования для считывания и передачи информации с различных программносителей, а так-

же для присоединения внешнего запоминающего устройства (ВЗУ), обеспечивающего дополнительное наращивание памяти ЭВМ.

Таким образом, с помощью пульта можно просмотреть по кадрам на дисплее или на устройствах индикации всю программу или ее часть и в случае необходимости отредактировать, т. е. внести в отдельные кадры изменения и коррекцию. При этом оператор имеет возможность работать с архивом программ, расположенных как во внутренней, так и во внешней памяти, а также просматривать и задавать параметры оборудования.

Задание параметров оборудования и использование их в работе позволяет компенсировать зазоры в кинематических передачах, определить ограничения рабочей зоны и режимов обработки, учесть динамику привода на формирование требуемых переходных процессов при разгоне и торможении.

Модуль 6 логических элементов управления и согласования координатных приводов выполняет функции управляющего контролера станочной автоматики и согласования функций. Он может быть реализован как контролер с постоянно заданной системой логических связей или как программируемый микропроцессор, доступ к которому осуществляется от пульта управления. Все это позволяет формировать как типовые, так и нестандартные циклы обработки применительно к решению различных технологических задач, а также программировать от пульта логику работы силового оборудования станка [11].

В компьютерных системах ЧПУ подготовка и ввод управляющей программы непосредственно с клавиатуры пульта осуществляется в режиме диалогового программирования с использованием графического моделирования на терминале. Подготовка и ввод управляющих программ с пульта целесообразны для сравнительно коротких программ по изготовлению простых деталей (валов, фланцев, плит и др.). При этом ввод новой программы может быть совмещен с обработкой на станке другой детали.

Составление программы для сложных деталей целесообразно выполнять вне станка, используя методы ручной или автоматизированной подготовки управляющих программ. С этой целью удобно применять создаваемые на базе микропроцессоров специальные программаторы, в которых также реализуется диалоговый метод разработки программ с графическим моделированием на дисплее. При этом в качестве программоносителей можно использовать перфоленту, магнитные кассеты или дискеты. Если между программатором и компьютерной системой ЧПУ станка имеется локальная связь, то разработанная программа может быть напрямую передана в память мини-ЭВМ станка.

Работа с компьютерными системами ЧПУ предусматривает выполнение непосредственно у станка различных операций по программно-информационному обеспечению. Сюда относится составление и ввод программ, их редактирование, считывание, запись программ и др. Для облегчения выбора и выполнения этих операций все взаимосвязанные функции обслуживания представлены в диалоговой программе как пять видов работ, которые высвечиваются на дисплее в виде меню *б* на одном из первых кадров (рис. 1.25). При выборе требуемой работы, которая идентифицируется порядковыми номерами 1 – 5 или первой буквой наименования E, D, ..., T, происходит переход на следующий кадр, в котором также в виде меню указывается состав операций, выполняемых при соответствующего вида работах.

Работа 1 «Редактирование» предусматривает составление программ и включает такие операции, как «Ввод 1.1», «Коррекция 1.2», «Стирание 3.3», «Вывод программ 1.4» и «Нумерация кадров 1.5».

Работа 2 «Управление» предусматривает операции по манипулированию с информацией в программе при ее загрузке, при передаче в архив, на экран дисплея или на распечатку в виде листинга. Операции, которые при этом выполняются, обеспечивают архивирование 2.1, загрузку 2.2, печать 2.3, удаление программ 2.4, а также ввод каталога программ 2.5 и новый пуск 2.6.

Работа 3 «Графика» (машинная реализация) предусматривает вывод на дисплей результатов графического моделирования технологических переходов 3.1 по обработке заготовки с распечаткой текущих кадров управляющей программы 3.2.

Работа 4 «Параметры» предусматривает выполнение операций по выводу на дисплей ряда основных параметров, относящихся к детали 4.1, к нулевой точке 4.2, к разделению программы на части 4.3.

Работа 5 «Темы» предусматривает вывод на дисплей информации по характеристикам управления 5.1, по видам обслуживания 5.2, указания по программированию 5.3, по диагностике ошибок 5.4, по инструменту 5.5 и по конструкции станка 5.6.

Вызов подпрограммы на решение требуемой задачи, указанной в меню, обеспечивается цифровым кодом ее порядкового номера, например, 1.2, 2.4, 3.1. При выполнении команды |STOP| происходит возврат в меню работ к первому кадру, а при повторном ее выполнении происходит выход из диалоговой программы.

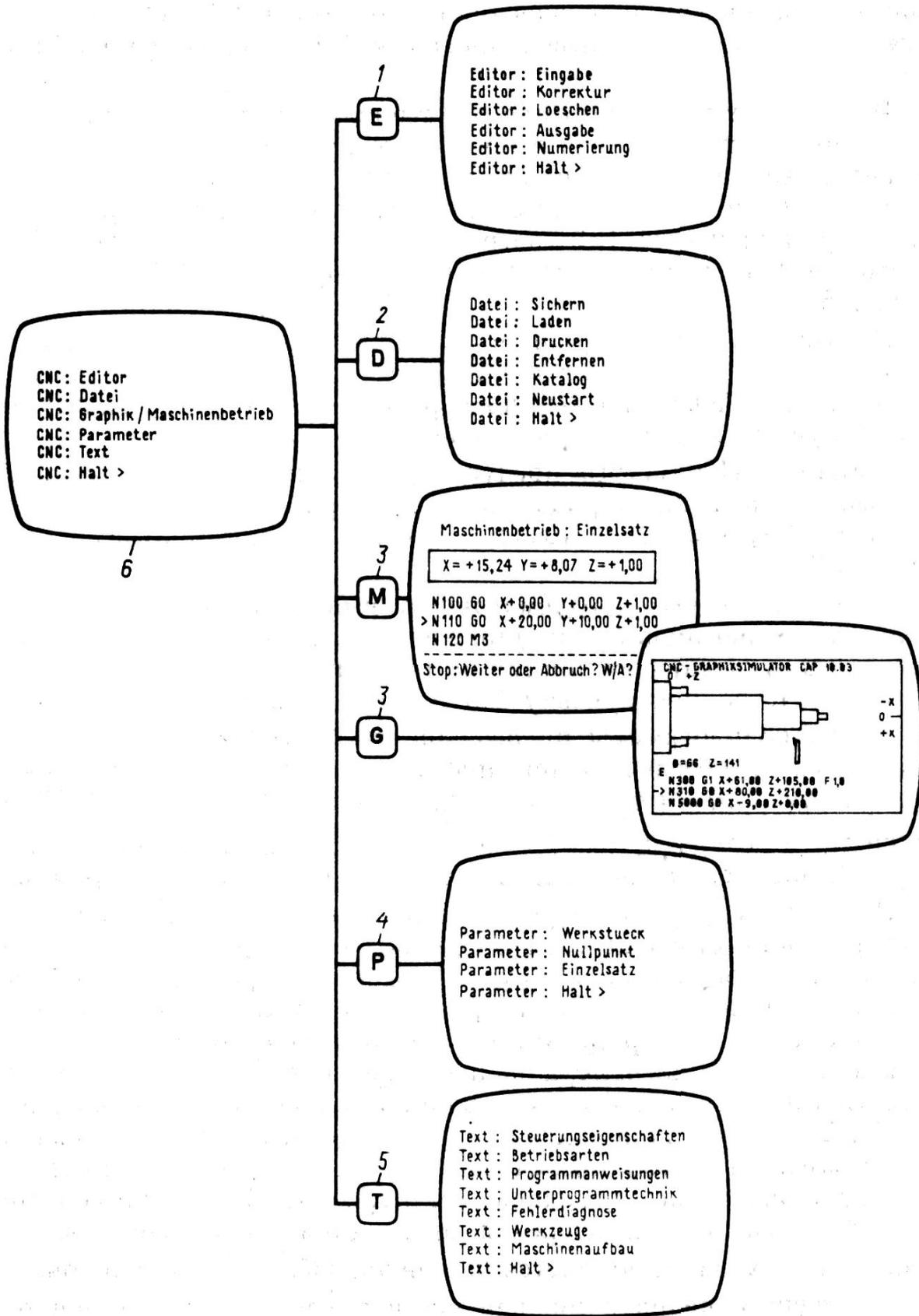


Рис. 1.25. Возможности диалогового программирования на станках с компьютерной системой ЧПУ

Рассмотрим формат кадров, формируемых на экране дисплея. При решении отдельных задач диалогового программирования «Ввод 1.1» на экране индицируется задание кадра NC программы с выводом номерного знака N., за которым располагается курсор (рис. 1.26, *a*).

В результате последовательного задания с помощью клавиатуры номера кадра, адресных букв G, M или T с соответствующим цифровым кодом, а также значений координат X, Y, Z и функции подачи F происходит формирование кадра программы.

При этом последовательность вводимых параметров наглядно определяется подвижным курсором и индицируемыми на экране символами. Переход от задания одной части кадра (слова) к другой выполняется командой |RETURN|. По окончании задания кадра в нижней части экрана возникает вопрос «Продолжение: да, нет». При ответе |Д|а на экране возникает аналогичный формат очередного кадра, и он запоминается. При ответе |Н|ет осуществляется возврат к меню данного вида работ.

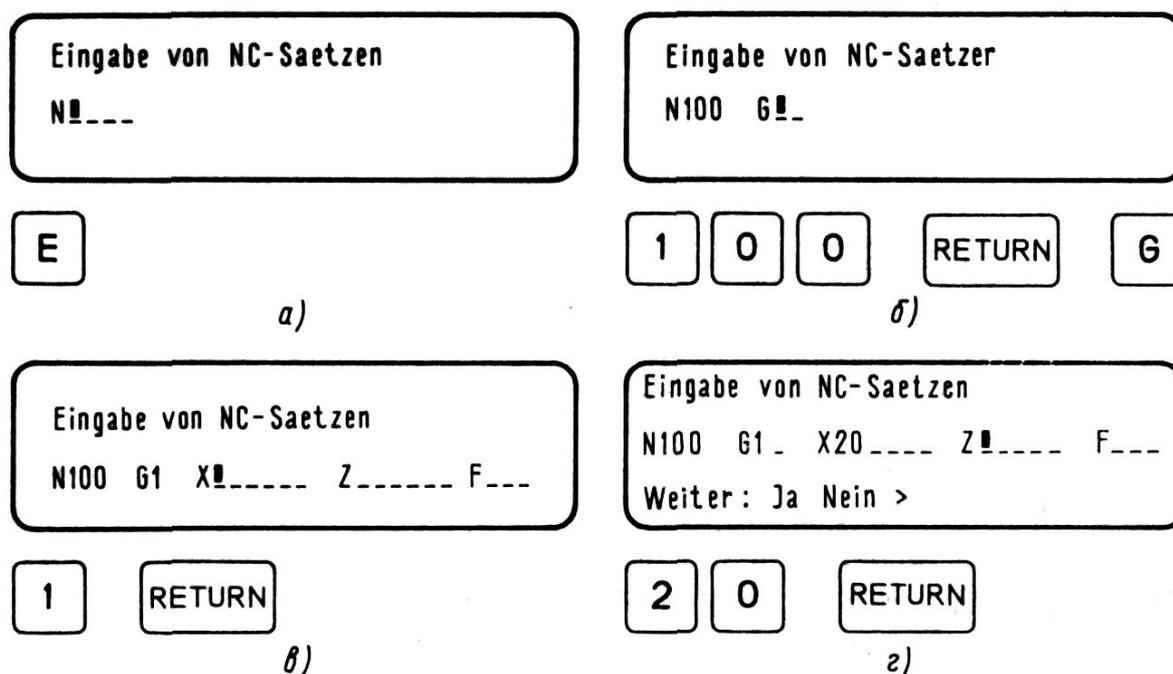


Рис. 1.26. Задания кадров программы с терминала: *a* – ввод номера кадра; *б* – ввод требуемых адресных букв G, M или T; *в* – ввод кодовых цифр соответствующих функций; *г* – задания значения координат

При вызове подпрограммы «Коррекция 1.2» на экране появляется запрос номера корректируемого кадра. В результате введения номера кадра, например, 102, на экране высвечивается вызванный кадр программы и с помо-

щью подвижного курсора выполняется коррекция требуемого слова. По окончании процедуры коррекции в нижней части экрана высвечивается вопрос «Продолжение: да, нет». При ответе |Д|а высвечивается последующий кадр программы, и процедура коррекции повторяется, а при ответе |Н|ет происходит возврат в меню данного вида работ. Откорректированный кадр поступает при этом на свое место в ячейку памяти программы.

В результате обращения к подпрограмме «Машинная реализация 3.2» на экране дисплея высвечиваются координаты текущего кадра управляющей программы, а также данные трех последующих кадров (рис. 1.27). Обращение к подпрограмме «Графика 3.1» позволяет вывести на экран результаты графического моделирования определенного технологического перехода. При этом высвечиваются координаты исходной точки, поля детали, траектория режущего инструмента при разбиении припуска на рабочие ходы (рис. 1.28).

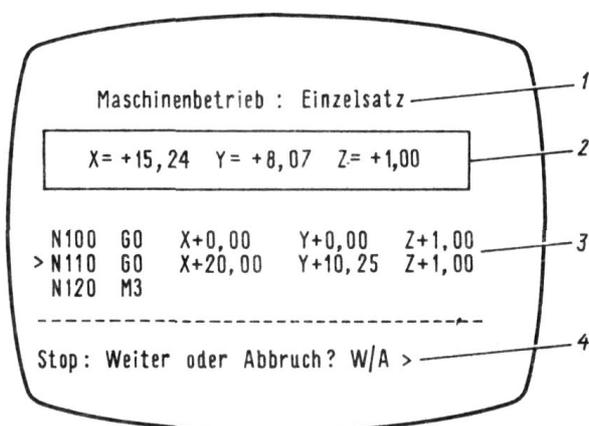


Рис. 1.27. Вывод на дисплей текущего кадра программы: 1 – фактические значения управляемых координат; 2 – обрабатываемый кадр программы; 3 – последующие кадры программы; 4 – указания по дальнейшей работе

Диалоговое программирование ориентируется на определенный вид станков с учетом их технологических особенностей и конструкции. Обмен информацией при этом может осуществляться не только через дисплей, но также через приборы световой индикации. Такой вариант реализован в микропроцессорной системе «Электроника НЦ-31», используемой на роботизированных технологических комплексах токарного типа. Система имеет внутреннюю память – оперативно-запоминающее устройство (ОЗУ), в котором расположены шесть областей памяти под номерами от 0 до 5. В каждой такой области может храниться одна или несколько управляющих программ, вместимость которых не превышает в сумме 250 кадров. В присоединяемой кассете внешнее запоминающее устройство (ВЗУ), в котором дополнительно находится восемь

областей внешней памяти под номерами от 6 до 13. Кассеты внешней памяти удобно использовать в качестве оперативного носителя управляющих программ между рабочей системой на станке и центральным архивом управляющих программ.

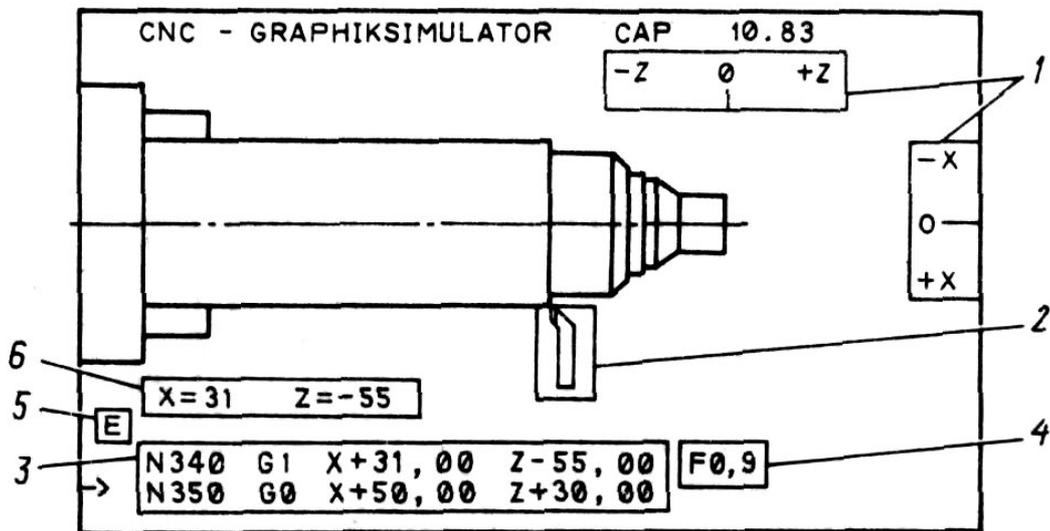


Рис. 1.28. Вывод на дисплей результатов графического моделирования технологического перехода: 1 – координатная система с указанием нуля станка, нуля детали и направления отсчета координат; 2 – режущий инструмент с указанием его номера; 3 – текущие кадры программы; 4 – значение рабочей подачи; 5 – код (идентификатор) вида работы; 6 – текущие значения координат

Программа для запуска в отработку, для просмотра или редактирования должна находиться в нулевой области. Для этого перезаписывают программы, т. е. производят обмен между областями памяти с массивами по 250 кадров. При этом в процессе переписывания каждая программа контролируется системой на сохранность и при обнаружении отклонений выдается соответствующее сообщение. Дополнительно в системе имеется ячейка памяти для хранения параметров станка. Ввод и вывод этих параметров осуществляется оператором при их индикации на пульте управления.

## **2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНКОВ И СИСТЕМ ЧПУ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРИЗНАКАМ: ХАРАКТЕР УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ; ЧИСЛУ ПОТОКОВ ИНФОРМАЦИИ; ЧИСЛУ УПРАВЛЯЕМЫХ КООРДИНАТ; СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ С ЭВМ**

Станки с числовым программным управлением не просто новый вид оборудования – это новое поколение орудий труда, это качественно новый этап развития орудий труда.

Первый станок с ЧПУ на территории бывшего СССР был создан в 1958 г. Станки с ЧПУ первого поколения пытались выпускать на базе серийных станков ручного управления (2Н118, 2Н135, 2Н55, 6М11, 6Н13, ЛФ-66 и др.), но это не увенчалось успехом. Очень скоро убедились, что станки с ЧПУ должны иметь более высокую точность изготовления, жесткость, мощность, скорость ускоренных перемещений, бесступенчатые приводы главного движения, приводы подач с высокими пределами регулирования и т.д. Потребовалась разработка новых конструкций двигателей, шариковых винтовых пар, гидравлической аппаратуры, гидростатических направляющих, инструментальных магазинов и манипуляторов для автоматической смены инструмента, сменных столов для предварительной установки заготовок. Были созданы интерполяторы, системы цифровой индикации для отображения управляющей информации, системы коррекции, установки для размерной настройки инструмента вне станка и т.д.

После решения этих задач числовое управление развивалось очень высокими темпами и к 1982 году годовой выпуск станков с ЧПУ уже превышал 10 тысяч единиц. В 1984 г. на предприятиях Минстанкопрома число станков с ЧПУ составило 7,3 % всего установленного оборудования, а на отдельных передовых предприятиях машиностроения парк станков с ЧПУ составлял 20 – 30 % парка металлорежущего оборудования и на них обрабатывалось до 50 % деталей.

Причина этого успеха базируется на основной особенности станков, которая определяет все остальное, – числовой форме представления управляющей информации. Переход к числовому методу программирования и управления позволил привлечь для решения задач мощный арсенал средств и методов цифровой вычислительной техники, что в решающей степени содействовало внедрению оборудования с ЧПУ.

## 2.1. Классификация систем программного управления

Под программным управлением обычно понимается управление с помощью систем, обеспечивающих быстрый переход на любую программу работы путем набора ее или записи условным кодом на программноносителе, с помощью которого она вводится в станок.

В качестве носителя программы могут использоваться штекерные панели, перфоленты, магнитные ленты и др. Таким образом, системы программного управления обеспечивают быструю переналаживаемость и требуемую универсальность.

Системы программного управления металлорежущим оборудованием можно подразделять на два основных класса: цикловые (или программно-путевого управления); с числовым управлением.

Цикловая система программного управления (ЦСПУ) характеризуется полным или частичным программированием цикла работы станка и режима обработки. Перемещение исполнительных элементов регулируется расстановкой передвижных упоров. ЦСПУ является переходной от системы управления с помощью упоров к системам числового программного управления (СЧПУ). Иногда ее называют системой программно-путевого управления. Программа управления в ЦСПУ может вводиться от программноносителя (перфоленты, перфокарты) или набираться с помощью соответствующих переключателей. Станки с ЦСПУ отличаются простой системой управления, не требуют высококвалифицированного обслуживающего персонала, обладают большей производительностью, чем универсальные станки, однако они имеют меньшие технологические возможности, чем станки с числовым управлением. Для их переналадки на новый вид деталей затрачивается большее время, чем при числовом управлении. Это время складывается из времени заданий новой программы и времени размерной настройки кулачков, путевых переключателей, поэтому их разумно использовать при обработке простых деталей с длительностью обработки партии не менее смены. Примеры станков с ЦСПУ – токарно-револьверный 1А341Ц, вертикально-фрезерный 6530Ц и др. Цикловая система управления состоит из следующих устройств (рис. 2.1): задания и ввода программы (I), управления (II), исполнительного (III), контроля окончания отработки этапа программы (IV).

Принцип работы ЦСПУ заключается в следующем. Устройство задания и ввода программы снабжает систему программного управления информацией о цикле. Оно состоит из блока задания программы (обычно штекерная панель) и блока поэтапного ввода программы (обычно шаговый

искатель или релейная счетная схема). Устройство управления обеспечивает управление исполнительными элементами, перемещающими рабочие органы станка.

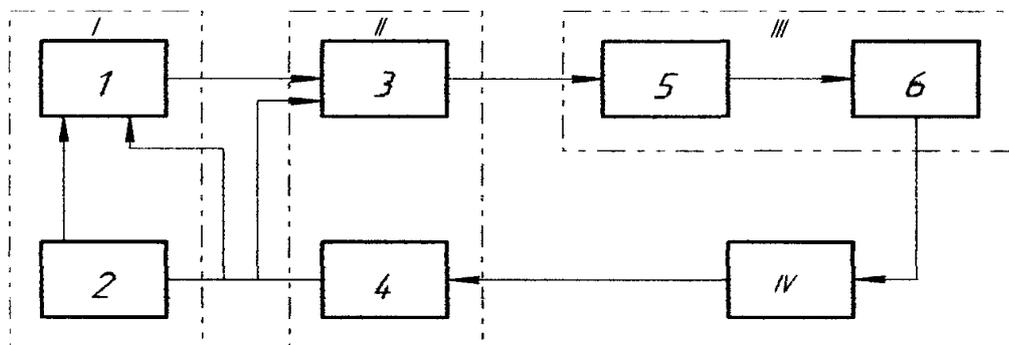


Рис. 2.1. Упрощенная структурная схема цикловой системы управления: I – устройства задания, ввода и вывода программы (1 – блок задания программы; 2 – блок поэтапного ввода программы); II – устройство управления (3 – блок управления циклом работы станка; 4 – блок преобразования сигналов контроля); III – исполнительное устройство (5 – исполнительные элементы; 6 – рабочие органы станка); IV – устройство контроля окончания отработки этапа программы

Схему устройства управления довольно часто выполняют на электромагнитных реле. Исполнительное устройство обеспечивает отработку заданных программой команд и состоит из исполнительных элементов и рабочих органов станка. Устройство контроля окончания отработки этапа программы контролирует окончание предыдущего этапа программы и подает команду на переключение на следующий этап.

Окончание отработки этапа программы может контролироваться путевыми переключателями, реле времени, реле давления и т.п.

Под системой числового программного управления (СЧПУ) станком понимается совокупность специализированных устройств, методов и средств, необходимых для осуществления ЧПУ. Система ЧПУ характеризуется чаще всего программированием цикла, режимов обработки и путей перемещения рабочих органов станка. При этом вся необходимая информация представляется не в виде кулачков, копиров и упоров, а в виде последовательности букв и чисел, нанесенных в закодированном виде (алфавитно-цифровом коде) на программоноситель.

Системы ЧПУ можно классифицировать по ряду признаков. Для нас наибольшее значение имеет их деление по следующим трем признакам:

- 1) по степени совершенства и функциональным возможностям;

2) по виду движения исполнительных механизмов станка, определяемого геометрической информацией в программе;

3) по числу потоков информации.

По степени совершенства и функциональным возможностям системы ЧПУ делятся на следующие типы:

NC (Numerical control) – числовое программное управление (ЧПУ) с обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде. Эти системы работают по «жесткой логике». Ввод программы в них, как правило, осуществляется с перфоленты;

HNC (Hand NC) – разновидность систем ЧПУ с ручным заданием программы с пульта устройства (на клавишах, переключателях и т.п.). В технической литературе Беларуси эти системы обычно называют оперативными системами управления (ОСУ);

SNC (Speicher NC) или MNC (Memory NC) – разновидность систем ЧПУ, имеющая память для хранения всей управляющей программы;

CNC (Computer NC) – автономная система ЧПУ, содержащая ЭВМ (как правило, мини-ЭВМ или микроЭВМ) или процессор;

DNC (Direct NC) – система для управления группой станков от ЭВМ, осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройства управления станком (у станков могут быть установлены устройства типа NC, SNC, CNC).

Основной частью системы числового программного управления является устройство ЧПУ, относящееся к тому же типу, что и система.

Устройства ЧПУ типа NC и HNC имеют постоянную структуру, а устройства ЧПУ типа SNC и CNC – переменную. Устройства ЧПУ типа SNC и CNC являются более совершенными. Они строятся на основе микроЭВМ (типа CNC) или микропроцессоров. Их основные алгоритмы работы задаются программно и могут изменяться для различных применений. В них можно формировать нестандартные циклы обработки, что существенно упрощает подготовку и редактирование программы.

Среди имеющихся в настоящее время систем ЧПУ можно встретить все приведенные выше типы систем (табл. 2.1).

По виду движения исполнительных механизмов станка, определяемого геометрической информацией в программе, системы ЧПУ подразделяются на позиционные, контурные, комбинированные и централизованные.

*Позиционная система ЧПУ* – это система, обеспечивающая установку рабочего органа станка в позицию, заданную программой управления станком, чаще всего без обработки в процессе перемещения рабочего ор-

гана станка. Эти системы применяются для управления станками сверльно-расточной группы.

*Контурная система ЧПУ* представляет собой систему, которая обеспечивает автоматическое перемещение рабочего органа станка по траектории и с контурной скоростью, заданными программой управления станком. Основной особенностью контурных систем является наличие в каждый отдельный момент времени функциональной зависимости между скоростями перемещения рабочих органов станка по координатным осям.

Контурные системы отличаются от позиционных большей сложностью и стоимостью.

Таблица 2.1

Краткий перечень устройств, оснащенных разными типами систем ЧПУ

Тип системы ЧПУ	Модель устройства, тип участка	Станки, для управления которыми система предназначена
NC	H221M	Токарные станки с автоматической сменой режущего инструмента
	H331M	Фрезерные станки с автоматической сменой режущего инструмента
HNC	Устройство на базе микро-ЭВМ «Электроника НЦ-31»	Токарные станки в условиях мелко-серийного и индивидуального производства
SNC	H331M с модулями памяти	Фрезерные станки с автоматической сменой режущего инструмента
CNC	2C42	Многооперационные станки
DNC	Автоматизированный участок типа АСК-10	Группа многооперационных станков

Они в настоящее время являются наиболее распространенными по сравнению с другими и используются чаще всего для управления токарными, фрезерными и другими станками при обработке деталей сложного профиля.

Контурные системы подразделяются на несколько разновидностей. Новейшей из них, появившейся в конце 70-х годов, является оперативная система ЧПУ, построенная на базе современных микроЭВМ. В оперативной системе ЧПУ расчет управляющей программы по минимальному объему исходных данных осуществляется на рабочем месте. Эти системы эффективно используются для управления металлорежущими станками при обработке деталей упрощенной геометрической формы.

*Комбинированная система ЧПУ* включает в себя контурные и позиционные системы и используется в основном для управления многооперационными станками (обрабатывающими центрами). Автоматизированная система централизованного управления – это комплекс металлорежущего оборудования с ЧПУ, связанный единой автоматизированной транспортно-накопительной (транспортно-складской) системой и управляемый от ЭВМ. Эта система используется для управления автоматизированными участками (например, типа АСВ-20, АСВ-21, АСК-10 и др.). В ней можно выделить несколько более простых систем. Одна из них предназначена для управления группой станков с ЧПУ, осуществляющих механическую обработку деталей. Эта система называется системой группового управления, или системой прямого ЧПУ станками, или системой ЧПУ типа DNC.

По числу потоков информации системы ЧПУ подразделяются на разомкнутые, замкнутые, самонастраивающиеся (адаптивные).

*Разомкнутые системы ЧПУ* (называемые также импульсно-шаговыми) характеризуются только одним потоком информации, направляемым от программы управления к рабочему органу станка. Перемещения рабочего органа станка при этом не контролируются и не сопоставляются с перемещениями, заданными программой.

Достоинствами таких систем являются отсутствие цепей обратной связи, простота конструкции, наличие надежных и быстроходных шаговых двигателей и передачи «винт – гайка качения», обеспечивающих достаточно высокую точность перемещения рабочего органа станка. Эти системы являются наиболее распространенными и применяются для управления металлорежущими станками малых и средних размеров.

*Замкнутые системы ЧПУ* характеризуются двумя потоками информации: один поток поступает от программы управления, а второй – от датчика обратной связи. Наличие обратной связи позволяет сопоставлять фактическую отработку программы с заданной и устранять возникающее рассогласование. Эти устройства по сравнению с разомкнутыми обеспечивают высокую точность обработки, но являются более сложными и дорогими. Они применяются для управления металлорежущими станками средних и крупных размеров.

*Самонастраивающиеся* (адаптивные) системы могут приспособляться к изменению внешних условий и являются наиболее прогрессивными. Они имеют помимо основного дополнительные потоки информации, позволяющие корректировать процесс обработки с учетом деформации

системы СПИД (станок – приспособление – инструмент – деталь) и ряда случайных факторов, таких, как затупление режущего инструмента, колебание припуска и твердости заготовки и др.

Эти системы появились в 70-е годы и в настоящее время используются для управления обычными металлорежущими станками и станками с ЧПУ. В последнем случае они могут работать как в сочетании с разомкнутыми, так и замкнутыми системами ЧПУ. В конце 70-х годов [9] была предложена другая классификация систем ЧПУ, в соответствии с которой они подразделяются на:

- *функциональные* – для управления автоматическими станками и автоматическими линиями;

- *оперативные* – для управления токарными, фрезерными, шлифовальными станками, используемыми для обработки деталей упрощенного профиля;

- *продукционные* – для управления токарными, карусельными и фрезерно-расточными производственными станками;

- *уникальные* – для управления уникальными станками.

### **3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ И АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАНКАХ С ЧПУ. ТРЕБОВАНИЯ К ЗАГОТОВКАМ**

Изучение номенклатуры деталей машиностроения позволяет в общем случае выделить детали типа тел вращения, призматические, плоские, фигурные и профильные. Детали правильной формы составляют до 92 % общего объема деталей в производстве.

Каждая деталь характеризуется набором технических данных (материал, геометрия), определяющих технические требования, и некоторым набором организационно-экономических требований (годовой выпуск, число деталей в партии, допустимые затраты на изготовление). Номенклатура деталей, обработка которых предполагается эффективной на оборудовании с ЧПУ, определяется на основе изучения технической документации на эти детали, ограничений, зависящих от конкретного производства, и характера постановки задачи. Критерии оценки при выборе номенклатуры могут быть различными, но чаще всего применяют экономический критерий, учитывающий затраты как живого, так и овеществленного труда, – приведенные затраты. Поэтому в общем случае следует считать, что на станках с ЧПУ целесообразно обрабатывать такие детали, на которые распространяются источники и факторы экономической эффективности. Практика показывает, что значительный эффект достигается при обработке на станках с ЧПУ сложных деталей, с большим числом поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки и элементы прямых и плоскостей, не параллельных координатным осям станка. По сравнению с универсальными станками, повышение технико-экономических показателей обуславливается действием почти всех источников экономической эффективности.

На ряде передовых предприятий критерием целесообразности перевода обработки детали на станки с ЧПУ считается ожидаемое повышение производительности труда не менее, чем на 50 % при окупаемости всех затрат на партии запуска.

Подобранные детали определенной номенклатуры можно сгруппировать по конструктивно-технологическим признакам. Это дает возможность выбрать модели станков, наиболее приемлемые для обработки рассматриваемых типов деталей. Так, детали, обрабатываемые на фрезерных станках, целесообразно подразделять на группы по числу требуемых координат и габаритным размерам.

Формировать номенклатуру рекомендуется в три этапа:

1) просмотреть чертежи и технологическую документацию и составить предварительный перечень деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ, с определением типа станка;

2) сгруппировать детали по конструктивно-технологическим признакам и типам станков, выполнить детальный технико-экономический анализ, выбрать оптимальный вариант обработки и составить уточненный перечень;

3) по уточненному перечню составить годовой график внедрения обработки деталей, оценить трудоемкость подготовки программ и указать сроки выполнения работ по этапам.

### 3.1. Определение границ эффективного использования станков с ЧПУ в зависимости от номенклатуры деталей

Станки с ЧПУ, в том числе с микропроцессорным управлением, а также ГПС получили широкое распространение. Но это не значит, что все заготовки должны обрабатываться только на станках с ЧПУ и ГПС; иногда это действительно целесообразно, а иногда малоэффективно и даже убыточно. Определение приоритетов в подборе деталей позволяет найти границы эффективности использования станков с ЧПУ.

Обозначим:  $C$  – сложность детали;  $T$  – трудоемкость ее обработки. Очевидно, для одной и той же группы оборудования эти величины пропорциональны:

$$T = C/B. \quad (3.1)$$

Коэффициент пропорциональности  $B$  характеризует оборудование, на котором производится обработка, его степень новизны и прогрессивности. Это показатель потенциальных возможностей оборудования, его потенциальная производительность. Здесь производительность рассматривается как характеристика технологических возможностей оборудования. Чем выше  $B$ , тем ниже трудоемкость обработки.

При определенных условиях допускается принять  $C = t_{ум}$ , тогда коэффициент производительности при обработке числа  $n$  деталей составит величину

$$\eta_e = \frac{1}{1 + t_{нз} / (t_{ум} \cdot n)} = \frac{1}{1 + t_{нз} \cdot B / (C \cdot n)}, \quad (3.2)$$

где  $t_{ум}$  – штучное время обработки;  $t_{нз}$  – подготовительно-заключительное время.

Чем выше  $C$ , тем больше  $\eta_2$  и тем выше эффективность использования станков с ЧПУ и ГПС. В данном случае возникает необходимость в формализации понятия сложности детали и в разработке критериев для ее количественной оценки. Особенно важно это для САПР ТП, когда на стадии проектирования нужно решить вопрос о целесообразности использования для обработки заготовки станок с ЧПУ или ГПС и в дальнейшем проектировать процесс с учетом соответствующего оборудования.

*Конструктивную сложность детали  $C_k$*  определяют в зависимости от числа  $n$  основных ее элементов:

$$C_k = a \cdot n, \quad (3.3)$$

где  $a$  – коэффициент пропорциональности – конструктивная сложность некоторой воображаемой детали, имеющей один основной элемент.

К основным элементам относят элементы контура детали, определяющие ее как геометрическое тело. Неосновные элементы – фаски, радиусы, сопряжения, канавки и др. – не оказывают существенного влияния на конструкцию детали. В общем случае пределы изменения конструктивной сложности составляют  $0 < C_k < 1$  при максимальном числе элементов контура  $n = 50$ .

*Технологическая сложность детали  $C_T$*  учитывает ее технологические свойства и принятый способ обработки. Критерием технологической сложности детали является трудоемкость ее обработки. Основные факторы, влияющие на трудоемкость обработки, можно свести к четырем. Тогда

$$C_T = C_k K_p K_m K_{исп} K_T, \quad (3.4)$$

где  $K_p$  – коэффициент, характеризующий влияние на трудоемкость размеров заготовки;  $K_m$  – коэффициент, характеризующий влияние обрабатываемого материала;  $K_{исп}$  – коэффициент использования заготовки, характеризующий величину снимаемого припуска и вид обработки (черновая, чистовая);  $K_T$  – коэффициент технологичности конструкции.

Коэффициенты определяют по известным методикам в зависимости от входных данных, к числу которых относятся:  $L, D$  – длина и диаметр заготовки; ее материал;  $K_{II}$  – коэффициент использования материала заготовки;  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$  – коэффициенты технологической сложности элементов контура.

Понятие точности связано с технологическими возможностями оборудования, характеризуемыми коэффициентом  $B$ . Этот коэффициент выбирают так, чтобы заданная точность детали была экономически оправданной. Поэтому введено понятие сложности обработки на данной операции.

$$C = C_T K_{II} K_B, \quad (3.5)$$

где  $K_{II}$  – коэффициент полноты обработки;  $K_B$  – коэффициент вида обработки.

### **3.2. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ**

Повышение производительности оборудования и качества изделий при максимальном снижении затрат времени и средств на разработку, ТПП и обработку заготовок на станках с ЧПУ в значительной мере определяется технологичностью конструкции деталей.

Требования к технологичности деталей особенно повышаются в условиях автоматизированного производства. Моделирование процесса обработки с использованием ЭВМ позволяет определить не только степень технологичности детали, но и возможность применения типовых и групповых технологических процессов.

На этапе технологической подготовки производства все детали должны быть подвергнуты тщательному анализу (конструктивно-технологической проработке) в целях повышения степени конструктивной и технологической преемственности элементов детали. Решая эту задачу, можно определить полный перечень типоразмеров и выявить степень их применимости, построить параметрические ряды, унифицировать детали. Это наиболее полно обеспечит преемственность технологических процессов и их элементов, средств технологического оснащения.

На этапе анализа детали выявляется также, насколько технологически рациональна ее конструкция. Эта задача заключается в нахождении возможности изготовления и эксплуатации данного изделия при использовании имеющихся в распоряжении предприятия материальных и трудовых ресурсов.

В целом задачи обеспечения технологичности конструкции решаются на всех этапах работ по постановке продукции на производство. Решение начинается с систематизации аналогов и прогнозирования показателей технологичности. Эти данные являются исходными для определения базовых показателей, фиксируемых в ТЗ на изделие. Затем следуют работы по стадиям проектирования, которые в основном завершаются при подготовке конструкторской документации (КД) на опытный образец. В дальнейшем изменять документацию становится все труднее. На стадии ТПП приходится оформлять заявки на изменение КД, в процессе изготовления установочной серии – собирать замечания цехов, давать разрешения на отступления от КД и ТД (технологической документации), прорабатывать заме-

чания и вносить предложения по изменениям на комиссию, разрабатывать мероприятия по результатам установившегося производства, планировать их выполнение и т.д.

Завершают решение задачи постоянно проводимые работы по оценке технологического уровня и качества изделия, а также его прибыльности.

Отработка на технологичность деталей, подлежащих обработке на станках с ЧПУ, характерна для начала процесса ТПП, однако в условиях автоматизированного производства целесообразно выполнять эти работы на более ранней стадии, что требует повышенной технологической подготовки инженеров-конструкторов.

Общие требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ или намеченных к отработке на этих станках, это: унификация внутренних и наружных радиусов; унификация элементов форм деталей и их размеров; создание такой конфигурации детали, которая обеспечивает свободный доступ инструмента для обработки поверхностей; обеспечение возможности надежного и удобного базирования детали при обработке.

Все эти требования прежде всего направлены на сокращение типоразмеров применяемого режущего инструмента, использование более производительного (экономически выгодного) инструмента, замену специального инструмента стандартным, уменьшение числа переустановок детали, снижение количества и стоимости требуемой оснастки, повышение точности базирования, а также точности и производительности обработки, уменьшение степени коробления детали при обработке и объема последующей слесарной (станочной) ручной доработки, сокращение затрат на расчет и подготовку программ.

Выявленные при анализе чертежа детали условия повышения технологичности разрабатывают и оформляют в виде запроса в ОГК.

Указанные требования, как правило, могут быть выполнены путем изменения геометрической формы или отдельных элементов детали, изменения некоторых размеров, смещения отдельных элементов и т.п.

При обработке детали на станках с ЧПУ (особенно на фрезерных) требуется строгая ориентация ее относительно осей координат станка и привязка к исходной точке траектории движения инструмента. Поэтому уже при анализе технологичности детали необходимо предусмотреть элементы для ее базирования. Если деталь не имеет конструктивных отверстий, которые могут быть использованы как базовые, то такие отверстия надо ввести, расположив их на максимальном удалении друг от друга.

Можно ввести в конструкцию детали только одно отверстие, если имеется второе – конструктивное.

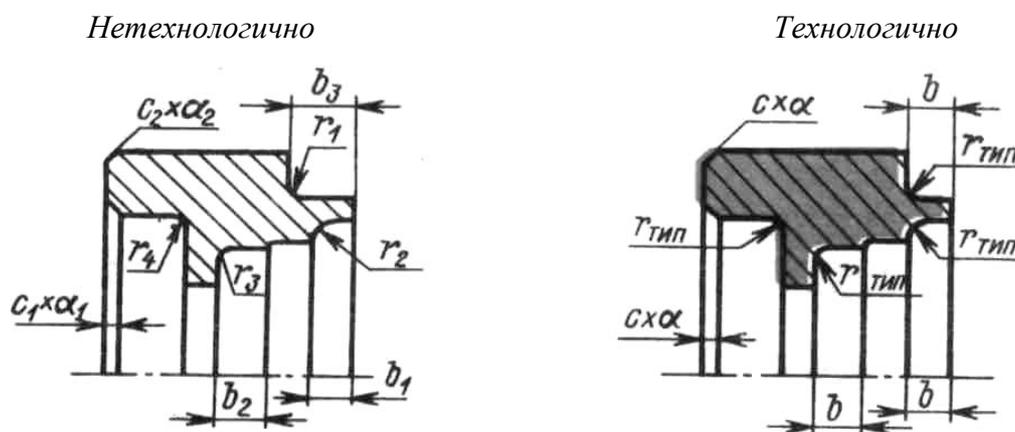
При невозможности выполнить технологические базовые отверстия в детали следует предусмотреть у заготовки специальные технологические приливы, в которых нужно разместить базовые отверстия.

К чертежам деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, не предъявляют никаких требований, противоречащих стандартам ЕСКД на выполнение машиностроительных чертежей. Однако необходима некоторая дополнительная информация о детали, в связи с чем следует выполнять ряд правил, облегчающих процесс программирования:

- все размеры проставляют на детали в прямоугольной системе координат от единых конструктивных баз детали;
- желательно проставлять размеры от оси детали к центрам всех окружностей, если это не требует от конструктора дополнительных трудоемких вычислений;
- проставлять размеры следует так, чтобы данные о каждом контуре были по возможности по одной проекции, а размерные цепи имели двусторонний допуск ( $\pm$ ), что облегчает разработку программ;
- чертеж выполняют в масштабе, соблюдая его по всему полю чертежа;
- на поле чертежа рекомендуется помещать надпись «Изготавливать на станке с ЧПУ» или «Контур фрезеровать на станке с ЧПУ».

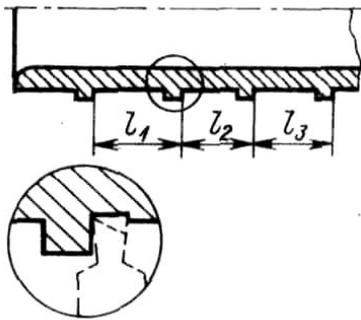
### 3.3. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ

1. Минимальная разнотипность геометрических элементов, образующих наружные и внутренние контуры деталей.

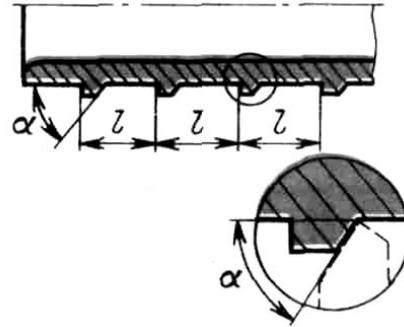


2. Рациональная геометрическая форма детали, обеспечивающая возможность осуществления минимального числа чистовых проходов, обработку одним инструментом (это исключает появление рисок и уступов на обрабатываемой поверхности), а также удобства при базировании и креплении заготовки.

*Нетехнологично*

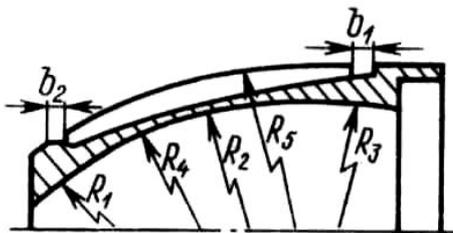


*Технологично*

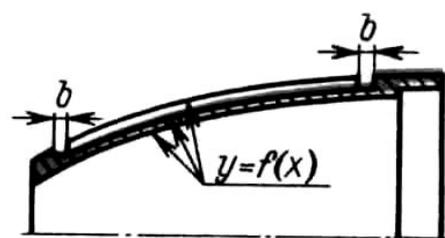


3. Задание отдельных участков образующей уравнениями, а не координатным способом.

*Нетехнологично*

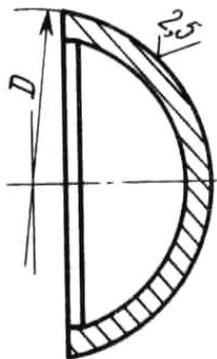


*Технологично*

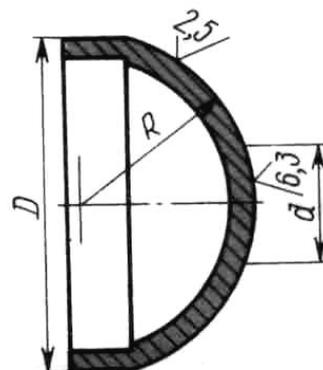


4. Некоторое снижение требований по шероховатости обрабатываемой поверхности у оси вращения.

*Нетехнологично*



*Технологично*



### **3.4. Основные предпосылки выбора деталей для обработки на станках с ЧПУ**

Эффективность эксплуатации станков с ЧПУ в основном определяется выбором деталей, которые целесообразно обрабатывать на этих станках, технологичностью выбранных деталей [12].

*Условия выбора по группам деталей: детали типа тел вращения*

1. Припуск у заготовок деталей должен быть минимальным, а допуск не более  $\pm 0,5$  мм.
2. Твердость заготовок должна колебаться в небольших пределах для того, чтобы можно было регулировать время смены всех инструментов, учитывая их стойкость.
3. Детали должны иметь сложную форму со ступенчатыми или криволинейными поверхностями.
4. Класс точности обработки не должен превышать класса точности станка с ЧПУ, чтобы на последнем совмещались черновые, получистовые, а по возможности, и финишные операции.
5. Черновая базовая поверхность, используемая в первой операции, должна быть, по возможности, гладкой и удобной для базирования и закрепления деталей.
6. Детали требуют при обработке на универсальных станках специальной оснастки и фасонных режущих инструментов.
7. Число операций, выполняемых на универсальном станке, должно быть больше, чем при обработке на станке с ЧПУ.
8. Трудоемкость операций на станке с ЧПУ не должна быть ниже 0,1 станко-часа с тем, чтобы можно было организовать многостаночное обслуживание.
9. Немаловажным фактором является серийность деталей и партия запуска. По данным ЭНИМС, партия запуска считается оптимальной при количестве деталей в ней – 30-80 и числе запусков в году – 8-10.
10. Возможность уменьшения числа применяемых инструментов при обработке на станках с ЧПУ по сравнению с обработкой на универсальных станках.

### **3.5. Технические условия на поставку заготовок и деталей**

Условия поставки заготовки характеризуют переходный момент, разграничивающий этап подготовительных работ, выполняемых без участия

станков с ЧПУ, и этап обработки деталей на станках с ЧПУ. Эти условия оформляют в виде технологического документа, который называется *техническими условиями на поставку заготовки*. Основным в документе являются требования к базовым размерам и поверхностям.

Для *фрезерных станков* наиболее оптимальным считается базирование детали по «чистым» плоскостям и технологическим отверстиям, служащим базами и для последующих операций. В этом случае в условия поставки включают допуск на коробление базовой плоскости при измерении на плите щупом, а также допуски на диаметр базовых отверстий и межцентровое расстояние. Схему размещения технологических отверстий в специальных, заранее предусматриваемых приливах также дают в технических условиях.

В случае задания «чистых» баз по контуру заготовки точное базирование может быть выполнено при помощи различных базирующих упоров.

При отсутствии «чистых» баз для заготовок, получаемых методами штамповки или точного литья, достаточно хорошее базирование для первой операции обеспечивают ложементы, отливаемые из алюминиевых сплавов или эпоксидных смол.

Для *токарной обработки* «чистые» базы могут быть получены путем чистовой проточки, подрезки и отрезки заготовок.

Технические условия на поставку заготовок оформляют совместно с работниками участка (цеха), поставляющего заготовки, и участка (цеха), изготавливающего детали на станках с ЧПУ. Технические условия на поставку детали являются документом, разграничивающим технологический процесс обработки на станках с ЧПУ и этап последующей доработки детали до получения всех требуемых размеров. Этот документ содержит перечень обработанных на станках с ЧПУ поверхностей и полученные размеры. В нем также указывают требуемые операции доработки, которые следует выполнить слесарным путем или на универсальном оборудовании. Технические условия на поставку деталей оформляют на специальных бланках и согласуют с участком (цехом), изготавливающим детали на станках с ЧПУ, и участком (цехом), производящим окончательную их доработку.

#### 4. МАРШРУТНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАРШРУТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ: МЕТОДЫ АДРЕСАЦИИ, МЕТОДЫ СИНТЕЗА

При определении технологического маршрута, прежде всего, уточняется общая последовательность обработки детали, увязываемая с используемым оборудованием (рис. 4.1). Обработка деталей может вестись с использованием одного станка с ЧПУ или последовательно на нескольких станках. В условиях ГПС это сводится к определению исходного модуля: робототехнического комплекса, состоящего из одного или нескольких станков с ЧПУ, обслуживаемых одним или несколькими промышленными роботами (ПР).

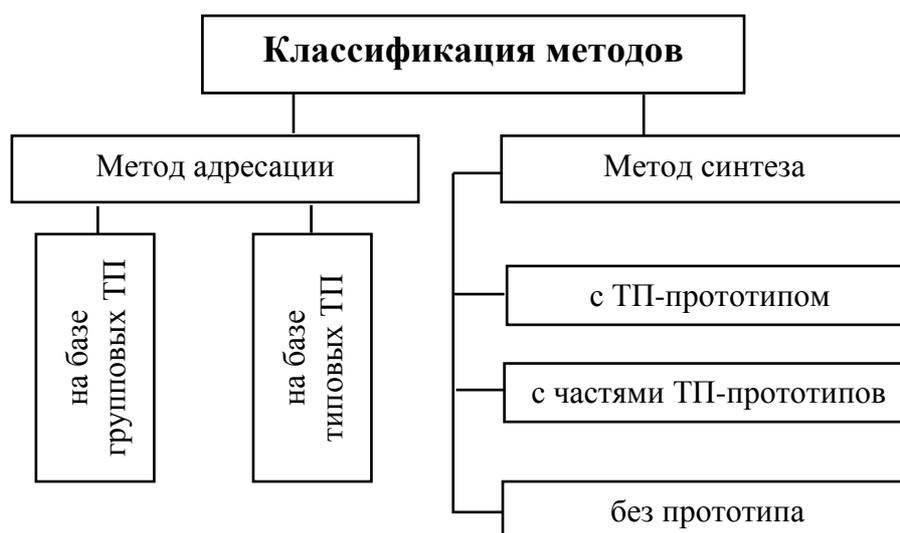


Рис. 4.1. Классификация методов проектирования технологических процессов

##### 4.1. Метод адресации

Метод адресации основан на использовании принципа унификации и может быть применен при внедрении в производство групповых и типовых технологических процессов. При реализации этого метода не прибегают к процедурам синтеза новых структур, а повторно используют готовый ТП. В этом случае процесс обработки конкретной детали назначают исходя из конструктивно-размерного подобия детали прототипу (типовые ТП) или их технологического подобия (групповые ТП).

Метод синтеза при проектировании ТП сложен и мало формализован. При его реализации требуются один или несколько этапов синтеза

структур, например, синтез сложного инструментального перехода, блочного перехода, позиционного перехода и др.

Средняя частота применения указанных методов в общем машиностроении, полученная на основе анализа 10 тыс. ч работы технолога, составляет:

- проектирование обработки на основе групповых ТП – 33 %;
- проектирование обработки на основе типовых ТП – 6 %;
- проектирование оригинальных ТП (метод синтеза) – 61 %.

**Метод адресации на базе групповых ТП.** Разработка маршрутных технологий этим методом достаточно просто формализуется и осуществляется с помощью ЭВМ. Метод использует групповую технологию и разработанную систему автоматизированного проектирования (рис. 4.2). В систему входит технологический классификатор, располагающий достаточно большим массивом различной информации (групповые ТП), закодированной и зафиксированной на каком-либо программноносителе (например, на перфолентах), который вводит информацию в ЭВМ.

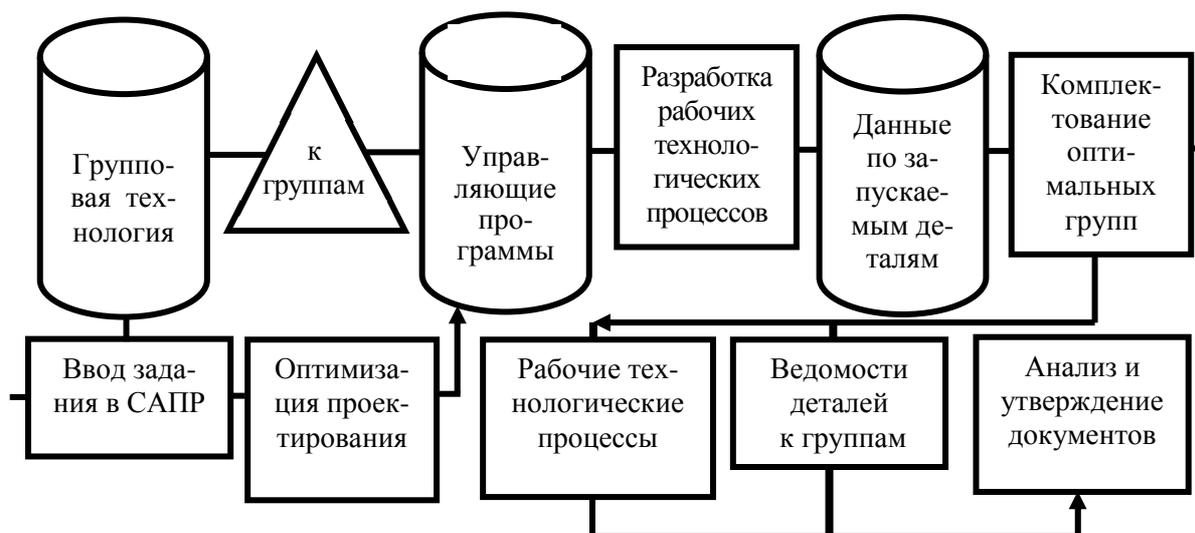


Рис. 4.2. Блок-схема задач проектирования рабочих ТП методом адресации

В условиях современного производства достаточно просто могут быть решены подготовительные работы по созданию системы (классификация, группирование, разработка групповой технологии), причем с активным привлечением средств ВТ. Созданный таким образом банк данных при использовании современных СУБД дает возможность осуществить поиск групповой технологии по общим характеристикам детали, корректи-

ровку ее по частным характеристикам и печатание рабочих документов, в том числе и УП для станков с ЧПУ.

При использовании рассматриваемой системы проектирование ТП сводится к нахождению аналога заданной детали и технологического процесса, соответствующего этому аналогу. При необходимости найденный ТП (унифицированный, групповой) может быть откорректирован. Заданная деталь должна быть определенным образом закодирована. Сведения о ней с перфокарт (перфолент, дисплея) вводятся в ЭВМ, где осуществляется (при использовании базы данных «Деталь») поиск аналогичной или комплексной (групповой) детали. Далее идет автоматизированный поиск унифицированного (группового) ТП и т. д. На этапе поиска выявляется информация о расхождении данной детали и комплексной (или аналогичной). Используя эту информацию, дорабатывают (возможно, в режиме диалога) выбранный ТП применительно к данной детали.

Для проектирования ТП на ЭВМ может быть использована инвариантная программная система «Адрес», которая выполняет функции ввода, редактирования, обработки и вывода информации, а также имеет средства настройки пакета на конкретные производственные условия.

**Метод адресации на основе типовых ТП.** Типовой ТП характеризуется единством содержания и последовательности большинства технологических операций для изделий, обладающих общими конструктивными признаками. Типизация ТП и их элементов строится на базе классификации и типизации объектов производства и элементарных поверхностей: отдельных элементарных поверхностей, сочетания нескольких поверхностей, деталей, узлов, изделий. В соответствии с этим разрабатывают элементарные типовые ТП, операционные типовые ТП и маршрутные типовые ТП.

Элементарные типовые ТП разрабатывают как совокупность переходов (операций). Целесообразность таких разработок объясняется тем, что любая деталь представляет собой ту или иную совокупность элементарных поверхностей. Элементарные типовые ТП служат вспомогательным материалом при разработке операционных типовых ТП. Они также помогают при выборе оптимальных технологических решений и необходимы в случае применения ЭВМ для проектирования ТП.

Операционные типовые ТП характерны для изготовления деталей родственных групп и сочетания элементарных поверхностей. На каждую

типовую технологическую операцию составляют отдельную операционную карту, которая может быть использована как исходная информационная база при разработке маршрутных ТП и стандартов на них или при формировании информационных фондов.

Маршрутные типовые ТП используются как инструктивные и руководящие материалы, поскольку эти процессы должны быть прогрессивными и корректироваться в соответствии с развитием науки, техники и технологии. Наиболее часто типовые ТП разрабатывают в виде инструктивного материала с подробным описанием маршрутной технологии. К инструкции прилагают формы технологических карт для соответствующих конкретных деталей. Типовые процессы-инструкции обычно охватывают такие детали, как валы, шестерни, кронштейны, ходовые гайки, рейки, крестовины дифференциалов, втулки и т. п.

Исходную информацию, используемую для разработки типовых и любых других ТП, подразделяют на базовую, руководящую и справочную. От ее полноты и качества во многом зависит и качество разрабатываемого ТП. Основные этапы разработки типовых ТП задач, решаемых на каждом этапе, и основные документы, используемые для решения этих задач, указаны в ГОСТ. Необходимость каждого этапа, состав задач и последовательность их решения определяет разработчик типового ТП в зависимости от конкретных условий производства.

На базе типовых технологических операций и процессов задача разработки ТП на деталь, тип которой соответствует процессу, достаточно просто решается при использовании ЭВМ. По классификационному коду детали ЭВМ определяет последовательность типовых операций обработки. Остальные параметры ТП, зависящие от размеров и материала обрабатываемой детали, также рассчитывает и подбирает ЭВМ с учетом имеющейся информации в базе данных.

Метод адресации на базе типовых ТП достаточно прост с точки зрения реализации, но его применение ограничивается группами деталей с определенными ТП.

## 4.2. Методы синтеза

**Метод синтеза с технологическим процессом-прототипом.** Проектирование ТП методом синтеза с прототипом характерно тем, что подобранный ТП-прототип не содержит всего состава элементов (операций, пе-

реходов, ходов), которые следует выполнить при изготовлении данной детали, поэтому структуры ТП-прототипа и ТП-детали различаются. При проектировании технологического процесса дорабатывают (перерабатывают) типовой ТП, используя хранящиеся в БД данные о групповых и типовых ТП. Для синтеза ТП необходима система программирования, предполагающая наличие библиотеки унифицированных элементов ТП.

**Метод синтеза без прототипа.** Проектирование ТП без прототипа приводит к необходимости проектировать схему ТП, технологический маршрут, технологическую операцию, опираясь на общие закономерности проектирования технологии или эвристики и исходные элементы ТП (такие, как ход, переход, типовой процесс обработки элементарной поверхности). Так как синтез ТП, в основе которого лежит формирование поверхности детали из элементарных поверхностей, допускает многообразие вариантов, то возникает необходимость в создании достоверных критериев оценки решений. На сегодняшний день это не представляется возможным, поэтому процесс проектирования ТП методом синтеза всегда является многоэтапным, допускающим корректирование результатов предыдущих этапов. На различных стадиях проектирования с помощью ЭВМ необходимо вмешательство технолога в процесс решения, обычно успешно осуществляемое в диалоговом режиме.

## 5. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

### 5.1. Этапы программирования. Составление расчетно-технологической карты

Станки с ЧПУ токарной группы предназначены для обработки наружных, внутренних, цилиндрических, конических, фасонных и торцевых поверхностей, а также для нарезания резьбы. Числовое программное управление (ЧПУ) является средством автоматизации управления станком. В станках ЧПУ изменение закона движения приводов подач и главного движения осуществляется путем замены программы, записанной на перфорированной или магнитной ленте и вводимой в устройства ЧПУ. Основными критериями разработки управляющих программ (УП) являются разработка методов расчета и записи программ, выбор технических средств для их реализации, разработка методов и средств отработки подготовленной программы. Для эффективной эксплуатации станков с ЧПУ необходимо иметь возможность составлять для них программы обработки легко, быстро и дешево.

Подготовка УП является одним из этапов общей технологической подготовки производства, включающим расчет программ, их фиксацию на программноносителе (на перфоленте, магнитной ленте и т.д.) и контроль. Под расчетом УП понимается совокупность всех математических и логических действий (операций), которые необходимо произвести над исходными геометрическими и технологическими данными программируемой операции и над всеми последующими промежуточными действиями вплоть до получения информации, сформулированной в соответствии с принятой для УЧПУ (устройство числового программного управления) структурного кадра перфоленты (ПЛ). В общем виде процесс подготовки УП может быть представлен как последовательное программирование отдельных этапов обработки детали. В основные этапы программирования детали можно вынести следующие:

– *первый этап:*

- 1) разделение операции на установовы и позиции;
- 2) выбор метода крепления заготовки;

– *второй этап:*

- 1) определение последовательности переходов;

- 2) выбор инструмента;
- 3) разделение переходов на ходы;
- 4) расчет режимов обработки;
- 5) подготовка карт наладки станка и инструмента;

– *третий этап:*

- 1) определение наладочных размеров инструмента и оборудования;
- 2) перерасчет размеров детали в координаты опорных точек траектории;
- 3) расчет координат опорных точек;
- 4) преобразование систем координат (абсолютная и относительная система координат);

– *четвертый этап:*

- 1) формирование элементарных перемещений;
- 2) определение технологических команд;
- 3) кодирование УП;
- 4) запись УП на программноноситель;

– *пятый этап:*

- 1) контроль программноносителя;
- 2) контроль траектории инструмента;
- 3) редактирование УП.

На каждом этапе решаются определенные задачи. Различают четыре уровня автоматизации, зависящие от метода решения конкретных задач.

*Первый уровень* – ручное программирование. На этом уровне подготовки УП производится вручную с применением настольных или карманных калькуляторов и устройств подготовки данных на перфоленте (УПДЛ).

*Второй уровень (низкий)* – использование ЭВМ для обработки некоторых задач, в основном расчетно-вычислительного характера.

*Третий уровень (средний)* – обработка на ЭВМ отдельных переходов.

*Четвертый уровень (высокий)* – разработка с помощью ЭВМ оперативно-технологического процесса, а также всех этапов подготовки УП. Для понимания процесса выполнения расчетов УП с помощью ЭВМ рассмотрим организацию ручного программирования. Для успешного проведения расчетов последовательность их должна быть тщательно проработана и выделена в виде методики. При необходимости данная методика выдается разработчику для выполнения расчетов. В методику подготовки УП необходимо включить редактирование УП, которое будет зависеть от типа УЧПУ.

Основные этапы ручной подготовки УП также зависят от конкретных условий производства и конкретной работы станков с ЧПУ (токарных, фрезерных, сверлильных и т.д.).

### **Составление расчетно-технологических карт**

Основными документами для составления расчетно-технологической карты (РТК) являются чертеж детали и технологический процесс механической обработки детали. На первом этапе на основе попереходного технологического процесса выполняется технологический эскиз механической обработки детали в соответствии с ГОСТом 3.1404-86, форма 2 «Оформление ОК на технологическую операцию, выполняемую на станке с ЧПУ» (рис. 5.1). Эскиз выполняется либо на поле ОК, либо отдельно, зависит от размеров детали и количества переходов. После выполнения эскиза технолог составляет РТК. РТК содержит законченный план обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми размерами. По данным РТК технолог-программист может рассчитать полностью числовую программу автоматической работы станка, не обращаясь к детали или каким-либо другим источникам.

### **Последовательность заполнения РТК**

1. Вычерчивают деталь в прямоугольной системе координат, выбирая исходную точку  $O$  – начало координат. При многоинструментальной обработке могут быть выбраны несколько исходных положений (ИП) для каждого инструмента. Поверхности заготовки и детали, подлежащие обработке, вычерчиваются в масштабе с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2. Определяют базовые поверхности зон крепления детали и прижимов в соответствии с техническими условиями на приспособления.

3. Наносят траекторию движения центра инструмента в двух плоскостях системы координат. При многоинструментальной обработке изображается траектория движения каждого используемого инструмента. Началом и концом траектории движения инструмента является ИП. Если ИП не совпадает с началом координат, то в этом случае оно должно быть задано координатами относительно этого начала. Траектории движения наносят с учетом параметров последовательности обработки и траекторий, намеченных в инструментальных переходах.

4. На траектории движения инструмента отличают и обозначают цифрами опорные точки траектории и ставят стрелки, указывающие на направления движения. Опорные точки необходимо намечать по геометрическим технологическим признакам. Это те точки, в которых изменяются какие-либо характеристики инструмента (например, изменения режимов резания и т.д.).

5. При необходимости указываются места контрольных точек, в которых предусматривается кратковременная остановка инструмента, контроль, переустановка детали и т.д.

6. Необходимо особо указывать опорные точки, координаты которых определяются графически, непосредственно на РТК.

7. На РТК наносят следующие данные: тип станка, шифр и наименование, материал детали. Указывают способ получения заготовки, базовые поверхности, способ крепления заготовки, параметры инструмента и режимы его работы на отдельных участках.

РТК является одним из основных технологических документов, она шифруется и заносится в следующую картотеку.

При построении траектории движения центра инструмента на РТК соблюдаются следующие требования:

1. Подводить инструмент к обрабатываемой поверхности и отводить его следует по специальным траекториям, т.е. вспомогательными перемещениями (быстрым холостым перемещением из ИП к обрабатываемой поверхности детали и точке перехода на рабочий ход, которая должна быть определена как опорная).

2. Недопустима остановка инструмента в процессе работы и резкое изменение режимов резания, когда режущая кромка инструмента соприкасается с обрабатываемой поверхностью детали. Перед изменением режимов резания или остановкой резания необходимо инструмент отвести в ИП.

3. Длина холостых ходов в процессе обработки должна быть минимальной.

4. Для устранения влияния на точность обработки люфтов станка необходимо предусматривать дополнительные петлеобразные переходы в зонах реверса, обеспечивающие выбор люфтов.

5. При необходимости по расчетной силе резания следует определить возможную деформацию детали (инструмента) и ввести требуемое искажение траектории.

Дубл.		Взам.		Побп.		Гост 3.1404-86		Форма 2	
Разроб.	Иванов	10.12.85	НПО	АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX
Нормир.	Васильева	11.12.85	"РИТМ"	АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX
Н.контр.	Дорова	12.12.85	Плита	АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX	XXXXXX.XXXXXXXX
Rz80		Вид по стрелке А повернуто		Наименование операции		Материал			
		Фрезерная		30ХГСА					
		Твердость		ЕВ МД		Протиль, разм. заготов.		МЗ КВИД	
		кз 2,650		Лист 208x160x30		3,150		1	
		Оборудование, устройство ЧПУ		Обозначение программы					
		6Т12К-1; Н22-1М		XXXXXX.XXXXXXXX					
		То Т0 Тпз Тшт		Сож					
		5,04 2,38 3,15 8,27		Эмульсия					
		D или B		L		t		S	
Р	Ø1	1.	Фрезеровать полки по всей длине, выдерживая размеры 1 и 2.	1,52	3,4				
Т	Ø2	АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	тиски; АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	штулка; АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	фреза ВКВ				
Ø3	АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	шаблон; АБВГ.ХХХХХ.ХХХ	контрольное приспособление						
Р	Ø4	Ø21	40	215	2,5	4	0,2	315	38
Ø5	Ø6	2.	Контроль исполнителем	0,46	1,24				
Ø7	Ø8								
Ø9	10								

Рис. 5.1. Оформление ОК на технологическую операцию, выполняемую на станке с ЧПУ. ГОСТ 3.1404-86

## **6. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ ФРЕЗЕРНОЙ ГРУППЫ. СХЕМЫ ОБРАБОТКИ КОНТУРОВ, ПЛОСКИХ И ОБЪЕМНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ**

Подготовка управляющих программ (УП) для станков с ЧПУ требует решения ряда технологических задач, многие из которых не возникали при разработке операционного технологического процесса для станков с ручным управлением. Вследствие ограниченных возможностей вмешательства оператора в автоматический цикл обработки на станке с ЧПУ отработка реализуемого в УП операционного технологического процесса экономически оправдана только при большом объеме серии изделий. Обеспечить экономичность и надежность обработки на станках с ЧПУ позволяет применение проверенных на практике типовых технологических решений, которые значительно уменьшают трудоемкость подготовки УП вручную и служат основой автоматизированной подготовки УП на ЭВМ.

Операции фрезерования начинают с черновой обработки поверхностей большой протяженности, затем производят их чистовую обработку. Далее обрабатывают большие, а следом мелкие отверстия. При программировании технологических переходов фрезерования применяют типовые схемы обработки (контуров, плоских поверхностей, объемной обработки) и разработанные на их основе единичные циклы обработки элементов деталей.

**Схемы плоской обработки контуров.** Обработку контуров ведут, как правило, концевыми фрезами. Траектория перемещения при этом состоит из участков подвода фрезы к обрабатываемой поверхности, прохода ее вдоль обрабатываемого контура и отвода от обработанной поверхности. Участок подвода фрезы к обрабатываемой поверхности включает участок врезания.

При чистовой обработке детали участок врезания должен быть построен таким образом, чтобы значение силы резания нарастало и плавно приближалось к значению силы, действующей на рабочем участке обрабатываемого профиля. Для этого ввод инструмента в зону резания осуществляется по касательной к обрабатываемому контуру.

При черновой обработке детали врезание чаще производят по нормали к контуру. Аналогично строят участки вывода фрезы из зоны резания.

Типовые схемы плоской обработки контуров приведены на рис. 6.1.

При обходе контура детали траектория перемещения инструмента может иметь участки с резким изменением направления движения. Таким участкам вследствие упругих деформаций инструмента и динамических погрешностей привода подач станка, как правило, могут соответствовать искажения контура. Исключения искажения контура или уменьшения его величины добиваются путем изменения припуска на обработку, предиска-

жения траектории инструмента, регулирования подачи. Часто применяются различные сочетания указанных приемов.

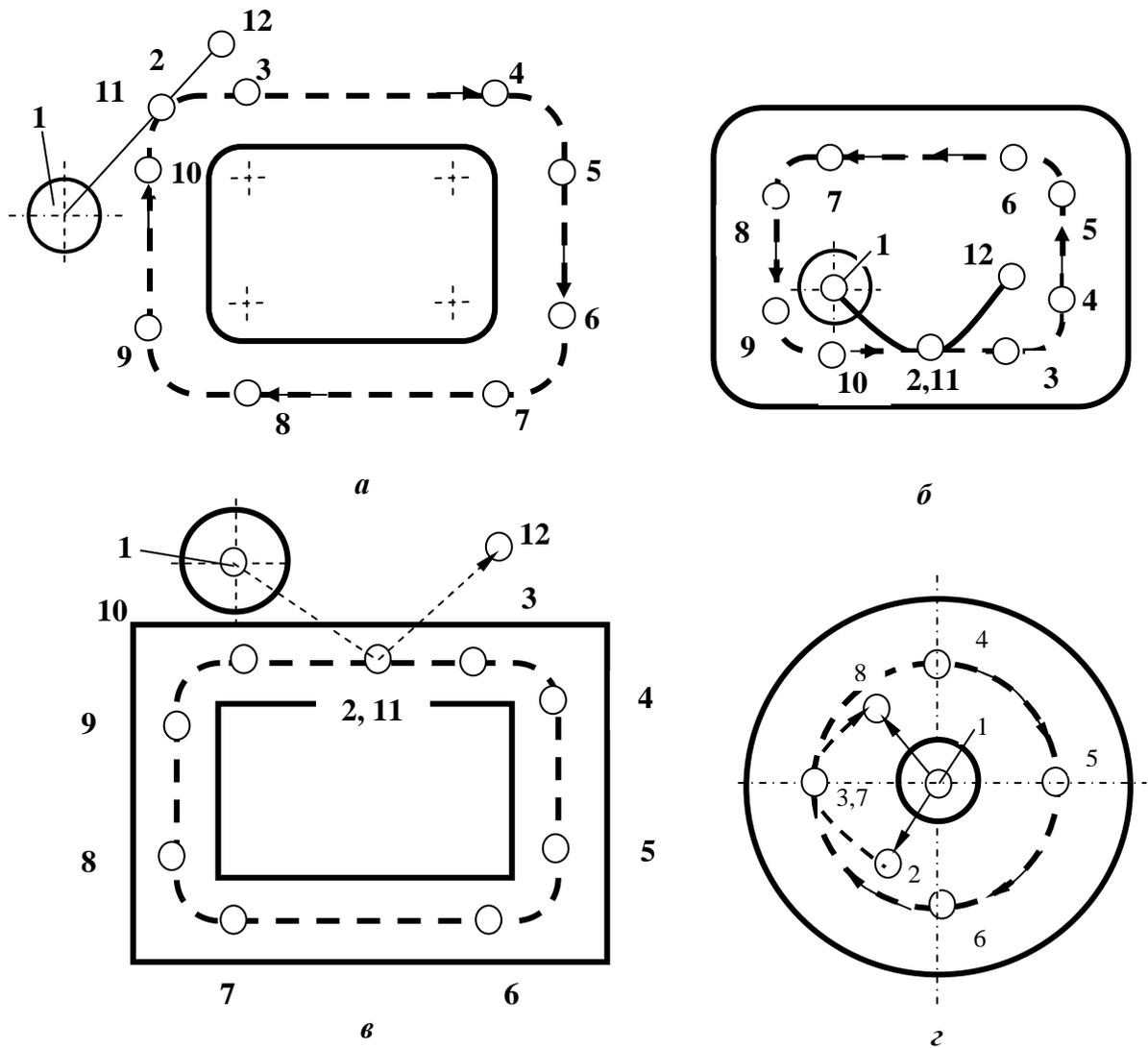


Рис. 6.1. Схемы обработки контуров: а, в – наружного; б, г – внутреннего

**Схемы обработки плоских поверхностей.** Обработку плоских поверхностей (плоскостей) ведут преимущественно концевыми и торцевыми фрезами. В зависимости от расположения обрабатываемых плоскостей относительно граничащих с ними элементов детали различают открытые, полуоткрытые и закрытые плоскости. Граница открытой плоскости не является препятствием для ввода и вывода инструмента на всех ее участках. Полуоткрытая плоскость имеет границу, на одном из участков которой можно вводить и выводить инструмент на уровне плоскости. Закрытая плоскость ограничена со всех сторон стенками (инструмент вводят в зону резания либо сверху, либо врезанием).

Обработка открытых плоскостей ведется по схеме «зигзаг» при черновом фрезеровании (рис. 6.2, а) и по схеме «петля» – при чистовом фрезеровании (рис. 6.2, б). Для обработки полуоткрытых плоскостей применяется схема «лента» (рис. 6.2, в). Закрытые плоскости обрабатываются по схеме «виток» (рис. 6.2, г).

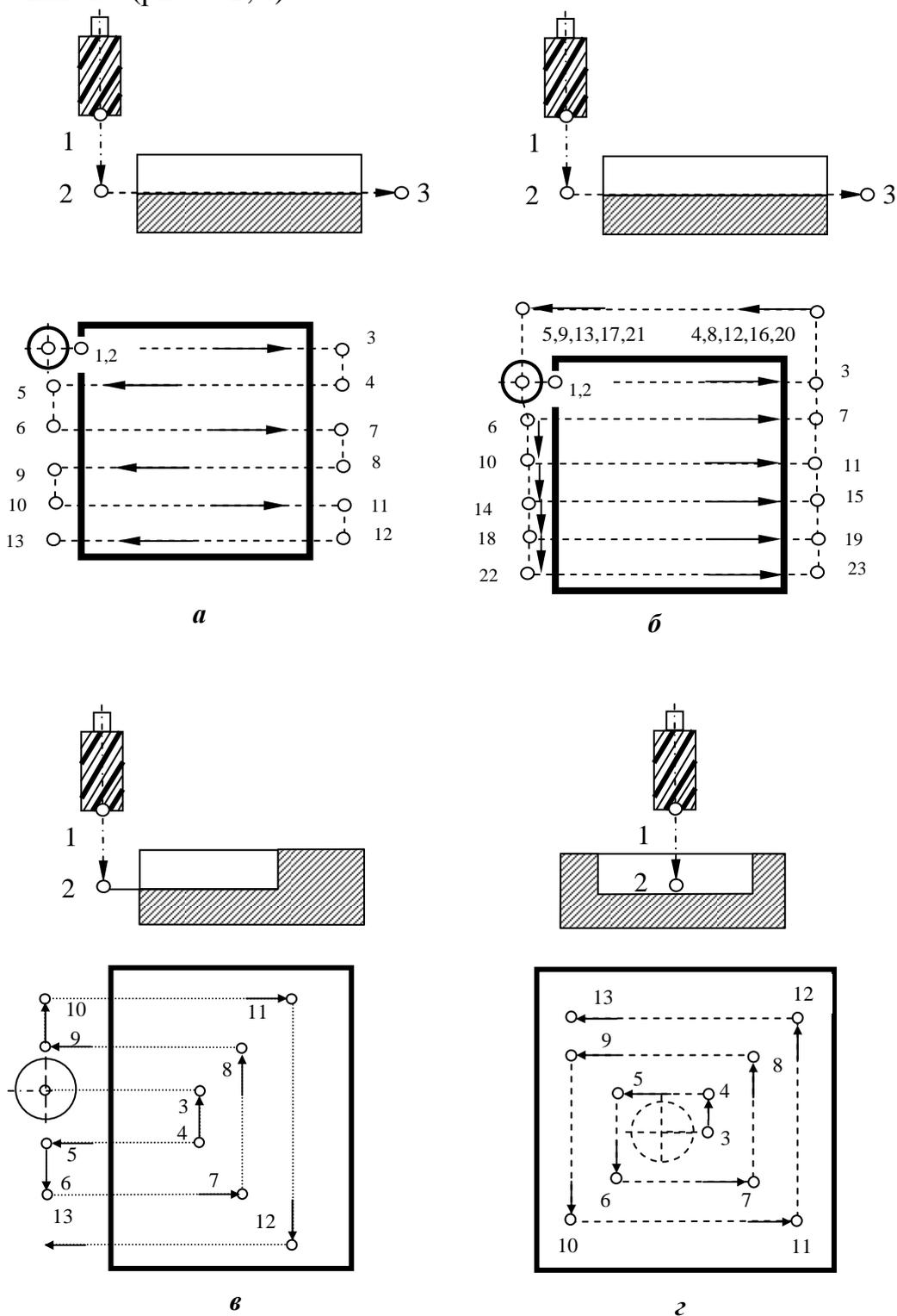


Рис. 6.2. Типовые схемы обработки плоскостей

Для обработки закрытой плоскости, ограниченной окружностью, лучшей траекторией, обеспечивающей равномерное снятие припуска, является архимедова спираль.

Такая траектория может быть получена на станке с поворотным столом при обработке плоскости, ограниченной окружностью с центром, совпадающим с осью вращения стола (столу сообщается равномерное вращательное, а фрезе – равномерное поступательное движение).

Однако совмещение центра окружности с осью вращения стола всегда связано с дополнительными затратами времени, особенно при обработке деталей с большим количеством таких плоскостей.

Поэтому на станках с линейно-круговой интерполяцией обработку закрытой плоскости, ограниченной окружностью, ведут по спирали, образованной сопряженными дугами окружностей.

Такие спирали строят с двумя и четырьмя полюсами. Двухполюсная спираль (рис. 6.3, а) образуется из сопряженных дуг полуокружностей, центры которых поочередно находятся в полюсах А и В.

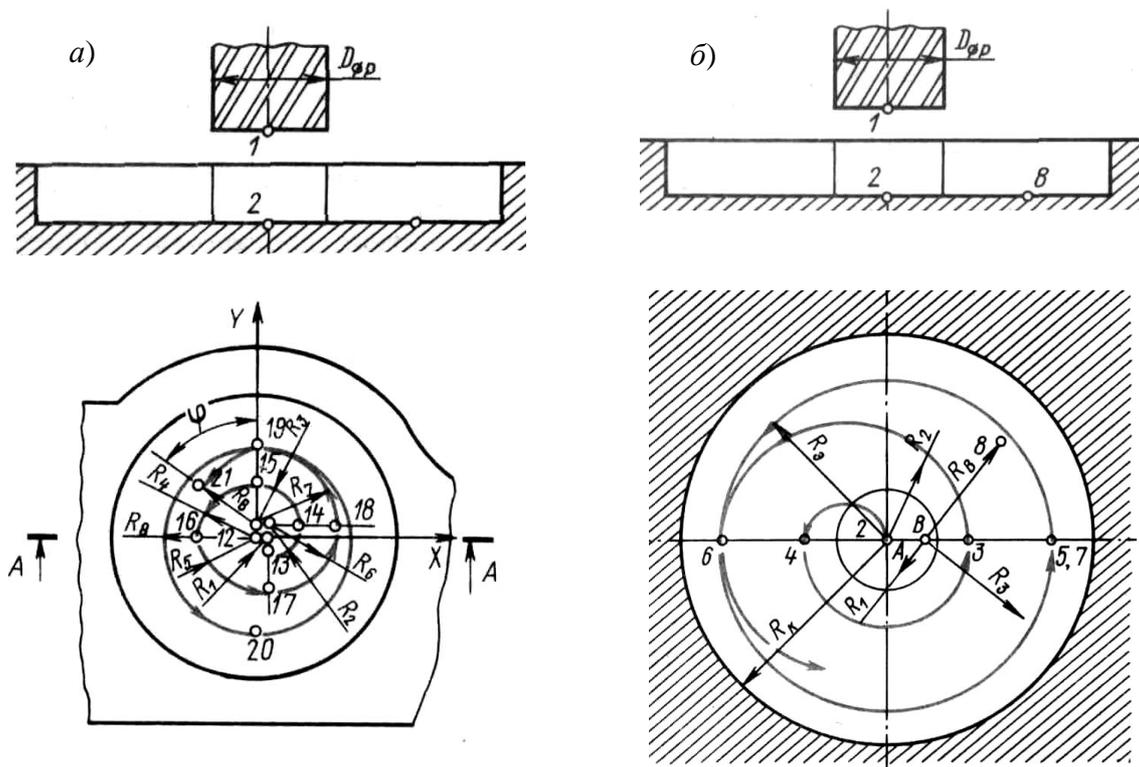


Рис. 6.3. Схемы обработки закрытой плоскости, ограниченной окружностью

Полюс А располагается в центре окружности  $R_k$ , ограничивающей закрытую плоскость.

Полюс В находится от полюса А на расстоянии, равном половине шага  $h$  спирали, который выбирают из условия ее сопряжения с окружностью  $R_3$ , эквидистантной окружности радиуса  $R_\phi$  ( $R_3 = R_k - \frac{D_\phi}{2}$ , где  $D_\phi$  – диаметр фрезы). Значение  $h$  находят из выражения  $h = R_k \cdot \frac{a}{R_3}$ , где  $a$  опре-

деляют из условия  $\frac{R_3}{0,6 \cdot D_\phi} \geq a \geq \frac{R_3}{0,8 \cdot D_\phi}$  и меньшее его значение округляют до большего целого числа.

Спираль, изображенная на рис. 6.3, а, образована дугами полуокружностей радиусов  $R_1$  и  $R_3$  с центрами в полюсе В и дугой полуокружности радиуса  $R_2$  с центром в полюсе А. Начинается спираль в центре окружности радиуса  $R_k$ .

Четырехполюсная спираль (рис. 6.3, б) образуется из сопряженных четвертей окружностей с центрами в полюсах А, В, С и D. Полюсы располагаются в вершинах квадрата со стороной, равной четверти шага спирали. Квадрат полюсов строят так, чтобы его стороны были параллельны осям окружности радиуса  $R_k$ , а одна из вершин (полюс А) совпала с центром этой окружности. Шаг спирали выбирают так же, как и при построении двухполюсной спирали.

Схемы обработки пазов концевыми, торцевыми и дисковыми фрезами показаны на рис. 6.4.

При обработке шпоночного паза концевой фрезой для ее ввода в зону резания предварительно сверлят отверстие (рис. 6.4, а).

Фрезерование полуоткрытой плоскости паза торцевой фрезой ведут, как правило, после предварительной обработки его боковых сторон концевой фрезой.

Пазы, полученные концевой фрезой, превращают обрабатываемую плоскость в открытую и позволяют использовать при торцевом фрезеровании схемы «зигзаг», «петля» и «елочка» (рис. 6.4, б).

Последняя схема реализуется также при обработке сквозного паза трехсторонней дисковой фрезой (рис. 6.4, в).

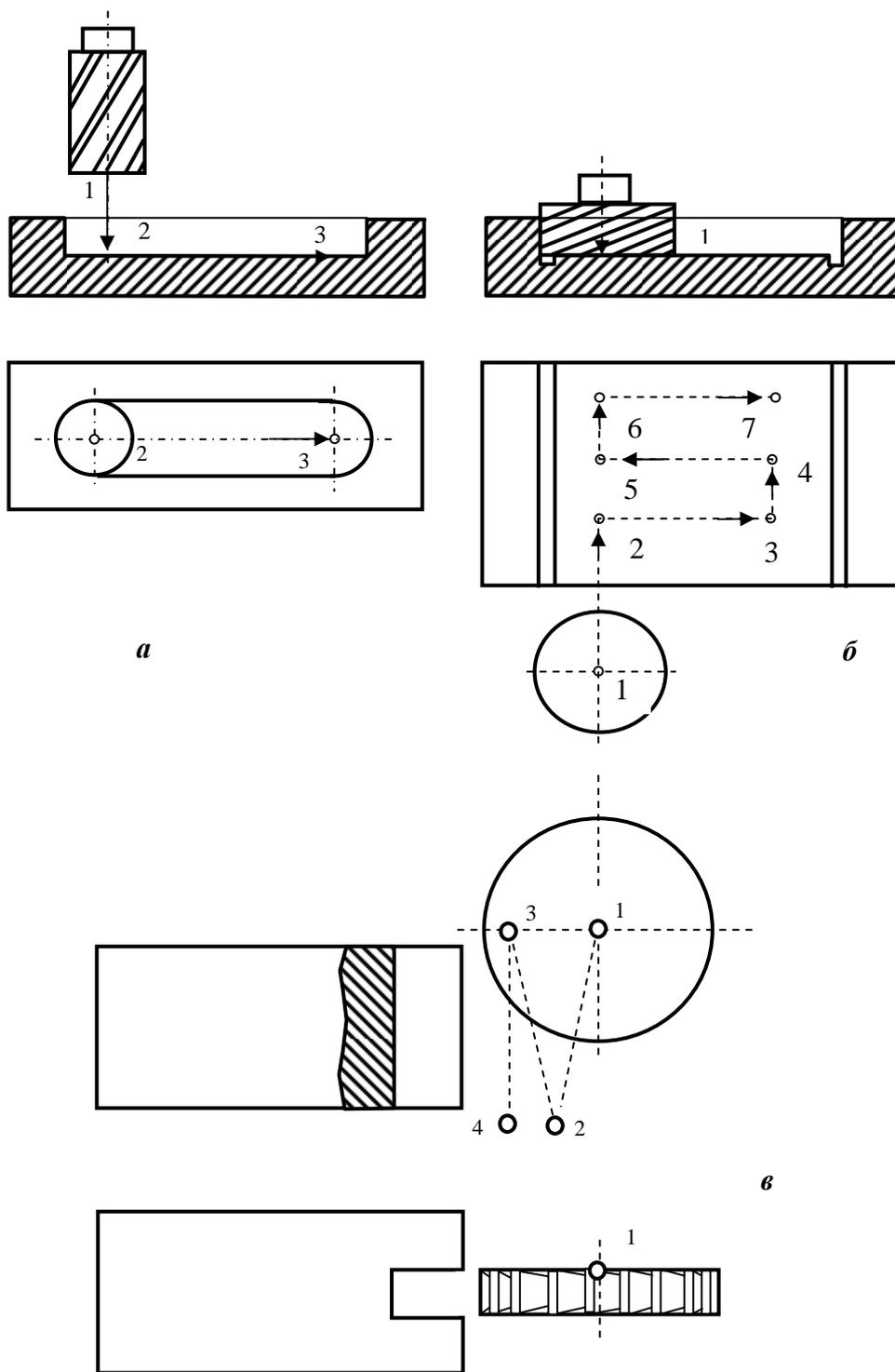


Рис. 6.4. Схемы обработки пазов

**Траектории вспомогательных ходов при контурном фрезеровании.** При проектировании траектории движения инструмента следует уделять внимание методам построения вспомогательных ходов. Обработку

фрезерованием внешнего контура рекомендуется начинать врезанием фрезы по касательной к нему (рис. 6.5). Участок  $L_1$  – путь, на котором скорость холостого хода  $v_{s_{X.X}}$  снижается до скорости подачи врезания  $v_{s_{BP}}$ . На участке  $L_2$  происходит врезание фрезы с дальнейшим снижением скорости подачи до рабочего  $v_{s_{P.X}}$ .

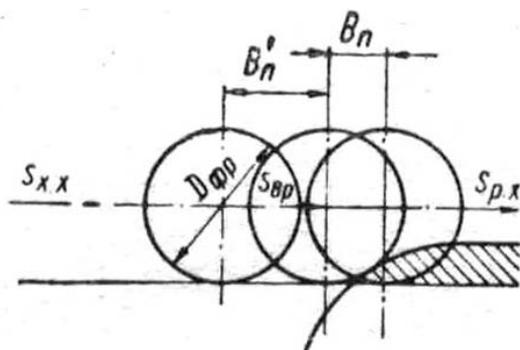


Рис. 6.5. Схема врезания фрезы для наружного контура

Врезание фрезы в припуск на внутренних поверхностях детали производится по криволинейной траектории. Наиболее благоприятной траекторией является участок окружности радиуса, при котором путь врезания примерно равен  $(3...4)t$  ( $t$  – глубина резания) (рис. 6.6).

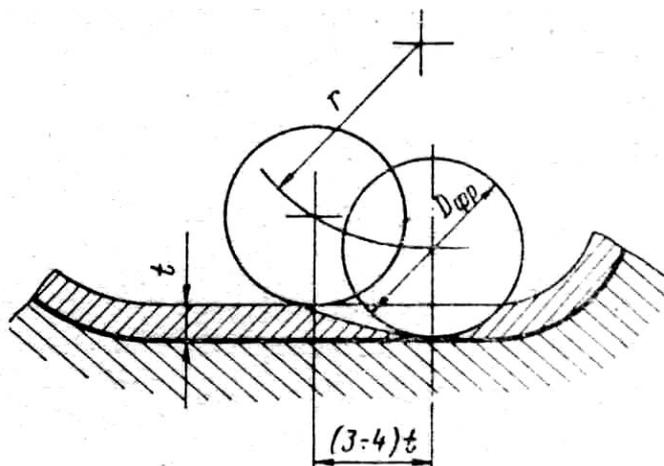


Рис. 6.6. Схема врезания фрезы в припуск на внутренних поверхностях

Наружный контур может иметь прямые, тупые и острые углы. Траекториями обвода углов при этом являются дуги окружности с радиусом, равным радиусу фрезы (рис. 6.7, а). Часто вместо перемещений по дуге используются дополнительные петлеобразные перемещения (рис. 6.7, б).

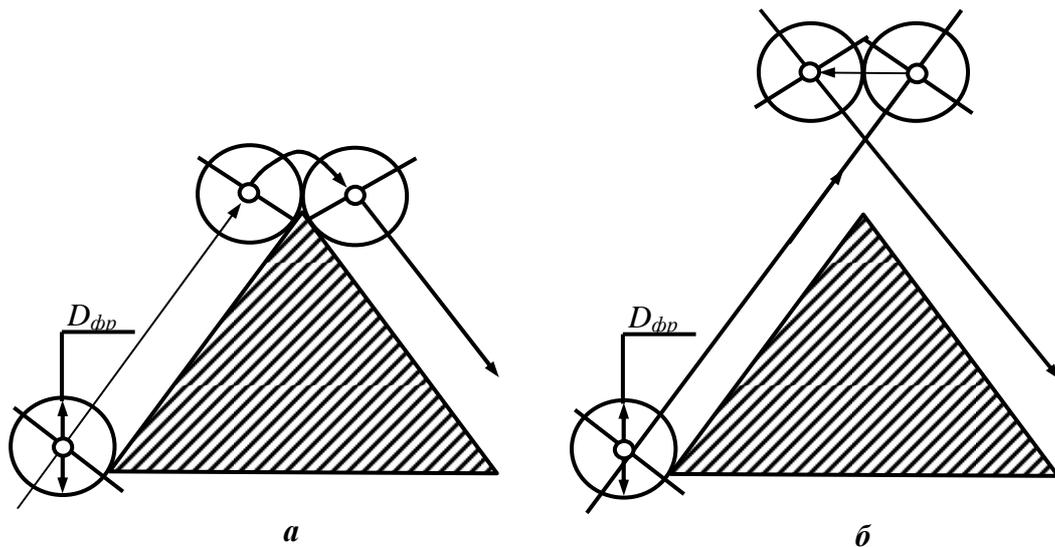


Рис. 6.7. Схемы траекторий инструмента при обходе углов

**Схемы объемной обработки.** Для определения траектории инструмента при объемной обработке детали используется метод сечения обрабатываемых поверхностей направляющими поверхностями одного семейства. Такими семействами являются пучки параллельных плоскостей, пучки плоскостей, проходящих через заданную ось, пучки соосных цилиндров и т.п. Пучки направляющих поверхностей выбирают с учетом координатных перемещений рабочих органов станка.

Наиболее часто встречаются направляющие плоскости, параллельные одной из координатных плоскостей станка.

Следы пересечения обрабатываемых и направляющих поверхностей образуют линии фрезы для проходов по строкам.

На трехкоординатных фрезерных станках обработку ведут по схемам «строка» (рис. 6.8, а) или «зигзаг» (рис. 6.8, б). Расстояния между строками выбирают в зависимости от радиуса режущей части фрезы и требований к точности и шероховатости поверхности.

При многокоординатной (по четырем, пяти и более координатам) обработке детали наряду с поступательными перемещениями меняется ориентация оси инструмента. Причем наиболее часто используется обработка поверхности с поворотом оси инструмента вокруг некоторой фиксированной точки (рис. 6.8, в) и обработка при некотором постоянном угле  $\alpha$  между осью инструмента и нормалью к обрабатываемой поверхности (рис. 6.8, г).

Приведенные основные схемы объемной обработки детали используются для построения траектории инструмента в различных комбинациях. Выбор варианта обработки определяется видом обрабатываемой поверхности, формой режущей части инструмента и возможностями станка.

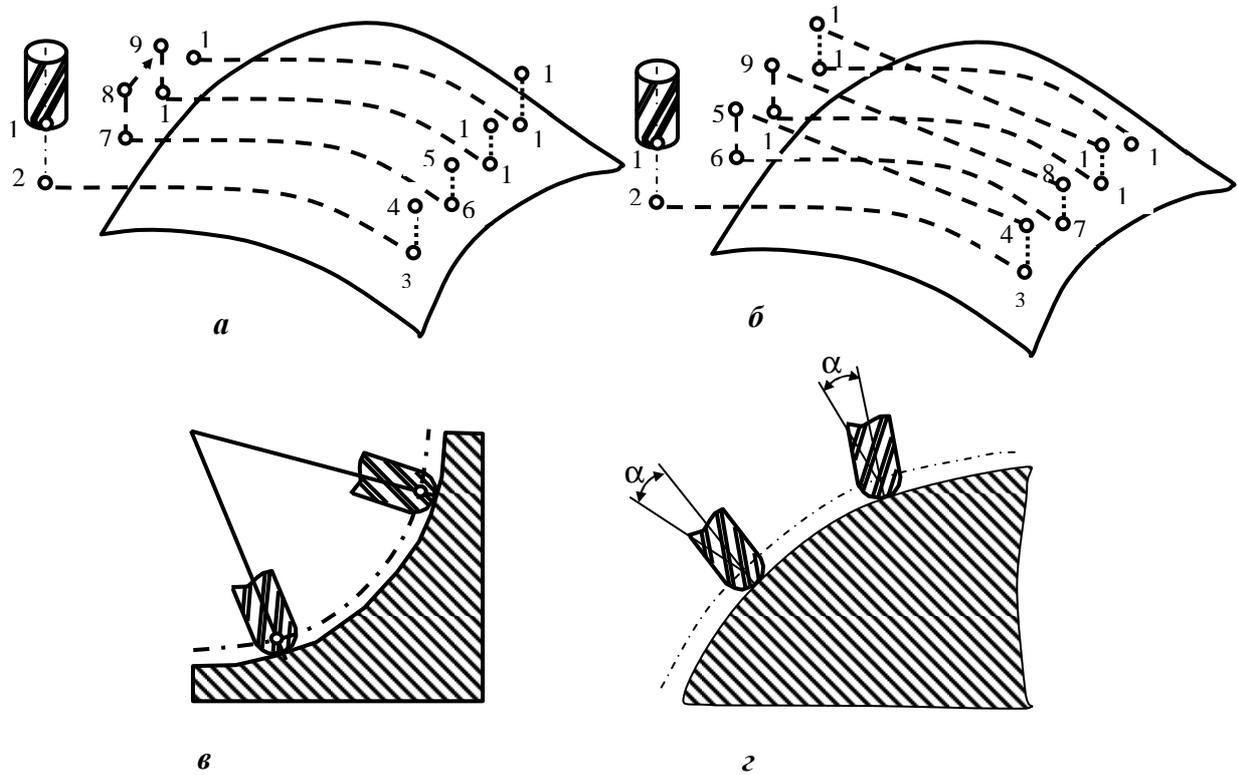


Рис. 6.8. Схемы объемной обработки поверхностей

## 7. РЕАЛИЗАЦИЯ ПОСТОЯННЫХ ЦИКЛОВ ПРИ ОБРАБОТКЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ ГРУППЫ. СПОСОБЫ КОРРЕКЦИИ ВЫЛЕТА ИНСТРУМЕНТА

**Реализация постоянных циклов обработки отверстий.** Такие циклы реализуются заданием подготовительных функций G81 – G89. Каждая из них, согласно ГОСТ 20999-83, определяет конкретную операцию или переход (с перемещением по оси  $Z$ ): сверление или центрование (G81), сверление или зенкерование с паузой в конце рабочего хода (G82), глубокое сверление (G83), нарезание резьбы (G84) и др. Как правило, в современных УЧПУ подпрограммы для реализации указанных функций постоянно находятся в памяти УЧПУ и достаточно указать в кадре УП требуемую функцию и числовое значение формальных параметров, необходимых для выполнения конкретной операции. Для большинства постоянных циклов этих параметров два:  $R$  и  $z$ . Параметр  $R$  в большинстве УЧПУ определяет координату, с которой начинается рабочая подача при исполнении заданного постоянного цикла. Эта величина сохраняется в памяти УЧПУ до считывания нового значения  $R$ . Параметр  $z$  в постоянном цикле определяет координату точки, в которую инструмент смещается на рабочей подаче.

При введении постоянных циклов существенное значение для параметров  $R$  и  $z$  имеет расположение нуля станка (начало координатной системы станка) относительно обрабатываемой детали в направлении оси  $Z$ .

В УЧПУ с фиксированным началом координат станка параметры  $R$  и  $z$  в постоянных циклах отсчитываются от нулевой плоскости в одном направлении (рис. 7.1, *а*), поэтому кадр задания постоянного цикла, например, сверления, имеет вид

```
N{..} G81 Z157.5 R177. LF
```

В кадре указываются координаты точки 1 ( $R$ ) и конечной точки 2 ( $z$ ). Программирование постоянных циклов значительно удобнее для станков с УЧПУ, имеющих «плавающий ноль». В таких УЧПУ по командам УП или с пульта УЧПУ можно смещать ноль станка в любую точку по всем осям, в частности, по оси  $Z$ . В ряде УЧПУ по оси  $Z$  смещается нулевая плоскость ХМУ (рис. 7.1, *б*). Тогда в кадре, предшествующем кадру с указанием постоянного цикла, должна быть команда на смещение нуля по оси  $Z$ . После смещения нуля точка  $M$  начала координат станка будет располагаться в плоскости, параллельной плоскости детали (в точке  $M'$ , рис. 7.1, *б*). Для

рассмотренного случая величина  $R$  будет равна нулю, а значение  $z$  будет со знаком минус (в отсчете вниз от новой системы координат  $X'M'Z$ ):

N(i) G59 Z177. LF

N{i+1} G81 Z-19.5 RO. LF

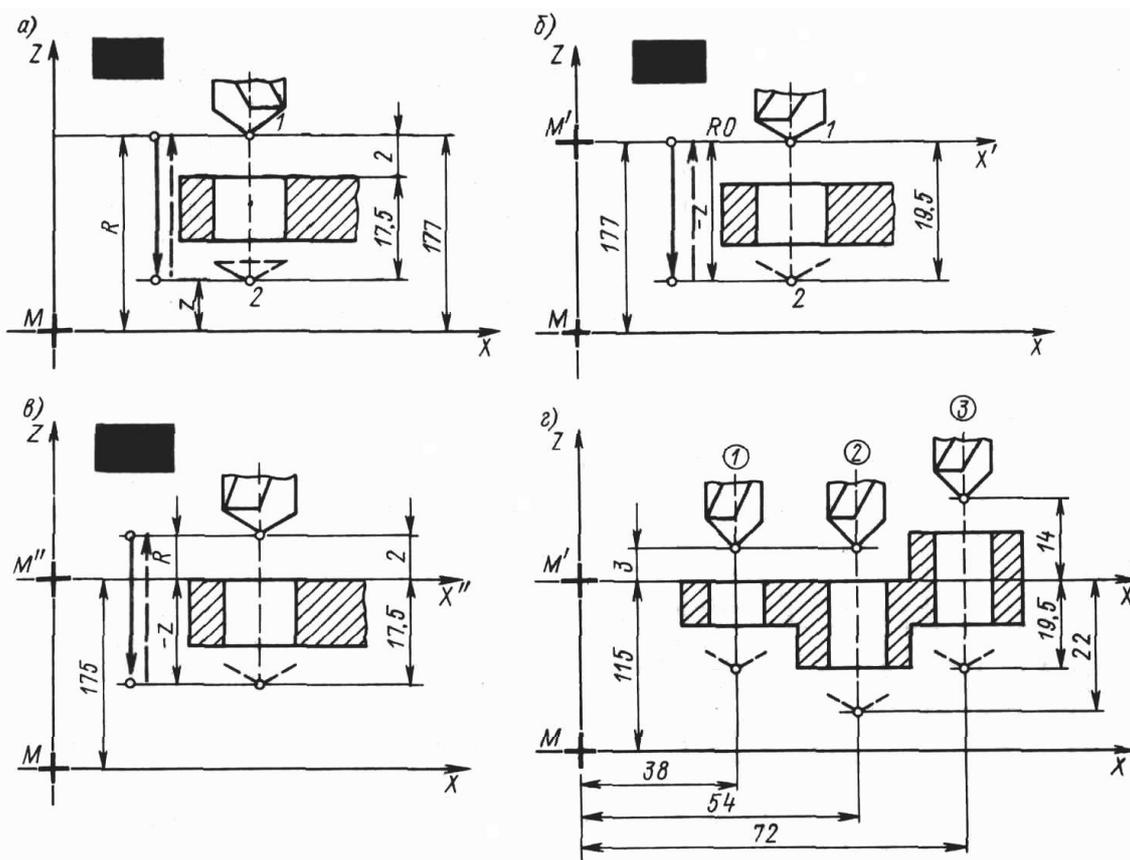


Рис. 7.1. Схемы задания параметров  $R$  и  $z$  в постоянных циклах

Определенные удобства создаются для программирования, если УЧПУ имеют команды на сдвиг нуля, кодируемые функциями G92, G54 – G59. В этом случае при программировании постоянных циклов нулевую плоскость совмещают с верхней плоскостью детали (рис. 7.1, в). Тогда при задании цикла указывают величину  $R$ , которая означает здесь недоход инструмента до обрабатываемой поверхности, и величину  $z$  – рабочий ход инструмента. При этом полный рабочий ход так же, как и обратный – холостой ход, будет равен сумме  $R + z$ . При таком задании цикла достаточно просто обрабатывать одинаковые отверстия, расположенные на ступенчатой поверхности. Например, кадры УП для обработки трех отверстий 1 – 3, расположенных рядом (рис. 7.1, з), имеют вид:

N{i} G59 Z115. LF (смещение нуля по оси  $z$ )

N {i+1} G81 R3. Z-19.5 LF (сверление отверстия 1)  
N {i+2} G60 X54. LF  
N {i+3} R3. Z-22. LF (сверление отверстия 2)  
N {i+4} R14. LF (подъем инструмента на уровень  $R = 14$ )  
N{i+5}X72. LF  
N {i+6} Z-19.5 LF (сверление отверстия 3)  
N{i+7} G80 ... LF

Как видно из программы, действие команды G81 (постоянный цикл) распространяется на последующие кадры. Действующий постоянный цикл отменяется указанием функции G80. В рассматриваемом примере смещение нуля кодируется функцией G59. Эта команда сохраняется в УП до введения аналогичной команды с новым числовым значением или до команды G53 (отмена смещения, но только для кадра, где G53 записано). Смещение нуля лишь в одном кадре обычно записывается функцией G92. При использовании функции G59 возврат нуля в систему координат станка кодируется этой же функцией (G59) с нулевым числовым значением:

N{i} G59 ZO. LF

**Кодирование процесса замены инструмента.** Эта задача во многом зависит от конструктивных особенностей станка и УЧПУ.

В большинстве случаев требуются, как минимум, две команды, задаваемые в последовательных кадрах УП. В первой команде с адресом T указывается требуемый инструмент, а по второй команде (M06) он устанавливается в шпинделе. По команде M06, кроме того, снимается отработавший инструмент и возвращается в магазин (при наличии магазина на станке).

Как правило, процесс замены инструмента у станков выполняется только в определенном (безопасном) положении шпинделя (шпиндельной бабки). В это положение шпиндель автоматически приходит по команде M06 или по специальной команде, которую надо указывать в кадрах УП, предшествующих команде M06.

Указание инструмента в кадрах УП обычно сопровождается указаниями по его коррекции. Как уже говорилось, совместно с кодом инструмента указывается номер его корректора. Так, для инструмента с кодом T08 и корректором 06 общая запись команды на инструмент имеет вид T0806.

Для задания осепараллельной коррекции длины инструмента, что характерно для станков сверлильной группы, используют подготовительные функции G43 и G44. Для коррекции вылета инструмента (рис. 7.2) в

корректор заносится абсолютная разность между расчетной и действительной аппликатами вершины инструмента ( $z_0 - z_1 = \Delta z$  или  $z_0 - z_2 = \Delta z$ ) и в УП записывается

`N{i}...G44...Z{ZO}...T0806...`,

если инструмент короче запрограммированного. Если же инструмент длиннее запрограммированного, то кадр будет таким:

`N{i}...G43...Z{ZO}...T0806...`

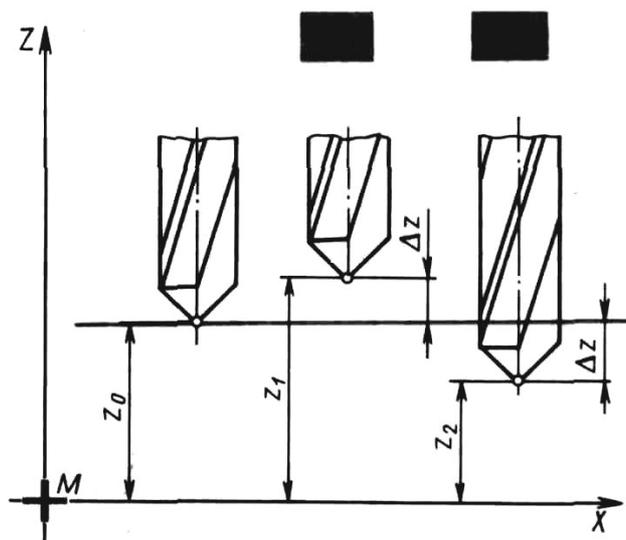


Рис. 7.2. Схема для определения коррекции вылета инструмента

При этом предполагается, что величина  $\Delta z$  установлена на корректоре указанного номера (в данном примере на корректоре 06).

В современных УЧПУ, однако, в большинстве случаев коррекция на длину инструмента задается с адресом H. В этом случае функция G43 определяет, что числовое значение смещения, установленное на корректоре (со знаком + или -), прибавляется к заданной координате. Функция G44 означает, что величина смещения, установленная на корректоре с адресом H, снимается от заданного в данном кадре значения координатного размера.

В ряде случаев корректор инструмента может указываться отдельным адресом, например, D.

## **8. ОПЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ. ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ. ТИПОВЫЕ СХЕМЫ ПЕРЕХОДОВ. ВЫБОР РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБХОДА КОНТУРА**

Область применения станков с ЧПУ достаточно широка как по характеру технологических операций, так и по типам производства, для которых они предназначаются.

К основным условиям целесообразности можно отнести следующие:

1) обработку отверстий сложной геометрической формы, требующих применения нескольких последовательно работающих инструментов, а также обработку групп отверстий на сверлильных и расточных станках. Эти виды обработки могут быть выполнены на станках с ЧПУ без применения специальной оснастки, которая используется обычно на универсальных станках;

2) необходимость построения процесса по принципу концентрации операций, т. е. сосредоточения возможно большего числа однотипных видов обработки на одном рабочем месте;

3) необходимость уменьшения доли вспомогательного времени, которое затрачивается в рассматриваемой операции на приемы, связанные с изменением режимов резания, переходом с обработки одной поверхности на другую, сменой режущего инструмента и т. п., что обычно имеет место при последовательной обработке нескольких поверхностей на универсальных станках;

4) обработка нескольких аналогичных деталей на одном станке, как это имеет место в условиях серийного производства. В этом случае обработка на станках с ЧПУ позволяет сократить время на переналадку оборудования;

5) возможность сокращения числа рабочих введением многостаночного обслуживания.

Технологический процесс механической обработки с перспективой применения станков с ЧПУ в отношении последовательности операций обработки, состава операций, выбора моделей станков в принципе подчиняется тем же правилам, что и для станков с обычным управлением; т.е. первоначально может быть составлен технологический процесс с ориентацией на обычные станки, а далее проводятся следующие работы:

1) выявление операций, на которых применение станков с ЧПУ принципиально возможно;

2) выбор станка с ЧПУ, который возможно применить на намеченных операциях;

3) технологическая разработка чертежа детали (операционного эскиза) для выполнения намеченной операции на станке с ЧПУ;

4) составление расчетно-технологической карты команд и величин перемещений исполнительных органов станка с ЧПУ;

5) технико-экономическое обоснование применения станка с ЧПУ.

Нормирование операции на станке с ЧПУ может быть выполнено только после переработки чертежа детали или операционного эскиза таким образом, чтобы он был пригоден для составления расчетно-технологической карты команд и величин перемещений исполнительных органов станка.

Когда операция пронормирована, необходимо на основании технико-экономического расчета путем определения приведенных часовых затрат на рабочем месте показать целесообразность применения станка с ЧПУ.

Технологическая переработка чертежа или операционного эскиза для операции, на которой предполагается использовать станок с ЧПУ, ведется различными способами в зависимости от типа и модели станка и характера выполняемой операции. Данные для выполнения этой работы содержатся также в технической документации на станок.

Расчетно-технологическая карта составляется на основании подробной разработки операции технологического процесса и переработанного чертежа. В карте последовательно указываются все команды для реализации запрограммированной обработки, величины, скорости и направления перемещений. В дальнейшем эти данные преобразуются в систему команд программноносителя, предусмотренного выбранным станком.

Особенностью составления операционной технологии для станков с ЧПУ является оценка возможности совмещения в одной операции переходов черновой и чистовой обработки, что допустимо при достаточной жесткости заготовки, за счет чего можно обеспечить уменьшение влияния погрешностей закрепления на окончательную точность обработки.

На втором шаге синтеза операции необходимо окончательно разработать схему установки заготовки, выбрать вид приспособления и схему его ориентации в рабочем пространстве станка. Затем окончательно выбирается режущий и вспомогательный инструмент. На этом же этапе определяется необходимость применения инструментов-дублеров.

Если  $N_{\text{парм}}\tau_{oi} < T_i$  ( $N_{\text{парм}}$  – размер партии деталей,  $\tau_{oi}$  – основное время на  $i$ -тый инструментальный переход,  $T_i$  – период стойкости), то дублеров не нужно.

Если  $N_{\text{парм}}\tau_{oi} > T_i$ , то предусматривается дублер. Затем уточняется модель станка по количеству мест для инструментов.

На третьем шаге выбирается последовательность выполнения переходов.

При токарной обработке в центрах рекомендуется следующая последовательность операций:

1) предварительная обработка поверхностей основного контура для удаления припуска;

2) обработка дополнительных элементов (канавок, закрытых поверхностей);

3) чистовая обработка поверхностей основного контура и (если нужно) дополнительных элементов;

4) черновая и чистовая обработка резьбовых поверхностей. При токарной обработке в патроне рекомендуется следующая последовательность выполнения переходов:

– центрование (выполняется при необходимости сверления отверстия диаметром менее 20 мм);

– сверление (если отверстие ступенчатое, то сначала большим сверлом);

– предварительное и окончательное подрезание торца;

– предварительное обтачивание поверхностей основного наружного контура;

– предварительное растачивание поверхностей основного внутреннего контура;

– предварительная и чистовая обработка дополнительных элементов наружного, а затем и внутреннего контура;

– чистовая обработка поверхностей основного внутреннего, а затем и наружного контура;

– предварительная и чистовая обработка резьб.

Припуск из открытых и полукрытых зон при токарной обработке удаляется за несколько проходов согласно следующим типовым схемам:

1) петля – по окончании рабочего хода инструмент отводится на расстояние около 0,5 мм от обработанной поверхности, возвращается на ускоренной подаче назад и затем подается к оси заготовки для нового прохода;

2) виток (зигзаг) – рабочие проходы осуществляются на прямой и обратной подачах;

3) спуск-припуск удаляется за несколько проходов при радиальной подаче резца, например, при прорезке канавки, ширина которой больше ширины резца.

На четвертом шаге определяются режимы резания.

Режимы резания определяют объем металла, снимаемый в единицу времени  $Q = tsV$ , мм<sup>3</sup>/мин, энергетические затраты на обработку

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 75 \cdot 1,36}, \text{ кВт, и период стойкости инструмента } T.$$

Выбор режимов резания имеет особенно большое значение для станков с ЧПУ. Около 50 % ошибок программирования обработки связано с неправильным назначением режимов резания.

Главная особенность выбора режимов резания для станков с ЧПУ – необходимость выбора оптимального с экономической точки зрения периода стойкости  $T_s$ . При обработке на станках с ручным управлением  $T_s$  считается известным и постоянным. Назначение режимов резания на этих станках осуществляется в такой последовательности: определяем  $t$ ,  $s$ ,  $T_s$  и  $V$ . Оптимальное значение  $T_s$  для станков с ручным управлением составляет 60 мин. При обработке на станках с ЧПУ нормативное значение  $T$  может быть уменьшено до  $T_n = 30 - 40$  мин, а точное его значение вычислено по формуле

$$T_s = T_n k_1 k_2 n k_3 k_4,$$

где  $T_s$  – нормативный период стойкости, мин;

$k_1$  – коэффициент, учитывающий изменение направления движения резца относительно обрабатываемой поверхности;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий изменение подачи и глубины резания в течение периода стойкости;

$k_3, k_4$  – коэффициенты, учитывающие различную нагрузку и параметры надежности инструментов в многоинструментальных наладках.

Выбор глубины резания и технологически допустимой подачи производится так же, как и для станков с ручным управлением. Аналогично рассчитывается и скорость резания, допускаемая режущими свойствами инструмента. Особенности обработки на станках с ЧПУ учитываются поправочными коэффициентами, вводимыми в соответствующие формулы.

## **9. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ, ОСНАЩЕННЫХ УСТРОЙСТВАМИ УЧПУ КЛАССА CNC. ФОРМИРУЕМЫЕ ПОДПРОГРАММЫ. СТАНДАРТНЫЕ ПОДПРОГРАММЫ**

Управляющей программой называется определенная последовательность действий. Состав избранных действий очень велик. Это, во-первых, перемещения на различные расстояния органов станка. Во-вторых, это различные скорости перемещений. В-третьих, это направления перемещений. В-четвертых, это смена инструмента и т. д.

Избранные действия задаются командами. Команда на перемещение рабочего органа станка состоит из числового кода, определяющего, какой из органов должен перемещаться, в каком направлении, с какой скоростью, и числа, выражающего требуемую величину перемещения.

Для упрощения программирования система ЧПУ в блоке внешней памяти может хранить типовые (стандартные) подпрограммы. Эти подпрограммы автоматизируют обработку в законченных циклах. Наличие таких подпрограмм в системе управления дает возможность не повторять информацию в содержании основной программы, а только в соответствующем месте особым символом адресовать вызов подпрограммы. Символ обозначается буквой L. Стандартные подпрограммы (циклы) для станка 16К20Ф3 приведены в табл. 9.1.

Для этой же цели используется группа подготовительных функций, имеющая буквенный символ G. Она адресует информацию, содержащую разносторонние данные об изменении условий перемещений. Такими могут быть, например, следующие: линейное перемещение, круговое перемещение по часовой стрелке, то же – против часовой стрелки, возврат к началу отсчета координат, нарезание резьбы и т. д. Код устанавливает 99 различных по содержанию подготовительных команд. Часть из них определена и образует циклы, подобные L, или часто повторяющиеся команды. Часть из них не определена и может быть использована для подпрограмм, формируемых программистом для конкретного станка. Это подготовительные функции от G10 до G16, от G20 до G32, от G45 до G52, от G60 до G62, от G64 до G79, а также G98 и G99.

Процесс подготовки управляющих программ состоит из следующих этапов:

1. Разработка схемы наладки.
2. Заполнение карты подготовки информации.

## Постоянные циклы станка 16К20Ф3

Код цикла	Функция цикла
<b>L01</b>	Цикл нарезания резьбы резцом; в кадре указывается: <b>F</b> – шаг, <b>W</b> – длина резьбы, <b>A</b> – наклон резьбы для конических резьб, <b>P</b> – глубина резания за проход, <b>C</b> – сбеги ( <b>C1</b> – сбеги равны шагу, <b>C0</b> – сбеги отсутствуют)
<b>L02</b>	Цикл прорезания прямоугольных канавок; указываются: <b>X</b> – внутренний диаметр канавки; <b>A</b> – ширина канавки; <b>P</b> – ширина резца
<b>L03</b>	Цикл "петля" при наружной обработке; указывается <b>U</b> – длина петли
<b>L04</b>	Цикл "петля" при внутренней обработке; указывается <b>U</b> – длина петли
<b>L05</b>	Цикл "петля" при подрезке торца; указывается <b>X</b> – конечный диаметр подрезаемого торца
<b>L06</b>	Цикл глубокого сверления; указываются: <b>P</b> – максимальная глубина сверления за один проход, <b>W</b> – общая глубина сверления
<b>L07</b>	Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой; указываются: <b>F</b> – шаг резьбы, <b>W</b> – ее длина
<b>L08</b>	Цикл предварительной многопроходной обработки; указываются: <b>A</b> – припуск на диаметр под чистовую обработку, <b>P</b> – максимальная глубина резания
<b>L09</b>	Цикл предварительной многопроходной обработки, когда заготовка имеет форму близкую к конечному контуру, а обработка ведется параллельно ему; указываются: <b>A</b> – припуск на диаметр под чистовую обработку, <b>P</b> – максимальная глубина резания
<b>L10</b>	Цикл чистовой обработки по контуру с заданного номера кадра; указывается <b>B</b> – номер кадра начала описания контура детали
<b>L11</b>	Цикл повторения заданного участка программы; указываются: <b>N</b> – число повторений, <b>B</b> – номер кадра начала повторения

3. Кодирование управляющей программы.
4. Запись управляющей программы на программноноситель.
5. Проверка и редактирование управляющей программы.

Схема наладки или расчетно-технологическая карта (РТК) разрабатываются в следующем порядке.

1. Вычерчивается деталь (заготовка) в прямоугольной системе координат, выбирается для каждого инструмента исходная точка **O**. Контур детали и заготовки изображаются в масштабе с указанием всех размеров, необходимых для программирования.

2. Намечается расположение зажимов (зажимных элементов) и зон закрепления заготовки в соответствии с конструкцией приспособления.

3. Наносятся траектории движения центров или вершин инструментов. Началом и концом траектории движения инструмента является исходная точка.

4. На траектории движения инструмента отмечаются и обозначаются цифрами опорные точки траектории и ставятся стрелки, указывающие направления движения. Опорные точки следует намечать по геометрическим и технологическим признакам, т. е. они должны являться либо точками изменения характера траектории инструмента, либо точками изменения параметров режима обработки, смены позиции, включения ускоренного перемещения и т. п. Для простых операций на схеме наладки показывается положение всех используемых инструментов с обозначением их вылета.

5. Указываются (если это необходимо) места контрольных точек, в которых предусматривается кратковременная остановка для проверки правильности выполнения программы. Указываются также точки остановок, необходимых для смены инструмента, изменения частоты вращения шпинделя и т. п. и их продолжительность в секундах.

6. На расчетно-технологической карте наносятся дополнительные данные (тип станка, его номер, наименование и марка обрабатываемого материала), указываются особенности заготовки и ее установки, параметры инструментов и особенности их движения на отдельных участках траектории.

При построении траектории движения центра инструмента нужно придерживаться следующих правил:

1. Подвод инструмента к обрабатываемой поверхности и его отвод желательно выполнять по определенной траектории. Необходимо указать точку перехода с холостого хода на рабочий. Оптимальная величина технологически допустимой подачи должна быть определена для каждого инструмента, при этом точка перехода с холостого хода на рабочий должна быть определена как опорная.

2. Недопустимы остановки инструмента, например, за счет прерывания подачи в процессе резания.

3. Длина холостых ходов должна быть минимальной.

4. С целью устранения влияния люфтов на точность обработки следует предусматривать дополнительные петлеобразные переходы в зонах реверса, обеспечивающие выборку люфтов.

5. В случае необходимости определяется деформация в технологической системе по расчетной силе резания или опытным путем, а затем на эту величину вводится предварительное искажение траектории, компенсирующее упругие отжатия в системе.

Кодирование управляющих программ осуществляется в соответствии с ГОСТ 20999-83. Управляющая программа представляет собой последовательность кадров, каждый из которых состоит из переменного числа слов. Каждое слово состоит из буквы, называемой адресом, и следующей за ним группы цифр. Порядок слов в кадре произвольный, но в одном кадре нельзя записывать два слова с одинаковым адресом. Каждый кадр начинается номером и заканчивается символом перевода строки (\*). Символы адресов для токарного станка 16К20Ф3 приведены в табл. 9.2.

Таблица 9.2

Символы адресов станка 16К20Ф3

<b>Символ адреса</b>	<b>Значение символа</b>
<b>A</b>	Припуск на чистовую обработку
<b>B</b>	С какого кадра повторение
<b>C</b>	Фаска под углом 45°
<b>E</b>	Функция подачи (быстрый ход)
<b>F</b>	Функция подачи (рабочая подача, шаг резьбы)
<b>H</b>	Число повторений
<b>L</b>	Цикл
<b>M</b>	Вспомогательная функция
<b>P</b>	Глубина резания
<b>Q</b>	Галтель
<b>R</b>	Дуга (радиус)
<b>G</b>	Подготовительная функция
<b>S</b>	Частота вращения шпинделя
<b>T</b>	Функция инструмента
<b>X</b>	Перемещение по оси X в абсолютных значениях
<b>Z</b>	Перемещение по оси Z в абсолютных значениях
<b>V</b>	Перемещение по оси X в приращениях
<b>W</b>	Перемещение по оси Z в приращениях

Перемещения записываются в абсолютных или относительных координатах с точностью до 0,001 мм с программированием десятичной точки, если программа вводится с пульта управления.

Подача (адрес F) задается в миллиметрах на оборот заготовки. Частота (адрес S) задается диапазоном и значением, так как на станке имеется несколько диапазонов частот, переключаемых вручную, внутри которых

частота может регулироваться непрерывно. Дискретность регулирования подачи (шага резьбы) 0,001 мм.

Номер инструмента задается по адресу T. Количество позиций в револьверной головке станка 16К20ФЗ – 6. Стандартные (постоянные) циклы задаются по адресу L. Перечень постоянных циклов станка 16К20ФЗ приведен в табл. 9.1.

Фаска под углом  $45^\circ$  задается адресом C со знаком и конечным размером по той координате, по которой идет обработка по фаске. Знак под адресом C должен совпадать со знаком обработки по оси X.

Галтель задается адресом Q со знаком и конечным размером по той координате, по которой идет обработка перед галтелью. Знак под адресом Q должен совпадать со знаком обработки по оси X.

Для задания дуги указываются координаты ее конечной точки и радиус по адресу R со знаком, который будет положительным при обработке по часовой стрелке и отрицательным – в противоположном направлении.

На станке 16К20ФЗ управляющая программа вводится с пульта управления. Набор программы осуществляется по кадрам, которые высвечиваются на экране.

## 10. ПРОГРАМИРОВАНИЕ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ С СОКРАЩЕННЫМ ОПИСАНИЕМ КОНТУРА (SINUMERIK). ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГРАМИРОВАНИЕ

**Метод SINUMERIK.** Метод SINUMERIK характерен для токарных станков, оснащенных УЧПУ фирмы SIEMENS.

Принцип сокращенного описания контура основан на том, что ЭВМ УЧПУ определяет недостающие данные по заданным (вводимым) параметрам и при необходимости формирует дополнительные кадры УП. В общем случае отдельные линейные или дуговые отрезки, образующие контур, могут переходить один в другой под углом, соединяться фаской или дугой окружности (рис. 10.1).

Рассмотрим некоторые типовые схемы.

Перемещение из точки 1 в точку 2 (рис. 10.1, а) может быть задано кадром

```
001 X(X2) A(A) LF
```

Вторая координата точки 2 определяется системой управления. В численных значениях кадр имеет вид

```
N{1} 001 X80.A135.LF
```

Естественно, вместо координаты X2 можно задать координату Z2.

Перемещение инструмента из точки 1 в точку 3 (рис. 10.1, б) может быть записано кадром

```
N{1} 001X(X3) Z(Z3) A(A1) A(A2) LF
```

Здесь указываются координаты конечной точки (точки 3) и два угла. Система управления обеспечивает вычисление координат промежуточной точки 2 и формирует два кадра (по заданному кадру УП). В численных значениях рассмотренный кадр имеет вид

```
N{1} 001X75. Z15, A142. A155. LF
```

Вариант написания кадра для углов  $A1 = 90^\circ$  и  $A2 = 180^\circ$  (рис. 10.1, в):

```
N{1} G01 X62. Z38. A90. A180. LF
```

Траектория движения от точки 1 до точки 3 по отрезкам прямых, соединенных фаской (рис. 10.1, г), может быть записана в виде:

```
N{1} G01 X40. Z85. B-20. LF
```

```
N{i+1} Z30. LF
```

Фаска вводится в программу адресом B - (буквой B с минусом)

Если траектория представляет собой отрезки прямых, соединенных дугой окружности (рис. 10.1, д), радиус записывается с адресом B в кадре,

где указываются координаты точки пересечения отрезков, т. е. по аналогии с рассмотренным выше вариантом:

```
N(i) G01 X(X2),Z(Z2) B(R) LF
N{i+1} X(X3) Z(Z3) LF
```

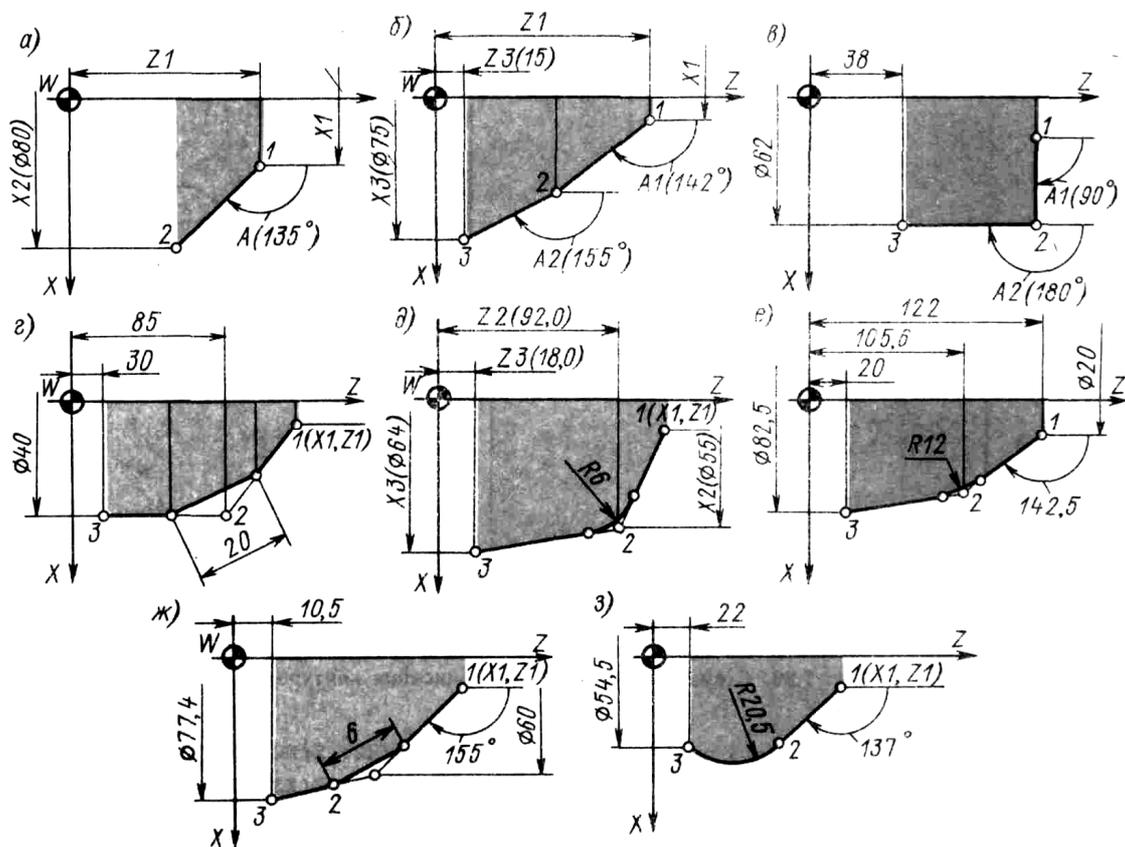


Рис. 10.1. Типовые схемы описания контура детали при токарной обработке

Эти же кадры в числовых значениях:

```
N{1} G01 Z105.6 A142.5 B12. LF
N{i+1} X82.5 Z20. LF
```

Первый отрезок прямой в рассмотренном выше случае может быть задан углом и одной координатой точки 2 (рис. 10.1, е):

```
N{i} G01 Z105.6 A142.6 B12. LF
N{i+1} X82.5 Z20. LF
```

Эта же схема задания размеров возможна и при программировании фаски между отрезками (рис. 10.1, ж):

```
N{i} G01 X60. A155. B-6. LF
N{i-H} X77.1 Z10.5 LF
```

Плавный переход отрезка прямой (рис. 10.1, з) в дугу окружности (не более 180°) программируют с указанием подготовительных функций G02

(G03). При записи кадра следует соблюдать последовательность записи угла и радиуса (адреса А и В):

N{i} G02 X54.5 Z22. A137. B20.5 LF

Метод позволяет достаточно просто, без промежуточных вычислений описывать сложные контуры (рис. 10.2).

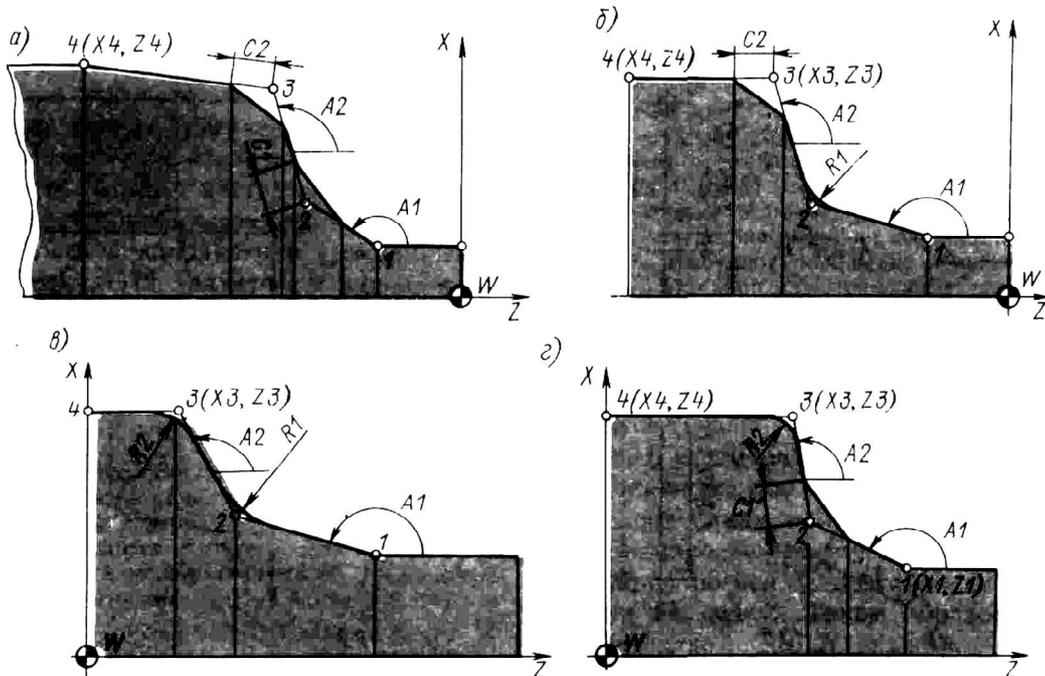


Рис 10.2. Схемы упрощенного описания контуров

Контур, изображенный на рис. 10.2, а может быть описан всего тремя кадрами:

N{i} X(X2) Z(Z2) B(-C1) LF

N{i+1} X(X3) Z(Z3) B(-C2) LF

N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF

или с использованием углов:

N{i} A(A1) B(-C1) LF

N{i+1} X(X3) Z(Z3) A(A2) B(-C2) LF

N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF

Контур на рис. 10.2, б:

N{i} X(X2) Z(Z2) B(R1) LF

N{i+1} X(X3) Z(Z3) B(-C2) LF

N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF

Этот же контур с использованием углов:

N{i} A(A1) B(R1) LF

N{i+1} X(X3) Z(Z3) A(A2) B(-C2) LF

N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF

Вариант записи контура на рис. 10.2, в:

N{i} A(A1) B(R1) LF

N{i+1} X(X3) Z(Z3) A(A2) B(R2) LF

N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF

Контур на рис. 10.2, г:

N{i} A(A1) B(-C1) LF

N{i+1} X(XЭ) Z(Z3) A(A2) B(R2) LF

N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF

Возможны и другие варианты краткого описания контуров.

**Оперативное программирование.** Оперативное программирование – это программирование, которое выполняется на станках с ручным вводом управляющих программ. УЧПУ с ручным вводом УП для токарных станков обеспечивают оперативное программирование обработки деталей с клавиатуры пульта УЧПУ.

В общем случае процесс оперативного программирования может быть отнесен к процессу подготовки (наладки) станка к работе, поскольку для обработки основных групп деталей программирование предварительно не выполняется, а ведется непосредственно с чертежа (операционного эскиза) у станка. УЧПУ для оперативного программирования (класс HNC в ряде случаев имеет упрощенную схему ввода программы, большое количество постоянных циклов, ориентированных на станок, простую схему редактирования (изменения) вводимой информации и ввода коррекций. Большинство современных УЧПУ рассматриваемого класса могут подключаться к переносным комплексам для ввода (вывода) УП с магнитной кассеты или магнитного диска и не имеют собственных устройств ввода (вывода) УП.

Схема пульта УЧПУ класса HNC показана на рис. 10.3. При работе станка на табло индикации высвечиваются номер кадра УП (N), функция (G), название (FUNCT) и значение (TUR) отображаемой величины функции (например, подача 0,500 мм/об), действительны значения координат X и Z.

Программирование обработки на УЧПУ ведется отдельными кадрами, состоящими из слов (адрес и числовое значение), в определенной последовательности и режиме редактирования и ввода программы. Каждый кадр обязательно предусматривает порядковый номер, типовой код, последовательность данных, определяемую типовым кодом.

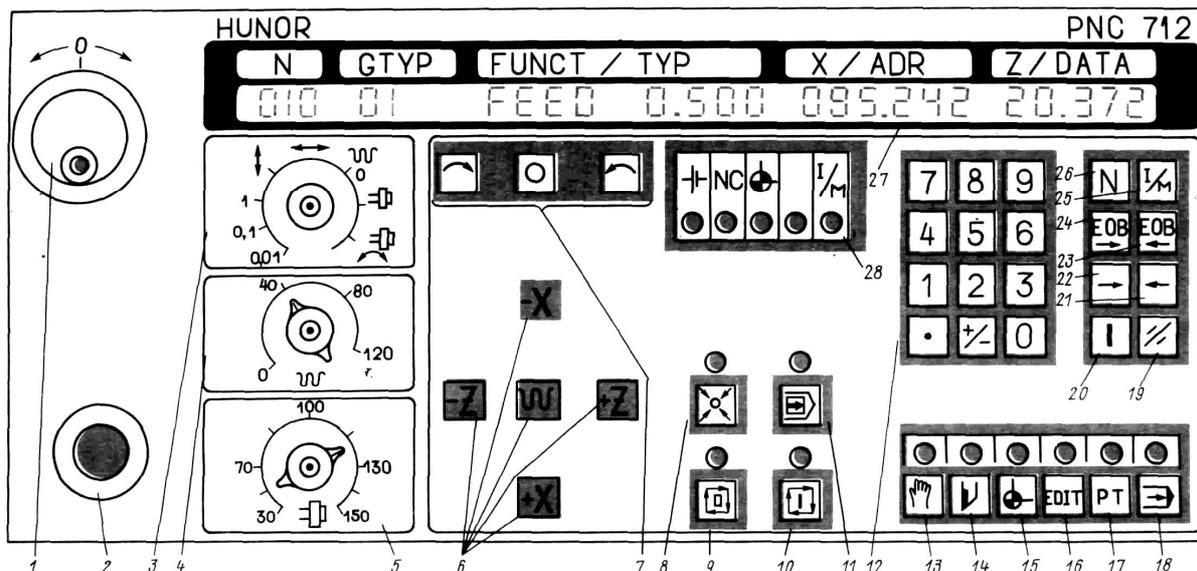


Рис. 10.3. Схема пульта УЧПУ класса HNC к токарному станку: 1 – штурвал, 2 – кнопка аварийного останова; 3 – ручной переключатель (дискретные перемещения, непрерывные перемещения по осям, запрет подачи, подача и вращение шпинделя, вращение шпинделя), 4 – рукоятка изменения подачи; 5 – рукоятка коррекции частоты вращения шпинделя; 6 – кнопки перемещения по осям и включения ускоренной подачи; 7 – кнопки включения шпинделя по часовой стрелке (против) и его останова; 8 – включение индикации достигаемого положения; 9 – останов автоматического цикла; 10 – пуск автоматического цикла; 11 – покадровая отработка программы; 12 – клавиатура ввода данных; 13 – режим ручного ввода; 14 – режим коррекции инструмента; 15 – выбор нулевой точки; 16 – режим редактирования; 17 – режим тестирования программы; 18 – режим автоматического выполнения программы; 19 – сброс данных; 20 – программирование приращением, ввод данных; 21, 22 – конец ввода числа и шаг вперед/назад; 23, 24 – конец ввода кадра и шаг вперед/назад; 25 – ввод данных в дюймах/метрический; 26 – ввод адреса «номер кадра»; 27 – табло индикации; 28 – табло индикации состояния станка.

Порядковые номера при последовательном занесении программы с клавиатуры пульта не задаются, они (начиная с N005) автоматически увеличиваются на 5.

Типовой код определяет разновидность и способ интерпретации данных, встречаемых в кадре. В одном кадре может быть только один типовой код (с адресом G).

В памяти ЭВМ УЧПУ типовые коды располагаются в определенной последовательности. В режиме программирования первым индицируется код G50 (ускоренный ход по прямой линии). Далее (в своеобразном режиме меню) нажатием кнопки 22 цепь кадров сдвигается на один шаг, т. е. код G50 заменяется на табло индикации (поле GTYP) на код G40. Этот

код, нажимая кнопку, меняют на следующий: G60 (преобразование координат), G70 (циклы), G80 (нарезание), G0 (линейная интерполяция с ускоренным ходом), G1 (линейная интерполяция с рабочей подачей), G02 или G03 (круговая интерполяция).

Далее круг повторяется. На выбранном коде, например, G40, можно остановиться. Нажатием кнопки 20 теперь выбирают разновидность кода G40 из предлагаемой последовательности (G40, G41, G42 – G47). Нужный код высвечивается на табло пульта, например, G43 – ускоренный ход к позиции, не зависящей от коррекции инструмента.

Принятый для данного кадра код имеет также, в свою очередь, характерную для него адресную цепь, которую УЧПУ последовательно (в режиме диалога) предлагает для ввода, индицируя необходимый для ввода параметр на табло индикации.

Так, в кадр с кодом G43 нужно последовательно ввести параметры: *XABS*, *ZABS* – абсолютные значения координат конечной точки; P (если необходимо) – код временного останова, конца программы (P2), условного останова и т. д.; *WAIT* – ожидание в отработке кадра; *FROM* – указание о начале контура; *FEED*, *SPIN*, *TOOL*, *M* – значения подачи, частоты вращения шпинделя, номер резца, значение M-функции; *OUT* – специальная функция M; *VELO* – значение постоянной скорости резания; *SMAX* – максимально допустимая в программе частота вращения шпинделя.

Числовые данные по предлагаемым адресам цепи вводятся кнопками 12. Конец ввода каждого числа заканчивается нажатием кнопки 22, которая сдвигает адресную цепь режима на шаг вперед. После записи всех необходимых данных по принятому режиму (коду) завершают ввод кадра нажатием кнопки 23 (*EOB*), и введенный кадр переходит из буферной памяти УЧПУ в программную.

Далее выбирают новый режим (код) и согласно новой адресной цепи опять вводят данные. Естественно, что в процессе ввода программы ее при необходимости редактируют.

## **11. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ, ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО И РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, НАСТРОЙКА ИНСТРУМЕНТА ПО РАЗМЕРУ ВНЕ СТАНКА**

Вследствие характерных особенностей станков с ЧПУ к станочным приспособлениям предъявляются специфические конструктивные требования.

Одна из основных особенностей станков с ЧПУ – их высокая точность. Станочные приспособления оказывают существенное влияние на повышение точности обработки, поскольку погрешность, возникающая при базировании заготовки на приспособлении, является одной из основных составляющих суммарной погрешности обработки. Следовательно, приспособления к станкам с ЧПУ должны обеспечивать большую точность установки заготовок, чем приспособления к универсальным станкам. Для этого необходимо исключить погрешность базирования путем совмещения баз; погрешность закрепления заготовок должна быть сведена к минимуму; точки приложения зажимных сил нужно выбирать таким образом, чтобы по возможности полностью исключить деформацию заготовок. Точность изготовления приспособлений к станкам с ЧПУ должна быть значительно выше, чем приспособлений к универсальным станкам. Погрешность установки приспособлений на станках должна быть минимальной.

Станки с ЧПУ имеют повышенную жесткость. Следовательно, станочные приспособления для них не должны снижать жесткость системы СПИД при использовании полной мощности станков, а значит, жесткость приспособлений к станкам с программным управлением должна быть выше жесткости приспособлений к универсальным станкам. Поэтому приспособления нужно изготавливать из легированных сталей (с термической обработкой рабочих поверхностей) или модифицированных чугунов.

Поскольку при обработке на станках с ЧПУ программируемые перемещения станка и инструмента задаются от начала отсчета координат, в ряде случаев приспособления должны обеспечивать полную ориентацию заготовки относительно установочных элементов приспособления, т. е. должны лишить ее всех степеней свободы. При этом необходимо также полное базирование приспособлений на станке для обеспечения их точной ориентации относительно нулевой точки станка. Следовательно, одной из основных особенностей приспособлений к станкам с ЧПУ является необходимость ориентации приспособлений не только в поперечном направлении относительно пробельного паза стола станка, но и в продольном направлении.

Для быстрой полной ориентации приспособлений на столах станков в последних, помимо продольных пазов, делают поперечный паз или отверстие (или и то и другое). Приспособление базируется по пазам станка посредством трех призматических или цилиндрических шпонок, по отверстию и пазу – штырем и шпонкой или двумя штырями.

Ориентация инструментов для обработки отверстий на станках с программным управлением осуществляется автоматически по заданной программе, поэтому в приспособлениях отсутствуют элементы для ориентации и направления инструмента – кондукторные втулки. Следовательно, на станках с ЧПУ вместо сложных кондукторов применяют простые установочно-зажимные приспособления.

Важная особенность станков с ЧПУ – обработка максимального числа поверхностей с одной установки заготовки. Следовательно, приспособления должны быть спроектированы таким образом, чтобы установочные элементы и зажимные устройства не препятствовали подходу режущего инструмента к обрабатываемым поверхностям заготовки, обеспечивая при этом ее закрепление без «перехвата». Наиболее эффективным средством при обработке пяти плоскостей является закрепление заготовок со стороны установочной опорной поверхности.

Станки с программным управлением являются полуавтоматами, выгодно отличающимися от традиционных полуавтоматов тем, что обеспечивают возможность быстрого перехода от одной партии обрабатываемых деталей к другой с минимальным временем простоя станка. Переналадка станка, как правило, сводится лишь к замене программносителя, на что затрачивается незначительное время. Однако существенные затраты подготовительно-заключительного времени связаны с транспортированием, установкой, закреплением, раскреплением и съемом приспособлений. Это повышает время простоя станка, доля которого в общем балансе времени обработки увеличивается с уменьшением партии обрабатываемых деталей. Большое значение имеет также отсутствие простоев станков, связанных с подготовкой приспособлений при переналадке станков на обработку новых партий деталей. Следовательно, конструкции приспособлений должны также обладать гибкостью, т. е. обеспечивать быструю переналадку, ориентацию и закрепление на станке, а также легкое отсоединение и присоединение их пневмо- или гидросистемы к источнику давления.

Как известно, наибольшая доля времени простоя станков приходится на транспортирование, установку, закрепление, раскрепление и съем обрабатываемых заготовок. На станках с ЧПУ при установке заготовок на столе

станка и в стационарных приспособлениях их меняют при остановке станка. Следовательно, сокращение вспомогательного времени на транспортирование и установку заготовок позволяет значительно повысить эффективность использования станков с программным управлением, особенно многоцелевых станков. Целесообразно при небольшом бремени обработки применять быстродействующие ручные или механизированные зажимы, позволяющие значительно сократить вспомогательное время на закрепление и разжим обрабатываемых заготовок. В качестве зажимных устройств широко применяют универсальные гидравлические зажимные устройства с пневмогидравлическими усилителями давления. На расточных и многоцелевых (фрезерно-сверлильно-расточных) станках, поскольку заготовки обрабатывают с нескольких сторон, приспособления устанавливают на поворотном столе станка. Для подвода рабочей среды механизированных приводов к пневмо- или гидроцилиндрам зажимных устройств приспособлений необходимо предусмотреть в осях поворотных столов отверстия для присоединения трубопроводов.

Возможность обработки на станках с ЧПУ, особенно на многоцелевых станках, большого числа поверхностей с одной установки резко сокращает число станочных приспособлений, необходимых для установки и закрепления заготовки при ее переустановке. Отсутствие направляющих элементов приспособлений, предназначенных для ориентации и направления инструмента, повышает точность обработки, а заменяющая их программа с течением времени не изнашивается.

Упрощение конструкций и удешевление приспособлений наряду с резким сокращением их числа обеспечивает существенную экономию затрат на подготовку производства. Помимо этого сокращаются затраты на ремонт приспособлений и их хранение.

Стандартизация унифицированных агрегатов, узлов, деталей и конструкций универсальных и специализированных приспособлений создает предпосылки для их централизованного изготовления, что в значительной мере снижает их себестоимость, повышает точность и долговечность.

### **11.1. Классификация приспособлений для станков с ЧПУ**

Системы приспособлений, применяемые на станках с ЧПУ, могут быть классифицированы, прежде всего, по степени специализации.

**Система универсально-безналадочных приспособлений (УБП).** Конструкция УБП представляет собой законченный механизм долговременного действия с постоянными регулируемые (несъемными) элемен-

тами для установки различных заготовок, предназначенный для многократного использования. УБП целесообразно применять на станках с ЧПУ в единичном и мелкосерийном производстве.

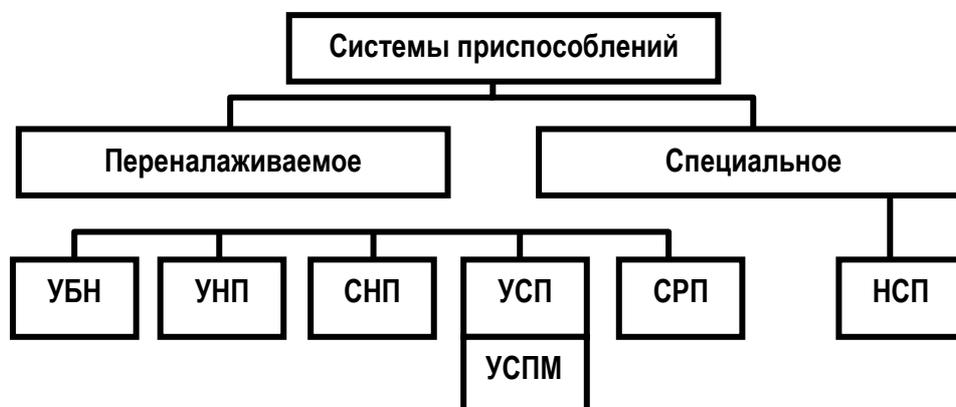


Рис. 11.1. Классификация систем приспособлений для станков с ЧПУ

**Система универсально-наладочных приспособлений (УНП)** состоит из универсального базового агрегата и сменных наладок. Базовый агрегат представляет собой законченный механизм долговременного действия, предназначенный для многократного использования. Под сменной наладкой понимается элементарная сборочная единица, обеспечивающая установку конкретной заготовки на базовом приспособлении. При смене объекта производства базовая часть, а также универсальные элементы и узлы сменных наладок, которыми комплектуются УНП, используются многократно. Проектированию и изготовлению подлежат лишь специальные наладки, являющиеся наиболее простой и недорогой частью приспособлений. УНП целесообразно применять на станках с ЧПУ в мелкосерийном производстве, особенно при использовании групповых методов обработки.

**Система специализированных наладочных приспособлений (СНП)** обеспечивает базирование и закрепление типовых по конфигурации заготовок различных размеров. СНП состоит из базового агрегата и сменных наладок. Многократно используемый базовый агрегат предназначен для установки сменных наладок. Многоместные приспособления обеспечивают возможность смены заготовок вне рабочей зоны станка. Эффективной областью применения СНП на станках с ЧПУ является серийное производство.

**Система универсально-сборных приспособлений (УСП).** Компоненты УСП собираются из стандартных элементов, изготовленных с высокой степенью точности. Элементы и узлы фиксируются системой шпонка –

паз. Высокая точность элементов УСП обеспечивает сборку приспособлений без последующей механической обработки. После использования компоновок их разбирают на составные части, многократно используемые в различных сочетаниях в новых компоновках. Элементы УСП постоянно находятся в обращении в течение 18 – 20 лет. Такая система не требует конструирования и изготовления приспособлений. Цикл оснащения станка приспособлением системы УСП состоит из сборки компоновки и ее установки, на что затрачивается в среднем 3 – 4 ч.

Для сборки приспособления исходными являются различные базовые элементы, с которыми собираются установочные элементы, элементы дополнительного базирования, прихваты и т.д.

**Система универсально-сборных механизированных приспособлений для станков с ЧПУ (УСПМ – ЧПУ)** является развитием УСП. Компоновки УСПМ – ЧПУ предназначены для установки заготовок на станках с ЧПУ фрезерной и сверлильной групп в условиях единичного и мелкосерийного производства. Основой комплектов УСПМ – ЧПУ являются гидравлические блоки, представляющие собой базовые плиты УСП с сеткой пазов и встроенными гидроцилиндрами, а также плиты без встроенных цилиндров. В последнем случае для механизации зажимов применяют различные гидроцилиндры (гидроприхваты).

**Сборно-разборные наладочные приспособления (СРП)** специально предназначены для оснащения фрезерных станков с ЧПУ (их можно также использовать на сверлильных и многоцелевых станках). Элементы СРП-ЧПУ фиксируются системой палец – отверстие, в отличие от УСП, где фиксация осуществляется системой шпонка – паз. Система палец – отверстие гарантирует более высокую точность, жесткость и стабильность параметров приспособления. Фиксирующие отверстия выполнены во втулках из прочного и износостойкого металла, втулки запрессованы в корпуса плит и угольников. Для крепления базовые элементы комплекта снабжены Т-образными пазами.

**Система неразборных специальных приспособлений (НСП)** обычно используется в условиях массового и крупносерийного производства. Приспособления этой системы не являются переналаживаемыми. Детали нельзя повторно использовать в других компоновках. Конструкции приспособлений предназначены для одной определенной детали, операции. На станках с ЧПУ такие приспособления целесообразно применять лишь как исключение в том случае, если нельзя применить ни одну из переналаживаемых систем. Для станка с ЧПУ конструкция такого приспособления

собления должна быть максимально упрощена. Проектируют НСП по определенным правилам и методикам.

**Разработка технических условий на проектирование приспособлений.** Технические условия (ТУ) на разработку приспособления составляются при наличии РТК, в которой уже определены координатная система детали, исходная точка и положение в координатной системе базовых элементов приспособления. Для составления ТУ необходим также чертеж заготовки, по которому при разработке РТК выбирают базовые поверхности при различных установках. Кроме того, должны быть учтены требования техники безопасности по выбору расстояния от точки начала обработки (или точки выстоя инструмента) до детали.

## **11.2. Общие особенности режущего инструмента для станков с ЧПУ**

Режущий инструмент является составной частью комплексной автоматизированной системы станка с ЧПУ, обеспечивающей его эффективную эксплуатацию. От выбора и подготовки инструмента зависят производительность станка и точность обработки. Для обеспечения автоматического цикла работы требуется высокая надежность инструмента.

Режущий инструмент для станков с ЧПУ должен удовлетворять следующим требованиям:

- 1) обладать стабильными режущими свойствами;
- 2) удовлетворительно формировать и отводить стружку;
- 3) обеспечивать заданную точность обработки;
- 4) обладать универсальностью, чтобы его можно было применять для обработки типовых поверхностей различных деталей на разных моделях станков;
- 5) быть быстросменным при переналадке на другую обрабатываемую деталь или замене затупившегося инструмента;
- 6) обеспечивать возможность предварительной наладки на размер вне станка (совместно с применяемым вспомогательным инструментом).

Указанные требования не позволяют в ряде случаев использовать на станках с ЧПУ режущий инструмент, применяемый на станках общего назначения. В настоящее время для использования на станках с ЧПУ выделена особая группа режущего инструмента, причем часть из него уже стандартизована.

**Классификация вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ.** Конструкция вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ оп-

ределяется его основными элементами – формой и размерами присоединительных поверхностей для крепления его на станке и для закрепления в нем режущего инструмента. Устройства, определяющие автоматическую смену инструмента и его крепление на станках, определяют конструкцию хвостовика, который должен быть одинаковым для всего режущего инструмента к данному станку. Чтобы получить размеры деталей без пробных проходов в соответствии с УП, необходимо ввести в конструкцию вспомогательного инструмента (иногда и режущего тоже) устройства, обеспечивающие регулирование положения режущих кромок, т. е. наладку инструмента на определенный вылет. Это привело к созданию для станков с ЧПУ разнообразных переходников (адаптеров), у которых хвостовик сконструирован для конкретного станка, а передняя зажимная часть – для режущего инструмента со стандартными присоединительными поверхностями (призматическими, цилиндрическими и коническими), размеры которых регламентированы стандартами на инструмент. Такие переходники образуют комплект вспомогательного инструмента, состоящий из резцедержателей, патронов, оправок и втулок различных конструкций. Разнообразие типов станков с ЧПУ вызывает необходимость в большем числе способов установки и смены инструмента. В связи с этим разрабатывают системы вспомогательного инструмента – наборы унифицированного вспомогательного и специального режущего инструмента, обеспечивающие достаточно надежное закрепление всего стандартного, режущего инструмента, чтобы реализовать технологические возможности различных станков с ЧПУ. К системе вспомогательного инструмента предъявляют следующие требования: номенклатура и стоимость инструмента, входящего в систему, должны быть сведены к экономически обоснованному минимуму, элементы системы должны обеспечивать применение режущего инструмента с требуемыми точностью, жесткостью и виброустойчивостью, позволять в необходимых случаях регулирование положения режущих кромок инструмента относительно координат системы СПИД, быть удобными в обслуживании (при необходимости быстросменными) и технологичными в изготовлении. Системы вспомогательного инструмента предназначены для компоновки специальных функциональных единиц – инструментальных блоков (комбинаций режущего и вспомогательного инструмента), каждый из которых служит для выполнения конкретного технологического перехода.

Вспомогательный инструмент может быть классифицирован и в соответствии с назначением для различных групп станков с ЧПУ, степенью их автоматизации и с учетом перспективы развития.

**Настройка режущего инструмента на размер вне станка.** Определение положения вершины инструмента выполняется на специальных приборах. Набор из вспомогательного и режущего инструмента устанавливают и закрепляют на приборе в подставке, имитирующей присоединительные (под инструмент) поверхности шпинделя или суппорта станка. Приборы имеют подвижную каретку, которая может перемещаться в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Одновременно по линейкам можно отсчитывать численные значения перемещений каретки (рис. 11.2).

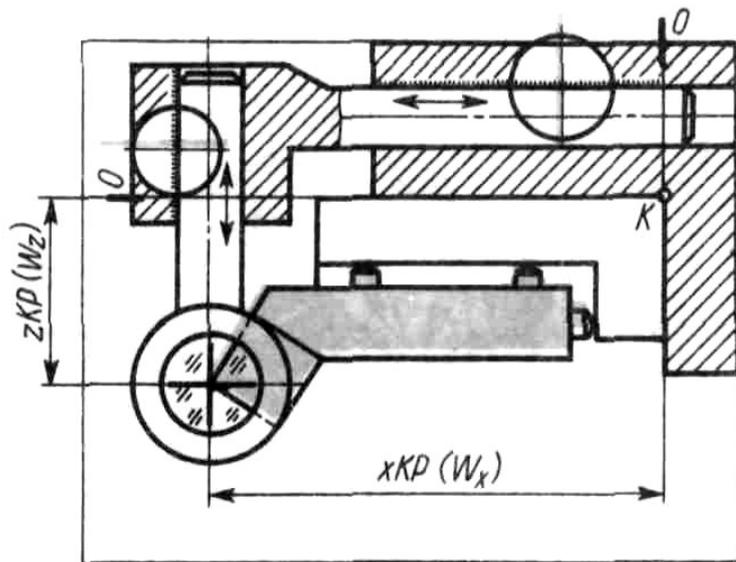


Рис. 11.2. Схема прибора для наладки РИ вне станка

Начало отсчета каждой из линеек совмещено с положением отсчетной точки. На верхней каретке находится устройство (микроскоп, проектор, индикатор, шаблон или другое измерительное средство), с помощью которого фиксируется момент совмещения заданного и фактического положений вершины режущего инструмента.

При проверке мерных инструментов перекрестие проектора устанавливают в точку с требуемыми координатами, инструмент досылают до базовых поверхностей инструментальной державки и закрепляют. При работе промежуточными инструментами приборы используют не для наладки инструмента, а для определения фактических значений его координат.

## 12. СИСТЕМНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ УЧПУ РАЗНЫХ КЛАССОВ

В соответствии с международной классификацией все УЧПУ по уровню технических возможностей делятся на следующие основные классы: NC (Numerical Control); SNC (Stored Numerical Control); CNC (Computer Numerical Control); DNC (Direct Numerical Control); HNC (Handled Numerical Control); VNC (Voice Numerical Control).

Структурно-информационный анализ этих систем сравнительно сложен, хотя позволяет выделить в них (или установить отсутствие) определенных функциональных элементов и информационных каналов. Условной для реальных УЧПУ является и классификация, поскольку реализация функций ЧПУ может быть такой, что реальный вариант системы управления представляет собой синтез отдельных признаков систем разных классов. Особенно это относится к УЧПУ с признаками класса DNC, которые реализуются как системы классов DNC – NC, DNC – SNC, DNC – CNC и др., к УЧПУ класса CNC, которые реализуются как системы VNC, CNC – HNC.

### 12.1. Системы классов NC и SNC

Станки, оснащенные УЧПУ классов NC и SNC, в настоящее время еще достаточно распространены. УЧПУ этих классов – наиболее простые системы управления с ограниченным числом информационных каналов. В составе этих систем отсутствует оперативная ЭВМ, и весь поток информации обычно замыкается на уровне 3-го ранга. Внешним признаком УЧПУ классов NC и SNC является способ считывания и отработки управляющей программы (УП).

**Системы класса NC.** В системах класса NC принято покадровое чтение перфоленты на протяжении цикла обработки каждой заготовки.

Системы класса NC работают в следующем режиме. После включения станка и УЧПУ читаются первый и второй кадры программы. Как только заканчивается их чтение, станок начинает выполнять команды первого кадра. В это время информация второго кадра программы находится в запоминающем устройстве УЧПУ. После выполнения первого кадра станок начинает обрабатывать второй кадр, который для этого выводится из запоминающего устройства. В процессе обработки станком второго кадра система читает третий кадр программы, который вводится в освободившееся от информации второго кадра запоминающее устройство, и т.д.

Основным недостатком рассмотренного режима работы является то, что для обработки каждой следующей заготовки из партии системе ЧПУ

приходится вновь читать все кадры перфоленты, в процессе такого чтения нередко возникают сбои из-за недостаточно надежной работы считывающих устройств УЧПУ. В результате отдельные детали из партии могут оказаться бракованными. Повышенная вероятность сбоев в системах класса NC объясняется также очень большим числом кадров перфоленты, поскольку для работы таких систем в программе должно быть записано каждое элементарное действие станка. Кроме того, при таком режиме работы перфолента быстро изнашивается и загрязняется, что еще более увеличивает вероятность сбоев при чтении. Наконец, если в кадре записаны действия, которые станок выполняет очень быстро, то УЧПУ за это время может не успеть прочитать следующий кадр, что также ведет к сбоям.

Первые контурные УЧПУ класса NC для упрощения, удешевления и увеличения надежности выполняли с вводом декодированной программы, записанной на магнитной ленте, которая являлась промежуточным программносителем. В зависимости от типа привода подачи декодированную программу представляли или последовательностью импульсов (унитарного кода), или фазомодулированным сигналом. Программа для станков с магнитной ленты записывалась в два этапа. Сначала подготовленную управляющую программу записывали на перфоленту и далее с перфоленты вводили в интерполятор, размещенный отдельно от станка. В интерполяторе числовая форма программы преобразовывалась в унитарный код и в виде последовательности импульсов (или фазомодулированного сигнала) записывалась на магнитную ленту. Последняя являлась программой для станка, имеющего соответствующее считывающее устройство. Редактирование УП приводило к ее изменению на исходной перфоленте и повторной записи (перезаписи) на магнитную ленту.

На программах с магнитной лентой работают ряд станков с ЧПУ первых выпусков. Все они, как правило, построены на шаговых двигателях (ШД) и имеют два исполнения: с силовым ШД и с несильным ШД (шаговым преобразователем). В последних поворот ШД служит задающим сигналом для гидравлического или электрического следящего привода.

Особенностью шаговых СЧПУ является то, что они работают, как правило, по разомкнутой схеме управления.

*Упрощенная схема управления станком с силовым ШД.* УЧПУ станком работает от магнитной ленты. Оно позволяет одновременно управлять станком по трем координатам ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) и формирует в соответствии с программой три технологические команды. Программноносителем является девятидорожечная магнитная лента, на которой записана декодированная

информация в импульсах. Система преобразует эту информацию в электрические импульсы и распределяет по обмоткам шаговых двигателей (основная функция), а также воздействует на электромагнитные муфты, электромагниты и пр. (дополнительные функции). Система может работать в двух режимах – автоматическом (от программоносителя) и ручном (от органов управления, расположенных на пульте).

*В шаговых системах программного управления с несилowym ШД программа, записанная на перфоленте, поступает в выносной интерполятор, где она перезаписывается на магнитную ленту в виде последовательности импульсов (в унитарном коде).*

Частота введенных импульсов определяет скорость движения рабочего органа. Вводя по каждой координате станка перемещения импульсами в количествах и с частотой, пропорциональными требуемым размерам и скоростям перемещений, можно заставить инструмент и заготовку непрерывно перемещаться по траектории, необходимой для обработки детали. При импульсном вводе числовой программы задача привода сводится к восприятию электрического импульса и отработке его с усилием, необходимым для перемещения рабочего органа станка. В УЧПУ станка магнитная лента перемещается лентопротяжным механизмом относительно магнитной считывающей головки.

В качестве силовых следящих приводов в шаговых СПУ с несилowym ШД можно применять электрические и гидравлические следящие приводы.

Шаговые СПУ с несилowym ШД нашли применение в пультах управления ПРС-2-60, ПРС-4А, «Контур 2П-67», «Контур 3П-68», «Контур 4П-68», УМС-2, УМС-402. Эти системы использовались для управления фрезерными и токарными станками, сварочными автоматами и другим технологическим оборудованием.

В СЧПУ с магнитной лентой возможно *представление УП в аналоговом виде*. В таком станке УП представлена магнитными дорожками на магнитной ленте, причем степень намагниченности поля ленты вдоль дорожки изменяется по синусоидальному закону.

Для программы перемещений по осям  $X$  и  $Y$  предназначены независимые дорожки магнитной ленты, записываемые параллельно с центральной (опорной) дорожкой, на которую наносится так называемый опорный сигнал. Этот сигнал наносится в процессе записи программы путем подачи на головку непрерывного синусоидального электрического сигнала с определенной частотой, например, 250 Гц. Числовая форма программы (пере-

мещения по осям  $X$  и  $Y$ , выраженные числом импульсов в единицу времени) при записи рабочих дорожек преобразуется в сдвиг фаз сигнала этих дорожек относительно опорного сигнала на величины  $\varphi_y$  и  $\varphi_x$ . При этом одному импульсу соответствует сдвиг фазы рабочей дорожки на определенный угол. Для записи программы на магнитную ленту служит специальный импульсно-фазовый преобразователь, находящийся в выносном записывающем устройстве.

Фазовая СЧПУ станка представляет собой комплекс следящих приводов с дополнительными устройствами, необходимыми для протягивания магнитной ленты, считывания с нее сигналов и их усиления, конструктивно оформленными в виде пульта программного управления.

Переход к *микросхемам с малой и средней степенью интеграции* снизил стоимость УЧПУ с интерполятором. Это позволило исключить промежуточный программноноситель (магнитную ленту) из системы управления станками, расширить состав технологических команд, включая коррекцию размеров, положения и траектории инструмента.

Развитие систем класса NC привело к созданию УЧПУ с целым рядом дополнительных режимов (*третье поколение*). Эти УЧПУ, структура которых предполагает наличие достаточно большого числа информационных каналов, обеспечивают диагностику ошибок ввода программы, определяют сбои устройства, реализуют режимы автоматического и покадрового ввода программы, поиски кадра, ручное управление, автоматическую установку системы в исходное положение и др. Программа может быть задана как в абсолютных размерах, так и в приращениях. В УЧПУ третьего поколения наряду с увеличением скорости перемещения для контурных и универсальных устройств введен режим резьбонарезания, расширены технологические команды, кодируемые в коде ИСО-7 бит. Устройства с расширенными функциями имеют выход на канал связи с ЭВМ верхнего уровня, систему визуального отображения информации. В настоящее время все станки с УЧПУ класса NC выпускаются с встроенным интерполятором и работают непосредственно от перфоленты, однако выпуск таких станков резко сокращен.

**Системы класса SNC.** Эти системы сохраняют все свойства систем класса NC, но отличаются от них увеличенным объемом памяти.

Системы класса SNC позволяют прочитать все кадры программы и разместить информацию в запоминающем устройстве большой емкости. Перфолента читается только один раз перед обработкой всей партии одинаковых деталей и поэтому мало изнашивается. Все заготовки обрабаты-

ваются по сигналам из запоминающего устройства, что резко уменьшает вероятность сбоев, а следовательно, и брак деталей. Системы SNC позволяют осуществлять однократный ввод управляющих программ при длине перфоленты от 40 до 310 м.

**Особенности систем классов NC и SNC.** Системы классов NC и SNC относятся к устройствам с постоянной структурой, имеющим схемную реализацию алгоритмов работы. Устройства этих классов выпускаются с начала освоения ЧПУ для различных групп станков и относятся к первому, второму и третьему поколениям УЧПУ. К УЧПУ классов NC (SNC) относятся устройства типов «Контур 2ПТХ», Н22 – для токарных станков; «Контур 3П», Н33, Н55 – для фрезерных; «Размер 2М», П32» – для координатно-расточных; П111М, П111 – для шлифовальных «Контур 2П-67» – для электроэрозионных и др.

Кодированная программа вводится с перфоленты. Кроме того, отдельные команды могут быть введены с пульта управления УЧПУ или с панели управления станком. Информация с перфоленты через блоки ввода и декодирования поступает в память. (Для станков с УЧПУ класса SNC в память с перфоленты записывается вся программа.) При работе станка в автоматическом режиме команды программы, обработанные интерполятором, через блоки управления поступают к приводам. Скорость приводов регулируется по данным системы обратной связи, например, по сигналам тахогенератора, а перемещения (для приводов подач) – по данным путевых датчиков перемещения.

## 12.2. Системы классов CNC, DNC, HNC

Переход вычислительной техники к большим интегральным схемам (БИС), микропроцессорным БИС и построенным на их основе микроЭВМ позволил создать УЧПУ, совмещающие функции управления станком и решения отдельных задач подготовки УП. Наличие ЭВМ обеспечивает большие возможности УЧПУ.

**Системы класса CNC.** На рис. 12.1. показана типовая структура системы CNC. Ее основу составляют: микроЭВМ, запрограммированная на выполнение функций числового программного управления; блоки связи с координатными приводами; блоки выдачи технологических команд в требуемой логической последовательности; системные органы управления и индикации; каналы обмена данными с центральной ЭВМ верхнего уровня.

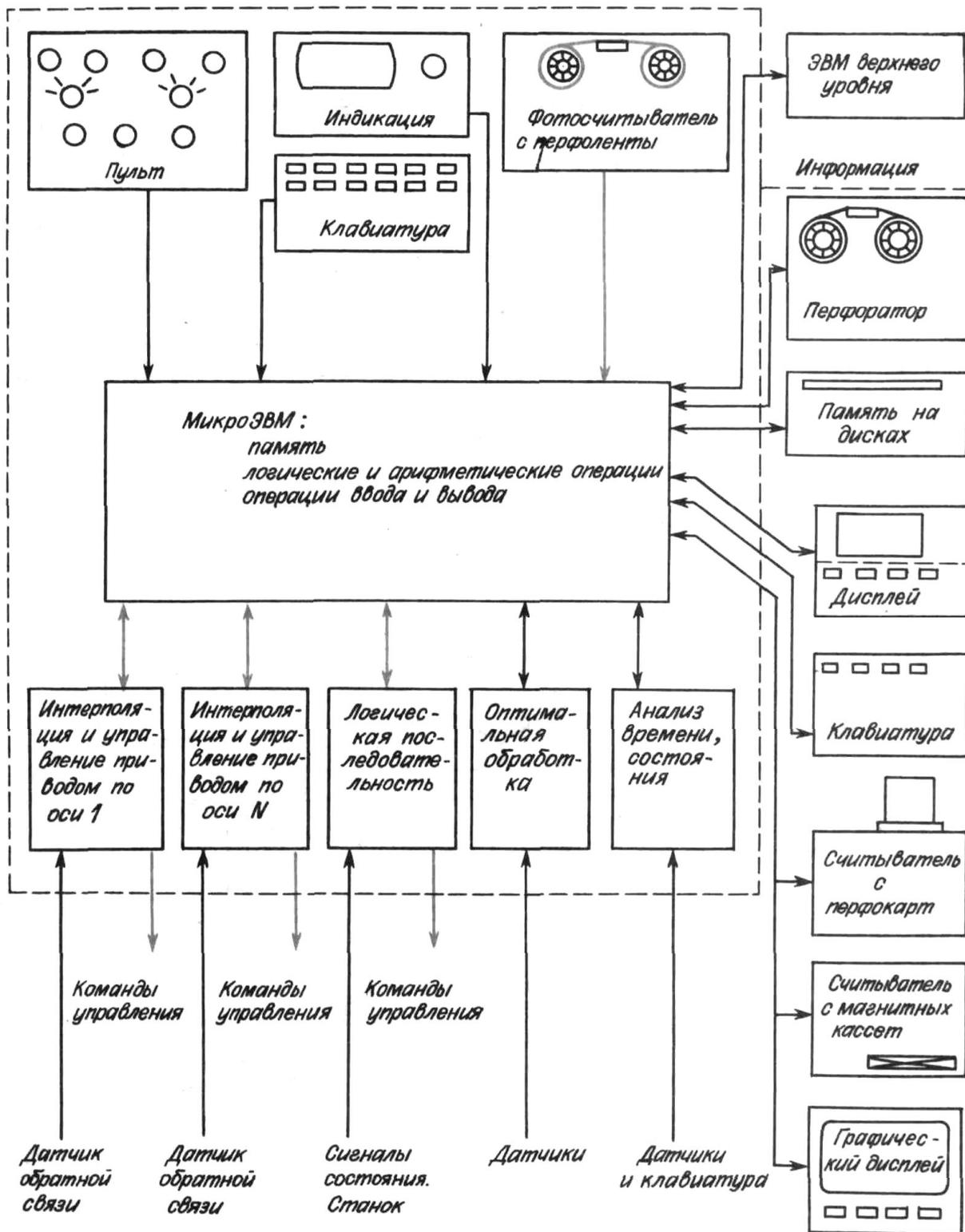


Рис. 12.1. Упрощенная типовая структура УЧПУ класса CNC

Особенность систем класса CNC заключается в возможности изменять и корректировать в период эксплуатации (а не только в период проектирования и изготовления системы) как УП обработки детали, так и про-

граммы функционирования самой системы в целях максимального учета особенностей данного станка.

Каждая из выполняемых функций обеспечивается своим комплексом подпрограмм. Подпрограммы увязываются общей координирующей программой-диспетчером, осуществляющей гибкое взаимодействие всех блоков системы.

Программный комплекс системы управления в настоящее время стремятся строить по модульному принципу. Основные модули системы:

- программа управления загрузкой УП, включающая подпрограммы ввода и расшифровки кадра;
- программа управления станком, включающая подпрограмму управления координатными перемещениями и подпрограмму выполнения технологических команд.

Программа управления координатными перемещениями состоит из блоков интерполяции, задания скорости, управления быстрым ходом, а эти блоки, в свою очередь, включают следующие модули:

- программу подготовки данных;
- организующую программу – диспетчер;
- драйверы – стандартные операторы для работы с внешними устройствами.

В запоминающее устройство системы CNC программа может быть введена полностью не только с подготовленной перфоленты, но и отдельными кадрами – вручную с пульта УЧПУ. В кадрах программы могут записываться не только команды на задания отдельных движений рабочих органов, но и команды, задающие целые группы движений, называемые постоянными циклами, которые хранятся в запоминающем устройстве СПУ.

Это приводит к резкому уменьшению числа кадров программы и к соответствующему повышению надежности работы станка.

Системы класса CNC позволяют достаточно просто выполнять в режиме диалога доработку и отладку программ и их редактирование, используя ручной ввод информации и вывод ее на дисплей (на переносной графопостроитель). Они также позволяют получать отредактированную и отработанную программу на перфоленте, магнитном диске, пленке и т.п. Кроме того, по одной программе можно работать в различных масштабах, в режиме «матрица – пуансон», в режиме зеркального отображения и т.д. В процессе работы допускаются самые различные виды коррекций.

Обладая сравнительно низкой стоимостью, малыми габаритами и высокой надежностью, системы класса CNC позволяют заложить в систе-

му управления новые свойства, которые раньше не могли быть реализованы. Так, многие УЧПУ этого класса имеют математическое обеспечение, с помощью которого можно учитывать и неавтоматически корректировать постоянные погрешности станка. Использование систем контроля и диагностики повышает надежность и работоспособность станков с УЧПУ на микропроцессорах. В функцию этих систем входит контроль состояния внешних по отношению к УЧПУ устройств, внутренних блоков и собственно УЧПУ.

**Системы класса DNC.** Системами класса DNC можно управлять непосредственно по проводам от центральной ЭВМ, минуя считывающее устройство станка. Однако наличие ЭВМ не означает, что необходимость в УЧПУ у станков полностью отпадает. В одном из наиболее распространенных вариантов систем DNC каждый вид оборудования на участке сохраняет свои УЧПУ классов NC, SNC, CNC. Нормальным для такого участка является режим работы с управлением от ЭВМ, но в условиях временного выхода из строя ЭВМ такой участок сохраняет работоспособность, поскольку каждый вид оборудования может работать от перфоленки, подготовленной заранее на случай аварийной ситуации.

В функции DNC входит управление и другим оборудованием автоматизированного участка, например, автоматизированным складом, транспортной системой и промышленными роботами, а также решение некоторых организационно-экономических задач планирования и диспетчирования работы участка. Составной частью программно-математического обеспечения DNC может быть специализированная система автоматизации подготовки УП. Редактирование УП в DNC возможно на внешней ЭВМ, на которой ведется автоматизированная подготовка УП, на ЭВМ, управляющей группой станков, и на ЭВМ, встроенной в УЧПУ конкретного станка. Во всех случаях подготовленные и отредактированные УП для оборудования участка хранятся в памяти ЭВМ, управляющей группой станков, откуда они передаются на станки по каналам связи.

### **12.3. Системы класса HNC**

Оперативные УЧПУ класса HNC позволяют осуществлять ручной ввод программ в электронную память микроЭВМ с пульта УЧПУ. Программа, состоящая из достаточно большого числа кадров, легко набирается и исправляется с помощью клавиш или переключателей на пульте УЧПУ. После отладки она фиксируется до окончания обработки партии одинаковых заготовок.

Первоначально УЧПУ класса HNC, имея упрощенную схему, в ряде случаев не обладали возможностью внесения коррекций, буферной памятью, вводным устройством с перфоленты и другими элементами.

Современные УЧПУ класса HNC построены на базе лучших УЧПУ класса CNC, лишь формально отличаясь от последних отсутствием ФСУ для ввода УП с перфолент. Но УЧПУ класса HNC имеют входное устройство для подключения переносных ФСУ и других внешних устройств. Новейшие модели УЧПУ класса HNC имеют повышенный объем памяти встроенной микроЭВМ. Подобные устройства позволяют вести программирование с пульта УЧПУ в режиме диалога и при использовании большого архива стандартных подпрограмм, хранящихся в памяти встроенной микроЭВМ. Эти подпрограммы по команде с пульта вызываются на экран дисплея, на экране высвечиваются как графика (схема обработки), так и текст (перечень необходимых данных для ввода в УЧПУ по выбранной подпрограмме). УЧПУ рассмотренного вида обеспечивают также автоматический выбор инструмента из имеющихся в наличии (в магазине станка), определяют режимы обработки выбранным инструментом для деталей из различных материалов, находят оптимальную последовательность операций и т.д. В общем случае такие системы позволяют вести подготовку УП непосредственно у станка по чертежу детали без каких-либо особых предварительных работ технологического характера. Это накладывает повышенные требования на профессиональную подготовленность оператора станка с ЧПУ. Ряд УЧПУ рассматриваемого класса позволяют вести программирование параллельно с работой станка по ранее отработанной и хранящейся в памяти УЧПУ программе, что исключает простои станков.

#### **12.4. Аппаратные системы ЧПУ**

Аппаратные системы ЧПУ – устройства управления технологическим оборудованием. Работа их электронных систем основана на методе геометрических аналогий (МГА). Устройства позволяют с помощью цифровых моделей циркуля, линейки, угольника и транспортира, т.е. проблемно ориентированных геометрических процессоров, в основе которых лежат интерполяторы, реализовать любые функции современных СЧПУ. При этом снижается объем электронного оборудования в  $10^3 - 10^5$  раз, обеспечиваются высокое быстродействие и наивысшая точность описания траектории. СЧПУ, построенные на основе МГА, обладают при эквивалентных

характеристиках существенными технологическими преимуществами. Они содержат в  $10^3 - 10^5$  раз меньше транзисторов и работают на более низких тактовых частотах по сравнению с системами ЧПУ классов CNC, MPST, что позволяет обойтись без многослойных печатных плат. Стоимость систем на основе МГА в три-пять раз ниже, чем систем аналогового уровня классов CNC, MPST. Системы реализованы в виде моделей «Дельта 122», «Дельта 422», «Дельта 386», «МГА NC-AT» и «СП-33» – для управления станками и модели ПУУС-250М1 для управления автоматизированными складами.

### **12.5. Системы класса VNC**

УЧПУ класса VNC позволяют вводить информацию непосредственно голосом. Принятая информация преобразуется в УП и затем в виде графики и текста отображается на дисплее, чем обеспечивается визуальный контроль введенных данных, их корректировка и отработка. УЧПУ класса VNC пока еще не получили распространения в промышленности, но, вероятно, в ближайшем будущем будут представлены широко как наиболее совершенные конструкции, обеспечивающие сервисные возможности высочайшего уровня.

### 13. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ

Многооперационные станки предназначены для комплексной обработки деталей различными видами инструментов, с программным управлением и автоматической сменой инструментов. Многооперационные станки используют главным образом для обработки корпусных деталей, плит, кронштейнов и других деталей, имеющих большое число отверстий, требующих обработки с различных сторон.

По некоторым статистическим данным корпусные детали составляют более половины всех обрабатываемых деталей на станках данного типа. На многооперационных станках при наличии поворотного стола обрабатываются с одной установки в автоматическом цикле все поверхности, кроме базовой. При автоматической переустановке деталь обрабатывается со всех сторон.

В зависимости от выполняемых операций многооперационные станки можно подразделить на группы:

1. Фрезерно-сверлильно-расточные с вращением инструмента и компоновкой, аналогичной фрезерным, сверлильным или горизонтально-расточным станкам.

2. Токарно-сверлильные, токарно-сверлильно-фрезерные с вращением обрабатываемой детали при компоновке, приближающейся к компоновке станков токарной группы.

3. Станки с широким использованием различных видов обработки (включая и строгание) и совершенно оригинальной компоновкой узлов.

В зависимости от расположения шпинделя многооперационные станки разделяют на горизонтальные и вертикальные. Большинство сверлильно-фрезерных и расточных станков – это станки горизонтального типа.

Большинство многооперационных станков применяют для сверления, зенкерования, развертывания, растачивания отверстий, подрезки торцев, фрезерования фасонных контуров и плоскостей, нарезания резьбы. Причем на сверление и нарезание резьбы затрачивается 70 % времени, на фрезерование – 20 %, на растачивание – 10 %.

Многооперационные станки характеризуются наиболее высоким уровнем автоматизации и производительности, более высокими требованиями к точности изготовления деталей, сборочных единиц, системе управления, чем это имеет место по отношению к универсальным станкам.

Поэтому производительность при обработке на многооперационных станках по сравнению с универсальными увеличивается в среднем в 3 – 8 раз.

Заметнее всего эффективность от применения этих станков проявляется при обработке более сложных деталей, требующих к тому же повышенной точности обработки. При обработке таких деталей доля машинного времени повышается до 60 – 75 % вместо 25 – 35 % на универсальных станках; сокращается вспомогательное время за счет высокого уровня автоматизации (автоматическая смена инструмента, кантование или автоматическая смена деталей с малыми затратами времени, высокая скорость холостых ходов – до 10 – 15 м/мин, исключение контрольных операций в процессе обработки, наладка инструментов вне станка).

Повышение точности достигается в результате ликвидации перебазирувания деталей и обработки поверхностей, связанных между собой жесткими допусками положения от одной базы и одного программносителя. Достигается сокращение производственного цикла, высвобождаются производственные площади. Повышается мобильность производства при переходе от обработки одних деталей к другим, что особенно важно для мелкосерийного производства. Сокращается внутрицеховой транспорт. Высвобождается рабочая сила из-за уменьшения числа обслуживаемых станков, контрольных операций и транспортных функций.

Многооперационные станки обеспечивают удобный и относительно быстрый ввод коррекции на длину и радиус инструментов; сокращение сроков освоения новых изделий; сокращение межоперационных заделов.

Повышение производительности достигается как за счет специализации станков, так и за счет концентрации операций на одном станке. На обычных агрегатных станках осуществляется параллельная концентрация операций. Следующей стадией развития является последовательная концентрация операций, то есть интеграция операций с наибольшей автоматизацией вспомогательных функций за счет усовершенствования программного обеспечения и мероприятий по ускорению переналадки. Это создает условия для эффективного использования многооперационных станков в мелкосерийном производстве с партией (в отдельных случаях) до 5 – 10 деталей.

Объем механической обработки деталей, изготавливаемых в мелкосерийном и среднесерийном производстве (где особенно эффективно применение многооперационных станков), составляет примерно 75 – 80 % объема всей номенклатуры деталей, обрабатываемых этим способом.

Очевидно, что наибольший эффект от применения многооперационных станков можно получить при соблюдении определенных требований к деталям и технологии их обработки на этих станках.

Интеграция обработки ставит требование сделать доступным обработке с одной установки большинства обрабатываемых поверхностей детали с минимальной предварительной подготовкой. Одним из способов для достижения этого может явиться использование для установки черных (необрабатываемых) поверхностей. Очевидно, что подобная установка требует применения специальных приспособлений.

Определение нуля детали ведется от неподвижных опор приспособления. Координация шпинделя с положением детали осуществляется с помощью установочных, встроенных в приспособление. Его центр или базовые поверхности находятся на определенных расстояниях от неподвижных опор. При установке детали на приспособление координаты одной из обрабатываемых поверхностей детали (например, наиболее точного отверстия) жестко привязываются к поверхностям установочных опор.

Другим примером высокопроизводительной обработки на обрабатывающих центрах может служить метод позиционных циклов для относительно небольших деталей корпусного типа. В этом случае на столе станка устанавливается несколько приспособлений. В первом приспособлении устанавливается деталь, на которой обработаны только базовые поверхности. Здесь производится обработка максимального количества доступных поверхностей. Затем деталь переносится на второе приспособление, где она устанавливается так, чтобы можно было обработать следующую группу поверхностей, а на первое приспособление ставится новая заготовка. Так заполняются все приспособления. На каждой позиции обработка детали ведется по своему циклу. Все циклы объединяются в единую программу, и обработка ведется непрерывно. После выполнения всей программы необходимо вернуться к ее началу, например, перемотать ленту. В это время с последнего приспособления снимается окончательно обработанная деталь. Другие обрабатывавшиеся детали переносятся на следующие позиции, а на первую позицию ставится новая заготовка.

Применение черных поверхностей для установки и совмещение черновой и чистовой обработок требуют особого внимания к недопущению деформации деталей в процессе обработки.

Главными направлениями здесь являются:

- создание жестких конструкций;
- естественное и искусственное старение заготовок;

- вибрационное воздействие на заготовки с целью снятия внутренних остаточных напряжений;
- предотвращение вероятных деформаций деталей при их закреплении под обработку.

Кроме соблюдения известных правил взаимного расположения точек опоры и приложения сил, рекомендуется рядом с местами зажимов устанавливать индикаторы, фиксирующие деформации детали. Усилие зажима можно увеличивать только до тех пор, пока индикатор не покажет заданную величину. В дальнейшем при ручном закреплении можно использовать тарированные ключи, настроенные по показаниям индикатора, а при использовании гидро- или пневмозажима – настроенные на необходимое усилие предохранительные клапаны в соответствующих устройствах.

Корпусные детали обычно имеют систему различных соосных отверстий на параллельных осях. При смене инструментов и режимов обработки отверстия, расположенные на одной оси, следует обрабатывать начисто с одного позиционирования.

Автоматическая смена инструмента вносит некоторые особенности в программирование процесса обработки.

Эти особенности не распространяются на те многооперационные станки, где смена инструмента осуществляется за счет поворота револьверной головки. Здесь каждая позиция головки имеет свой адрес и такой же адрес имеет установленный по этому адресу инструмент.

Иначе обстоит дело при обмене инструментом из магазина.

Если манипулятор одновременно обеими своими механическими руками захватывает и извлекает из шпинделя и гнезда магазина обмениваемые инструменты и тут же меняет их местами, то инструмент займет в магазине новое место. Чтобы этого не произошло, необходимо до его возвращения в магазин запрограммировать поиск занимаемого им ранее места в магазине. Это вызовет задержку установки очередного инструмента. При большой емкости магазина общая потеря времени может быть значительной.

При раздельном исполнении манипулятора и транспортера, возвращающего инструмент, задержки в установке очередного инструмента будут минимальными, так как поиск ячейки и возврат сменного инструмента на место может происходить в процессе обработки. Полностью избежать потерь можно только в том случае, если технологическим процессом обработки будет предусмотрено такое распределение участвующих в работе инструментов в магазине, при котором на поиски закрепленных за инструментом ячеек уходило бы минимальное время. Очевидно, что наи-

лучшим было бы такое размещение инструментов, которое совпадало бы с последовательностью их применения в ходе обработки. Но в таком случае возможно использование нескольких одинаковых по размерам инструментов.

Эффективное использование многооперационных станков нуждается в хорошо организованном инструментальном хозяйстве. Совершенно очевидно, что замена, например, инструмента на одинаковый по диаметру, но отличающийся по длине если и возможна в определенных пределах, то сопряжена с увеличением длительности наладочной работы. Поэтому подналадки в работе многооперационных станков должны быть по возможности исключены. Обязательным для инструментов многооперационных станков является использование высококачественных материалов, применение методов заточки, не ухудшающих режущих свойств, и безусловной заточки. Предпочтение следует отдавать сборным инструментам со сменными многогранными пластинками.

Режимы резания целесообразно снижать до уровня, соответствующего автоматическому процессу обработки. При назначении скорости резания рекомендуются поправочные коэффициенты, в среднем равные  $K_v = 0,6 \div 0,7$ , при назначении подач – коэффициенты, равные  $K_s = 0,75 \div 0,8$ . Точные значения коэффициентов подбираются опытным путем для каждого вида, размера, материала и других параметров инструментов.

Точность исполнения размера, например, диаметра растачиваемого отверстия, зависит не только от точности установки резца в борштанге, но и от того, занял ли инструмент правильное положение в конусном гнезде шпинделя. Последнее зависит не только от точности изготовления конического отверстия в шпинделе и конического хвостовика инструмента, но и плотности сопряжения конусных поверхностей. Плотность сопряжения может нарушаться пылью и грязевой пленкой. Величина радиального биения по такой причине может возрасти в несколько раз. Мерой предотвращения является обязательная протирка хвостовиков инструментов и ячеек магазина при каждой зарядке магазина.

## 14. ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА АГРЕГАТНЫХ СТАНКАХ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЯХ

Агрегатные станки применяют для обеспечения высокой производительности в условиях массового, крупносерийного и серийного производства с целью обработки сложных и трудоемких деталей: блоков цилиндров двигателей, корпусов насосов и др.

Их komponуют из унифицированных узлов в соответствии с технологическим маршрутом обработки деталей заданного типа. При широком использовании унифицированных узлов (80 – 90 %) себестоимость изготовления агрегатных станков значительно ниже, чем специальных, а срок окупаемости их составляет 1 – 3 года.

Агрегатные станки в основном предназначены для комплексной обработки отверстий (сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, нарезание резьбы, цекование, снятие фасок, раскатывание и т.д.), но могут применяться для фрезерования плоскостей, шпоночных пазов, лысок, нарезания наружных резьб, обтачивания концов стержней, снятия наружных фасок и т.д.

Повышение производительности на агрегатных станках достигается благодаря одновременному выполнению нескольких переходов, применению многошпиндельной и многосторонней обработки. В большинстве случаев агрегатные станки работают как полуавтоматы. Несколько агрегатных станков может быть объединено в автоматическую линию с применением загрузочных устройств, что позволяет совмещать время на установку и снятие заготовок с машинным временем.

В последнее время агрегатные станки начали оснащаться программными устройствами. Агрегатные станки с успехом могут быть применены при групповой обработке конструктивно и технологически подобных деталей.

При эксплуатации агрегатных станков коэффициент их использования по основному времени выше, чем специальных, и составляет 0,85 – 0,95. Для специальных станков он обычно равен 0,6 – 0,8.

Агрегатные станки обеспечивают обработку отверстий в пределах 8-го – 9-го квалитетов точности, биение торцов – не выше 0,08 мм при радиусе 100 мм, точение в пределах 9-го – 11-го квалитетов, обработку резьбы по 5 – 7-й степени точности.

## **14.1. Анализ технологичности конструкции деталей при обработке на агрегатных станках**

В случаях обработки на агрегатных станках предъявляются специфические требования по технологичности конструкции детали. При анализе конструкции детали рекомендуется проверить:

1. Оформлены ли обрабатываемые поверхности так, чтобы обработка их могла производиться только при движении подачи по оси режущего инструмента (сверление, развертывание и пр.)? Дополнительные движения подачи усложняют компоновку станка.

2. Возможна ли обработка плоскостей «напроход»?

3. Выдержано ли в конструкции детали соосное расположение обрабатываемых поверхностей? Это позволяет предусмотреть использование сборного многолезвийного режущего инструмента.

4. Возможна ли обработка всех поверхностей за один установ заготовки?

5. Возможна ли обработка отверстий одновременно при использовании нескольких шпинделей с учетом расстояний между отверстиями и их расположения?

6. Возможна ли расточка отверстий «напроход» с одной или двух сторон? Необходимо предусмотреть расточку отверстий консольной скалкой без дополнительной опоры.

7. Возможен ли свободный доступ инструмента к обрабатываемым поверхностям? Площадки желательно обрабатывать цековками, используя осевую подачу, поэтому они должны быть круглыми.

8. Не ограничиваются ли режимы резания из-за малой жесткости заготовки?

9. Имеются ли в конструкции заготовки надежные базы?

10. Возможна ли замена внутренней резьбы большого диаметра другими конструктивными элементами?

11. Имеются ли в конструкции детали шпоночные канавки закрытого типа? Обработка таких канавок производится пальцевой фрезой, что усложняет кинематику движений рабочих органов станка и увеличивает время обработки. Канавки по возможности следует делать открытого типа, что позволяет обрабатывать их дисковой фрезой при более простой кинематике станка.

## 14.2. Особенности построения операций при обработке деталей на агрегатных станках

Вначале намечается общий технологический маршрут обработки деталей. Затем уточняется содержание операций, выполняемых на агрегатных станках, с учетом максимального совмещения переходов во времени, определяется компоновка агрегатного станка, подбирается или проектируется необходимый инструмент и приспособление, рассчитываются режимы резания, производится нормирование операции, составляется схема наладки.

При проектировании операций на агрегатных станках необходимо стремиться к повышению концентрации обработки. Однако следует иметь в виду, что при слишком большом количестве инструментов в наладке может снизиться производительность из-за увеличения времени на смену и регулировку инструментов. Настройка инструментов вне станка, замена затупившегося инструмента блоками в перерывах между сменами позволяют использовать наибольшее количество инструментов в наладке.

Проектирование наладок на агрегатные станки осуществляется с учетом ужесточения на 20 – 30 % технических требований чертежа детали.

В случаях, когда за один рабочий ход инструмента не обеспечиваются заданные качество и точность обрабатываемой поверхности, предусматриваются черновые и чистовые переходы. При этом нельзя объединять в один переход различные виды черновой и чистовой обработки (например, развертывание и цекование). Объединение подобных переходов может вызывать вибрацию технологической системы, что снижает качество обрабатываемой поверхности. Разделение обработки повышает ее качество и стойкость инструмента. При отсутствии необходимого количества позиций для разделения переходов нужно применять плавающие оправки или вести обработку отверстий последовательно на одной позиции, причем обработка на втором переходе должна начинаться после окончания первого.

Длина рабочего хода  $L_{II} = a + L_0 + F + b$ , где  $a = 2-3$  мм – подход инструмента на рабочей подаче к обрабатываемой поверхности;  $L_0$  – длина обрабатываемой поверхности, мм;  $F$  – длина заборной части инструмента, мм;  $b$  – перебега инструмента ( $b = 2-5$  мм для сквозного отверстия).

При входе и выходе сверл  $d < 10$  мм на неровные или наклонные поверхности подачу следует уменьшать в 2-3 раза.

## 14.3. Выбор компоновок агрегатных станков

Компоновка станка зависит от расположения детали на столе, относительного расположения силовых головок, конструкции транспортных

устройств для перемещения деталей из позиции в позицию, расположения узлов привода и управления.

Выбор компоновки агрегатного станка зависит от многих факторов: объема выпуска, размеров и конструкции обрабатываемой детали, технических требований на ее изготовление. Содержание компоновок агрегатных станков зависит от вида обработки (параллельная, последовательная, параллельно-последовательная). Агрегатные станки в зависимости от направления рабочей подачи силовых механизмов изготавливаются в вертикальном, горизонтальном и смешанном исполнении. Обрабатываемая деталь в рабочей зоне агрегатного станка может быть неподвижной или перемещаться из позиции в позицию.

На рис. 14.1, *а* и *б* изображены одно- и многошпиндельный станки, работающие по принципу параллельной концентрации технологических переходов. За счет применения многолезвийного и сборного режущего инструмента можно при горизонтальном перемещении головки 2 одновременно обработать несколько поверхностей заготовки 1. Примеры смешанных компоновок агрегатных станков представлены на рис. 14.1, *в-и*. Повышение производительности достигается за счет применения одновременно работающих нескольких многошпиндельных головок 2 – 4.

На рис. 14.1, *и, к* показаны компоновки агрегатных станков с перемещением заготовок в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, что позволяет последовательно обрабатывать несколько групп отверстий, близко расположенных друг к другу. Данная компоновка может быть использована и при групповой обработке детали. На рис. 14.1, *л* приведен другой пример компоновки по параллельно-последовательной схеме. Стол с заготовкой имеет два фиксированных положения: в первом головками 2 осуществляется предварительная двусторонняя обработка, во втором – головками 3 последующая чистовая. На рис. 14.1, *м* представлена компоновка агрегатного станка с поворотными многоинструментальными головками 2 (рис. 14.1, *н*).

После выбора компоновки подбирают нормализованные узлы станка.

Выбор силовых органов агрегатного станка производится в следующем порядке:

1) по лимитирующей производительность обработки деталей додаче и суммарному усилию подачи подбирается силовой стол;

2) по эффективной мощности резания и частоте вращения инструментов подбирается силовая бабка для осуществления процесса резания;

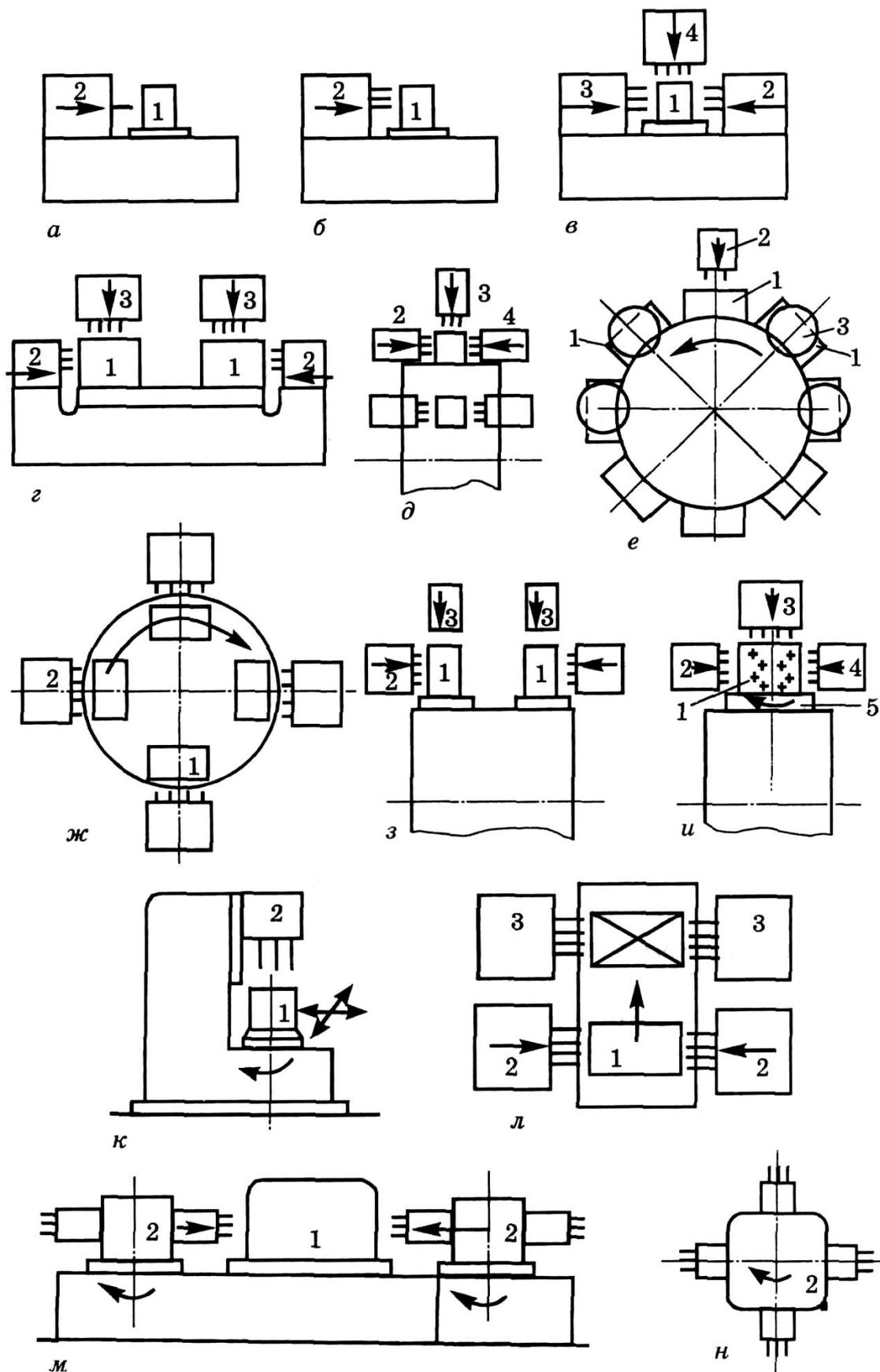


Рис. 14.1. Примеры различных компоновок станков

3) в зависимости от требуемого количества переходов (позиций) подбирается транспортное устройство – барабан, крестовый или поворотный стол, неподвижная планшайба для крепления приспособления. Выбор планшайб, столов производится по результатам расчета габаритов зажимного устройства детали.

Силовые головки обеспечивают необходимые движения инструмента: вращения, ускоренного подвода, рабочей подачи и ускоренного отвода. По способу осуществления движения подачи различают самодвижущиеся, несамодвижущиеся и стационарные силовые головки. Самодвижущиеся головки приводятся от индивидуального цилиндра (гидравлические, пневматические головки), несамодвижущиеся устанавливаются на силовой стол с возвратно-поступательным или круговым движением, у стационарных головок движение подачи осуществляется за счет перемещения шпинделей или пинолей.

#### **14.4. Выбор приспособлений и инструментов**

При обработке на агрегатных станках в силу одновременной работы большого количества инструментов возникают большие суммарные силы и моменты резания. Поэтому при закреплении заготовки в приспособлении необходимо увеличение сил зажима для предотвращения ее сдвига под действием сил резания и увеличение жесткости приспособления и всей технологической системы для уменьшения погрешности закрепления. Точность изготовления приспособления обусловлена требуемой точностью обработки деталей на агрегатных станках, которая находится в пределах 8-го и 9-го квалитетов.

Приспособления для агрегатных станков должны быть быстродействующими. Многопозиционные агрегатные станки часто оснащаются устройствами автоматического закрепления и открепления заготовок. В зависимости от типа производства приспособления полностью или частично автоматизируются. На рис. 14.2 приведена схема элементов и стадий автоматизации приспособлений агрегатных станков.

Высокая степень концентрации переходов вызывает необходимость применения многолезвийного инструмента с предварительной заточкой и установкой на требуемый размер, а также инструмента с механическим креплением твердосплавных многогранных пластин.



Рис. 14.2. Схема автоматизации элементов приспособлений

Вспомогательный инструмент должен быть удобным, быстросменным и обеспечивать возможность быстрой наладки режущего инструмента вне станка.

#### 14.5. Особенности определения режимов резания и нормирования операций

Оптимальные режимы резания для многоинструментальных станков принципиально не отличаются от режимов для одноинструментальных. При этом учитываются общие принципы выбора режимов: достижение наибольшей производительности и одинаковая последовательность в назначении элементов режима резания. Выбираются максимально допустимые подачи, определяются скорости резания, которые должны обеспечивать оптимальный период стойкости инструмента.

Основные особенности назначения режимов резания для многоинструментальной обработки следующие:

1) период стойкости инструмента при многоинструментальной обработке должен быть больше, чем при одноинструментальной, так как в первом случае затраты времени на смену инструментов больше, чем во втором;

2) кинематические особенности агрегатных станков ограничивают частоту вращения и подачу для отдельных инструментов, например, на агрегатных сверлильных станках все инструменты данной силовой головки должны иметь одну и ту же величину подачи.

Для упрощения расчетов режимов резания на агрегатных станках в основу может быть положен расчет по лимитирующему инструменту. При этом для данной наладки устанавливают лимитирующий инструмент, для которого определяют оптимальную стойкость и скорость резания. Какой инструмент является лимитирующим, определяется из условий работы: диаметра обрабатываемой детали, глубины резания, длины хода, подачи и т.д.

Из опытных данных по эксплуатации автоматизированного оборудования установлено, что для одношпиндельных автоматов период стойкости лимитирующего элемента  $T_{лим} = 120$  мин, а для многошпиндельных  $T_{лим(м)} = 150$  мин. Например, для агрегатных станков сверлильно-расточной группы, в которых комплект инструментов установлен в одной головке и имеет единую величину подачи, продолжительность работы инструментов и скорость резания различны.

**Пример.** Лимитирующим (рис. 14.3) будет резец 3. Для этого резца определяют экономическую стойкость  $T$ , по которой на основании нормативов определяют скорость резания  $V$  и частоту вращения инструментального шпинделя  $n = \frac{V}{\pi d}$ ;  $S = S_{об} \cdot n$ ;  $V = \pi d n$ .

Зная режимы, находят осевую составляющую силы, момент и мощность резания.

Данной методикой расчета режимов резания можно пользоваться, когда стойкость инструментов в наладке отмечается незначительно.

Если стойкость нелимитирующих инструментов по условиям наладки значительно выше, чем лимитирующих, то часть инструментов меняют в перерывах между сменами, а лимитирующие – в обеденный перерыв.

В целом, при работе на автоматизированном оборудовании принудительно меняют режущий инструмент при его износе в 1,5 раза меньшем, чем для инструмента универсальных станков.

Норма штучного времени  $T_{шт}$  определяется по общепринятой методике. При высокой степени автоматизации время на отдых в норму не включается, так как рабочий освобожден от физической работы, а наладчики обеспечивают работоспособность агрегатных станков. Наладчики производят периодическую регулировку механизмов, подготовку инструментов, смазывание и другие работы до начала или после окончания смены. Поэтому время организационного обслуживания в  $T_{шт}$  также не включается.

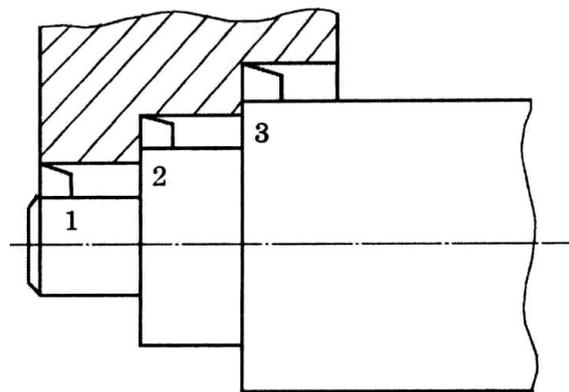


Рис.14.3. Пример определения лимитирующего элемента инструмента

Если принудительная смена инструментов производится в регламентированное время (перерывы между сменами, обеденный перерыв), то время технического обслуживания  $T_{тех.обсл.}$  в норму времени не включается. Поэтому при соблюдении указанных условий  $T_{шт} = T_{оп} = T_o + T_e$  в табл. 14.1 приведены основные зависимости по определению оперативного времени от схемы компоновки станка.

В зависимостях приняты следующие обозначения:  $l_{вр}$  – длина врезания;  $l$  – длина обработки;  $l_{сх}$  – длина схода инструмента;  $S_m$  – минутная подача;  $n$  – количество одновременно обрабатываемых заготовок;  $T_e$  – вспомогательное время.

Повышение производительности в конечном итоге достигается за счет сокращения составляющих штучного времени.

Основное время сокращают за счет применения высокопроизводительного режущего инструмента, уменьшения числа рабочих ходов и переходов, вспомогательное – за счет применения быстродействующих зажимных приспособлений. При расчете штучного времени на операцию учитываются только наиболее продолжительные лимитирующие переходы. Необходимо учитывать, что с увеличением количества инструментов в наладке может снизиться производительность операции ввиду увеличения затрат времени на установку и регулировку инструмента ( $T_{тех.обсл.}$ ).

Зависимости по определению оперативного времени от схемы компоновки станка

**Методика определения оперативного времени**

Схема компоновок станков									Топер	
Одноместная	Многоместная	Одноинструментальная	Многоинструментальная	Однопозиционная	Многопозиционная	Односторонняя	Многосторонняя	Параллельная		Параллельно-последовательная
X		X		X						$\frac{l_{вп} + l + l_{сх}}{S_M} + T_B^*$
X			X	X		X		X		$\frac{l_{вп} + l + l_{сх}}{S_M} + T_B$
X			X	X			X	X		$\frac{l_{вп} + l + l_{сх}}{S_M} + T_B^{**}$
X			X		X		X	X		$\frac{l_{вп} + l + l_{сх}}{S_M}^{***}$
X			X		X		X	X		$\frac{l_{вп} + l + l_{сх}}{S_M}^{***}$
	X		X		X		X	X		$\frac{l_{вп} + l + l_{сх}}{S_M n}^{***}$
X			X		X	X			X	$\frac{(l_{вп} + l + l_{сх})}{S_M} + T_B$

\* Принимаются по тому инструменту, где первый член максимален.

\*\* Принимается по той головке, где первый член максимален.

\*\*\* При полном перекрытии  $T_B$  основным временем.

### 14.6. Циклограмма работы станка

Циклограммы работы силовых головок и всего агрегатного станка строятся в зависимости от его компоновки и характера работы. Изменяются следующие основные варианты последовательности работы силовых головок:

- 1) сверление, зенкерование или развертывание отверстий;
- 2) сверление, зенкерование или развертывание двух отверстий в линию;

3) сверление глубоких отверстий с многократным выходом сверла из отверстия;

4) цекование бобышек, снятие фасок в отверстиях, развертывание конических отверстий;

5) сверление отверстий и подрезание торцов комбинированным инструментом (сверлом-цековкой);

6) сверление и развертывание отверстий комбинированным инструментом (сверлом-разверткой);

7) нарезание или накатывание резьбы с реверсивным шпинделем.

В качестве примера на рис. 14.4 приведена циклограмма работы шестипозиционного агрегатного станка.

Элементы работы станка	Время, с.		
	10	20	30
Закрепление и открепление заготовки	[Горизонтальная линия]		
Разжим и фиксирование стола	[Горизонтальная линия]		
Поворот стола	[Горизонтальная линия]		
Работа головки 1	[Горизонтальная линия]		
Работа головки 2	[Горизонтальная линия]		
Работа головки 3	[Горизонтальная линия]		
Работа головки 4	[Горизонтальная линия]		
Работа головки 5	[Горизонтальная линия]		
Установка и снятие детали	[Горизонтальная линия]		

Рис. 14.4. Циклограмма работы шестипозиционного агрегатного станка

Из этих циклограмм можно сделать ряд заключений. Рабочий цикл начинается пуском станка. После этого происходит автоматическое закрепление заготовки в приспособлении (при наличии загрузочной позиции), разжим стола, поворот его в новую позицию и фиксирование в данном положении. Затем производится пуск агрегатных головок. Цикл работы станка автоматически заканчивается после возвращения лимитирующей головки 3 в исходное положение. Время, затрачиваемое на закрепление и открепление заготовок, разжим и фиксирование стола, перекрывается временем подвода силовых головок. В приведенной циклограмме работы агрегатного станка основное время перекрывает вспомогательное, т.е. время на установку и снятие детали.

При расчете производительности и загрузки агрегатного станка в течение смены следует учитывать затраты времени на устранение возможных отказов. На рис. 14.5 приведены примеры циклограмм работы сверлильных силовых головок при выполнении ими обработки по различным схемам, представленным во второй колонке.

Циклограмма работы	Пример обработки	Условное обозначение цикла	Операция
			Сверление, зенкерование или развертывание отверстий
			Сверление, зенкерование или развертывание двух отверстий в линию
			Сверление глубоких отверстий с многократным выводом сверла из отверстия
			Сверление отверстий и подрезание торцов комбинированным инструментом (сверлом-цековкой)

Рис. 14.5. Циклограммы работы силовых головок, производящих сверление отверстий

## 14.7. Классификация автоматических линий и особенности их компоновки

Проектирование технологического процесса обработки деталей на автоматических линиях имеет специфические особенности. Процесс должен удовлетворять условиям автоматизированного производства по выбору баз, расчету точности, выбору варианта обработки, синхронности операций, обеспечению условий безаварийной работы, компактности и др. Большинство современных автоматических линий являются специальными для обработки одного изделия. Достоинства обработки деталей на автоматических линиях заключаются в том, что все технологические приемы выполняются непрерывно, без участия человека. Это значительно сокращает цикл обработки, объемы межоперационных заделов и незавершенного производства, а также упрощает планирование.

В машиностроении применяются следующие автоматические линии (по признакам ввода заготовки и выдачи готовой продукции):

- 1) с поштучным вводом заготовок и поштучной выдачей обработанных деталей (например, линии для обработки колец карданных подшипников);
- 2) с непрерывной подачей материала и непрерывной выдачей готовой продукции (например, линия для производства сварных труб);
- 3) с непрерывной подачей исходных материалов и поштучной выдачей готовых изделий (например, линия для производства метизов из бунта).

Линии с поштучной подачей заготовок и поштучной выдачей готовых деталей можно разбить на два класса: синхронные (жесткие) и несинхронные (гибкие). На рис. 14.6 представлена классификационная схема автоматических линий для изготовления изделий в машиностроении.

В синхронных линиях обрабатываемые заготовки 1 передаются от одного станка к другому с использованием шаговых транспортных устройств, которые перемещают все заготовки на шаг  $l$ . Расстояние между станками должно быть равно или кратно шагу (рис. 14.7).

Недостаток линии в том, что при отказе одного станка необходимо останавливать всю линию. Линии такого класса могут состоять как из однопозиционных, так и многопозиционных станков. Транспортер линии может быть сквозным или несквозным. Линии со сквозным транспортером получили наибольшее распространение и применяются в основном для корпусных деталей.



Рис. 14.6. Схема классификации автоматических линий

На рис. 14.7 показана принудительная схема компоновки синхронной автоматической линии.

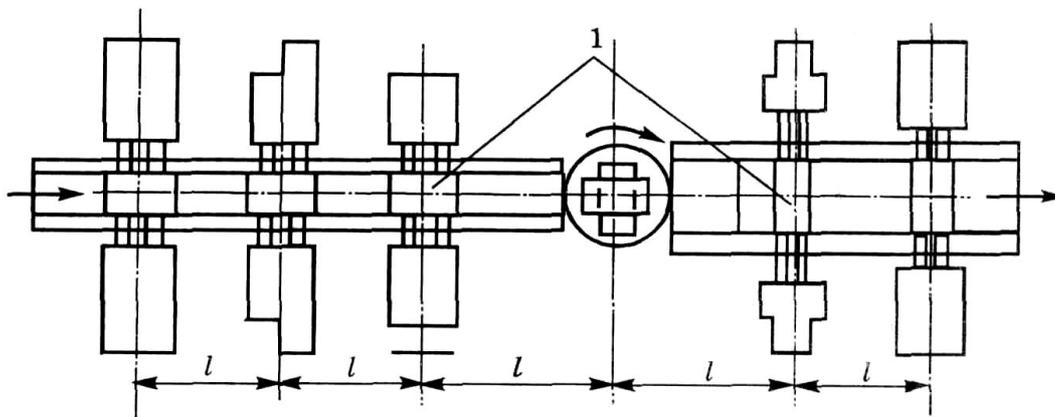


Рис. 14.7. Схема компоновки синхронной автоматической линии

Несинхронные линии состоят из станков, каждый из которых или их группа снабжены бункером 1 (рис. 14.8, а) или магазином-накопителем 2, 3 (рис. 14.8, б) для хранения деталей и автоматическим загрузочно-разгрузочным устройством. При остановке одного участка линии заготовки поступают из бункера или магазина-накопителя, что обеспечивает продолжение работы линии. Линии с бункерами применяются для небольших, простых, легко ориентируемых заготовок, а линии с магазинами-накопителями – для более сложных заготовок.

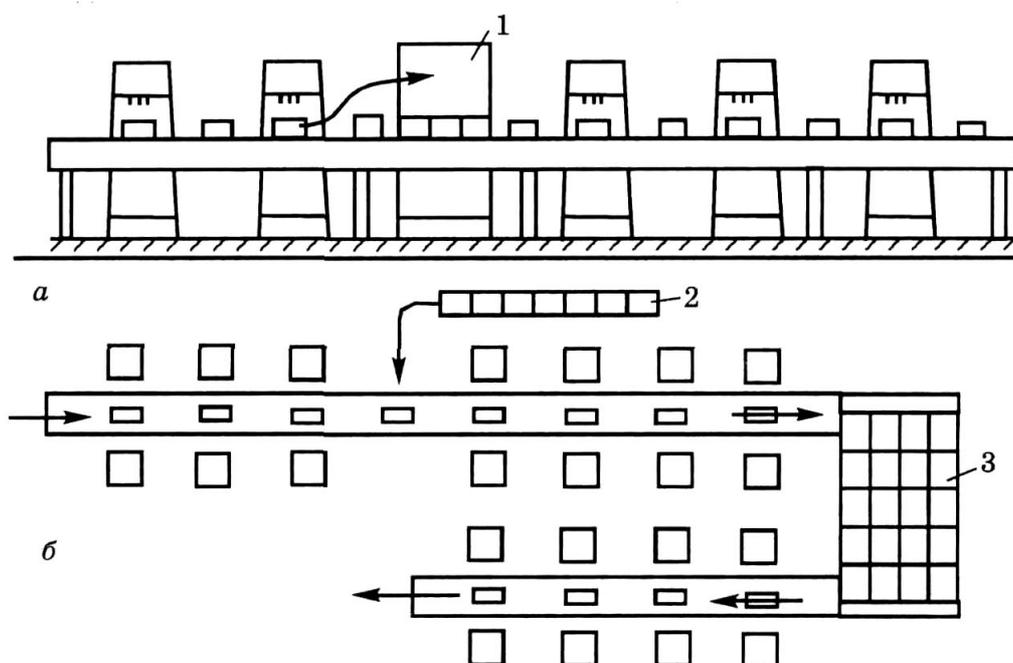


Рис. 14.8. Схема компоновок несинхронных автоматических линий

Линии с жесткой связью создают при необходимости с приспособлениями-спутниками (рис. 14.9). Заготовки 1 устанавливают в приспособлениях-спутниках 2, которые перемещаются на транспортирующем устройстве 3 от станка к станку. Деталь обрабатывают в данном случае с одной установки, т.е. при одной схеме базирования. Технологическими базами заготовки могут быть как предварительно обработанные поверхности, так и черновые. Несмотря на сравнительную сложность, линии со спутниками широко применяют для обработки сложных по конструкции заготовок.

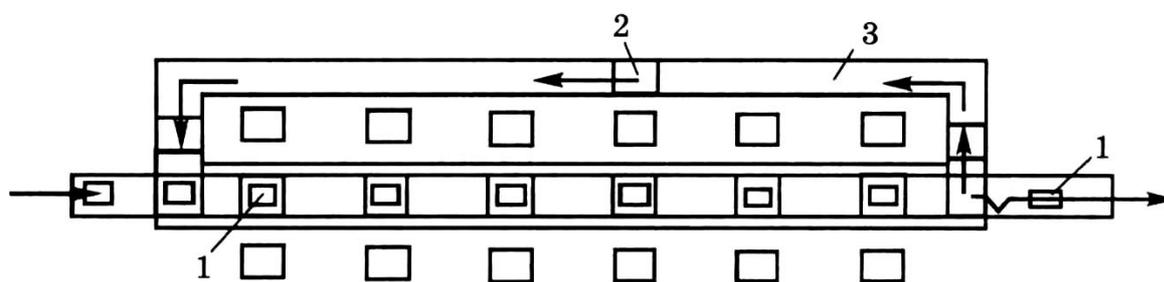


Рис 14.9 . Пример компоновки линии с жесткой связью и приспособлениями-спутниками

В линиях беспутникового типа заготовки должны иметь предварительно обработанные базы, например, крупные корпусные детали – нижнюю поверхность с двумя отверстиями для фиксирующих пальцев. Операции обработки баз в основном производят на отдельном оборудовании. Заготовки в беспутниковых линиях устанавливают в приспособлениях, размещенных на каждом станке линии, при помощи автооператоров, механических рук, лотков.

Линии с жестко-гибкой связью по расположению транспортирующего устройства могут быть со сквозным и несквозным перемещением заготовок.

При несквозном перемещении заготовки 1 проходят вне зоны обработки, из транспортера они подаются в рабочую зону и обратно при помощи специальных загрузочных устройств 2, что усложняет линию (рис. 14. 10). Такие автоматические линии применяют для обработки валов, зубчатых колес и других деталей. Если длительность обработки на отдельных участках неодинакова (меньше такта выпуска изделий), применяют линии с разветвляющимся потоком (рис. 14.11).

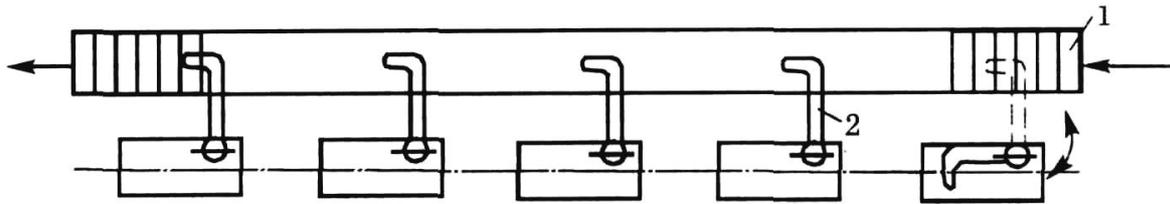


Рис. 14.10. Пример компоновки автоматической линии с жестко-гибкой связью

Большинство используемых в машиностроении линий являются линиями периодического действия (заготовка во время обработки останавливается). В автоматических линиях непрерывного действия (роторные и цепные линии) заготовки обрабатываются во время перемещения, что обеспечивает высокую производительность линии. Однако технические возможности их (по размерам и сложности обрабатываемых заготовок) небольшие.

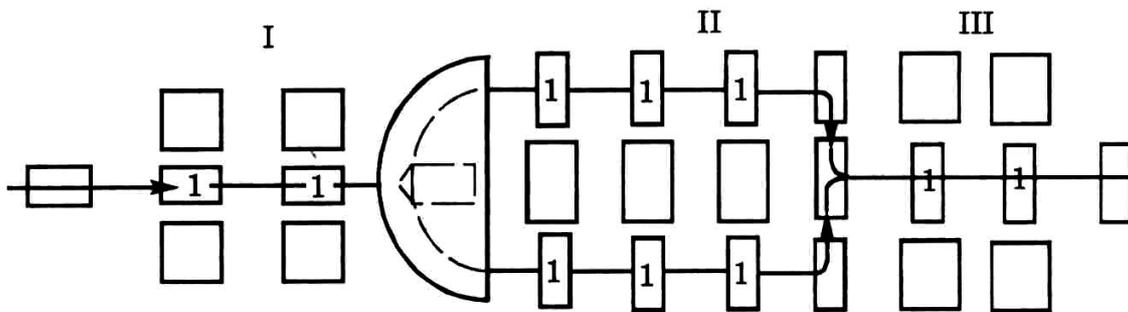


Рис. 14.11. Пример компоновки автоматической линии с разветвляющимся потоком

Линии для механической обработки могут состоять из следующих станков: агрегатных, специальных, универсальных, специализированных – полуавтоматов и автоматов, станков с программным управлением и роторных машин.

Общую последовательность разработки технологического процесса на автоматической линии можно представить следующей схемой (рис. 14.12).

При разработке технологического процесса для автоматической линии специфичны:

- 1) выбор структуры линии и расчленение ее на участки;
- 2) расчет вместимости промежуточных накопителей;
- 3) установление концентрации технических переходов;
- 4) установление периода групповой смены режущих инструментов;
- 5) расчет настроечных размеров.



Рис. 14.12. Последовательность разработки техпроцесса механической обработки с использованием автоматической линии

## 14.8. Требования к технологичности конструкции

При анализе конструкции детали для изготовления ее на автоматических линиях особое внимание обращают на возможность многосторонней многоинструментальной обработки, легкого отвода стружки, подвода и отвода СОЖ.

Выбор баз производится с учетом возможности автоматической фиксации детали в требуемом положении в приспособлении, надежной защиты баз от попадания стружки, рационального способа транспортирования деталей.

Для выполнения данных требований применяют приспособления-спутники, а для приспособлений используют искусственные базы. При обработке корпусных деталей целесообразно в качестве баз использовать плоскости и два точных отверстия. Фиксаторы и прижимы приводятся в действие гидроцилиндром.

При разработке технического процесса необходимо предусмотреть минимальное число перебазирования и перезакреплений обрабатываемой детали. Выполнение данных условий способствует повышению точности, уменьшению цикла обработки и сокращению количества автооператоров и кантователей. Как правило, необходимо стремиться к выполнению совмещения технологических и измерительных баз с целью устранения погрешностей при базировании.

Для автоматизированного производства понятие операции как законченной части технологического процесса, выполненной на одном рабочем месте, теряет смысл. Операция в условиях обработки деталей на автоматических линиях – это элемент технологического процесса, не требующий участия человека и выполненный одним целевым механизмом, обеспечивающим необходимое взаимодействие инструмента и заготовки для осуществления процесса обработки.

Технологический маршрут обработки отдельных поверхностей устанавливается на основании исходных данных (чертежа детали, объема выпуска и др.) и принципиально не отличается от маршрутов в обычном производстве. С целью обеспечения заданного размера детали и уменьшения количества отказов рекомендуется вводить между предварительной и окончательной обработкой получистовую. Следует стремиться повышать степень концентрации технологических переходов, а также исключать из общего маршрута трудно автоматизирующиеся операции. Для предупреждения возможности завышения и занижения припусков желательно устанавливать их расчетно-аналитическим методом, а не выбирать по таблицам.

#### **14.9. Выбор типа и структуры автоматической линии**

В настоящее время считается экономически эффективным объединение отдельных станков в малые и большие участки автоматических линий. При выборе оптимальной структуры необходимо определить, какое число станков можно сблокировать в автоматическую линию с жесткой связью. Оптимизация производится по двум факторам: надежности машин, объединенных в линию, и затратам на средства автоматизации.

Число станков, входящих в автоматическую линию, исходя из технологического процесса обработки и конструктивных факторов, выбирают от 2 до 30. При определении структуры линии сопоставляют параметры поточной линии из станков с автоматическим циклом и параметры автоматической линии из тех же жестко сблокированных станков. Из-за недостаточной надежности оборудования и средств автоматизации в настоящее

время такие линии делят на отдельные участки. Затраты на средства автоматизации и потери производительности должны быть компенсированы за счет сокращения численности обслуживающего персонала.

Определение оперативного времени, отводимого на отдельные позиции, производится исходя из фонда времени работы автоматической линии  $F$ , программного задания  $N$  (выпуск деталей в штуках за период времени  $F$ ) и коэффициента использования линии.

Такт работы в минутах автоматической линии определяется по формуле

$$\tau = \frac{60F_9}{N}.$$

Имеет место номинальный (календарный) годовой фонд времени работы линии ( $F$ ) и эффективный годовой фонд  $F_9$  (с учетом потерь времени на плановый ремонт оборудования  $F = 0,9F_9$ ). Такты тоже делят на номинальный и действительный  $\tau_0$ .

Максимальное допустимое оперативное время (или время рабочего цикла станков автоматической линии), мин,

$$T_{on} = \tau_0 \cdot \eta,$$

где  $\eta$  – коэффициент использования автоматической линии, учитывающий потери времени на устранение возможных неполадок в работе механизмов, затраты времени на настройку и наладку режущих инструментов.

При более точных расчетах учитывают показатели надежности каждой позиции автоматической линии

$$T_{on} = \tau_0 - (1 - P) \cdot t_{y.o.},$$

где  $t_{y.o.}$  – время устранения отказов, приходящееся на один рабочий цикл;

$P$  – надежность линии:  $P = (P_1 P_2 \dots P_n) P' P''$  ;

$P_1 P_2 \dots P_n$  – надежность станков (позиций);

$P'$  – надежность транспортирующего устройства;

$P''$  – надежность управляющей системы линии 0,95...0,99

Время устранения отказов  $t_{y.o.}$  определяется делением среднего времени восстановления работоспособности  $t$  на среднее количество циклов между отказами  $n$  :

$$t_{y.o.} = \frac{t}{n}.$$

Составляющие времени по каждой позиции автоматической линии определяются по найденному максимальному допустимому значению  $T_{on}$  :

$$T_{on} = t_m + t_6,$$

где  $t_m$  – машинное время, включающее время ускоренного подвода, отвода режущих инструментов и время их работы при рабочей подаче;  $t_g$  – вспомогательное время, включающее время транспортирования, фиксации, разжима, закрепления и открепления деталей или спутников.

Время подвода и отвода инструментов определяется исходя из характеристик силовых головок, приведенных в паспортных данных.

После определения допустимых норм времени по позициям уточняется технологический процесс, рассчитываются режимы резания, и производится нормирование.

#### **14.10. Выбор приспособлений и инструмента**

На автоматических линиях используют стационарные одно и многопозиционные, а также одно- и многоместные приспособления. В определенных случаях применяют приспособления-спутники.

К стационарным приспособлениям автоматических линий предъявляют специфические требования. Подача и установка заготовок в приспособление производится за счет перемещения определенного транспортирующего устройства. Установочные элементы транспортирующего устройства должны быть на одном уровне с установочными элементами приспособлений. В качестве установочных элементов часто используют опорные планки и два выдвижных пальца с коническими фасками, называемые фиксаторами.

При расчете погрешности установки необходимо учитывать, что наличие выдвижных установочных элементов и фиксаторов вызывает увеличение погрешности установки обработанной детали. Для определения правильности положения заготовки в приспособлении часто используют датчики, поэтому при проектировании автоматической линии работа приспособления и транспортирующего устройства согласовывается с работой станка. Конструкция приспособления должна обеспечивать надежный отвод стружки из зоны обработки.

Приспособления-спутники применяют для установки и закрепления заготовок сложной формы. При этом весь процесс обработки выполняется при неизменном положении заготовки. Приспособление-спутник с закрепленной на нем заготовкой последовательно перемещается относительно станков автоматической линии по специальным направляющим при помощи шагового транспортера. Закрепление заготовок на спутнике осуществляется вручную или автоматически гайковертами, смонтированными в начале и в конце линии.

Применение приспособлений-спутников на автоматических линиях обеспечивает:

- 1) необходимую ориентацию заготовки при транспортировке;
- 2) доступность рабочей зоны для наблюдений и очистки;
- 3) надежность фиксирования заготовки вместе с приспособлениями-спутниками;
- 4) автоматическую очистку и мойку базирующих элементов приспособлений вне зоны обработки.

К недостаткам приспособлений-спутников относятся:

1) удлинение и усложнение транспортных устройств линии вследствие невозможности возврата приспособлений-спутников с последней на первую позицию линии и наличия вспомогательных устройств для закрепления заготовок;

2) уменьшение точности обработки из-за наличия дополнительных поверхностей стыкования, фиксирования и базирования.

Для стабильной работы автоматической линии необходимо выбирать инструменты, обладающие наибольшей размерной и режущей стойкостью. Для автоматической линии подбирают инструмент на класс выше стандартного или изготавливают по специальным отраслевым нормам. Около 80 % инструментов обычно оснащаются твердосплавными пластинками с механическим креплением. Инструменты для автоматических линий, как правило, должны обеспечивать: быструю наладку и подналадку станков, взаимозаменяемость при предельном износе, дробление стружки, высокую степень концентрации технологических переходов.

Желательно применять сборные многолезвийные инструменты с неперегачиваемыми пластинами, фрезы с твердосплавными режущими и зачистными пластинами.

Вспомогательный инструмент (оправки, удлинители и т.д.) должен обеспечивать удобную настройку режущего инструмента вне станка и регулировку положения по его длине после заточки.

#### **14.11. Особенности определения режимов резания и нормирования**

Методика расчета режимов резания для автоматических линий та же, что и для агрегатных станков. Дополнительно необходимо учесть следующее:

1) при использовании существующих нормативных элементов режимов резания (глубины резания  $t$ , мм; ширины обработки  $B$ , мм; подачи

$S_Z$ , мм/зуб,  $S_o$ , мм/об;  $S_m$ , мм/мин; частоты вращения шпинделя  $n$ , мин<sup>-1</sup>; скорости резания  $V$ , м/мин, или м/с; стойкости инструмента  $T$ , мин; усилия резания  $P$ , Н; двойного крутящего момента  $2M_{кр}$ , Н/м) и эффективности (мощности  $N_э$ , кВт) необходимо учитывать влияние сложности технологической настройки, жесткости системы СПИД каждой позиции линии. При определенных условиях элементы режима резания могут быть понижены на 10...30 %;

2) допустимый износ режущих инструментов должен быть примерно в 1,5 – 2 раза меньше рекомендуемого для режущих инструментов универсального оборудования;

3) рассчитанные режимы резания корректируют в соответствии с рекомендуемыми периодами принудительной смены инструментов (1/2 смены, 1 или 2 смены с разбивкой инструментов на группы). При этом может оказаться, что период смены инструмента отдельных групп будет меньше периода возможностей стойкости инструмента. Но это окупается уменьшением количества отказов автоматической линии.

Для бесперебойной эксплуатации автоматических линий большое значение имеет правильно налаженная система обеспечения инструментом, в том числе принудительная смена инструмента по специальному графику, централизованная доставка на заточку, своевременное пополнение запасов инструмента.

Нормирование времени заключается в нахождении действительного оперативного времени на каждой из позиций линии и сравнении его с допустимым оперативным временем (временем цикла) работы автоматической линии  $T_{ум} = T_{он} = T_o + T_г$ .

Для позиций с одномерной наладкой и одноместным приспособлением

$$T_{он} = \frac{l_{сп} + l_o + l_n}{S_m} + t_г.$$

Для многоместных приспособлений, многоинструментальной наладки при использовании многопозиционных станков, параллельной многосторонней обработки

$$T_{он} = \frac{l_{сп} + l_o + l_n}{S_m \cdot n} + t_г,$$

где  $n$  – число одновременно обрабатываемых сторон, деталей или участвующих в обработке инструментов.

## **15. ГИБКИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ. ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ**

Достижения в развитии микроэлектроники открыли принципиально новые возможности для осуществления высокоэффективной автоматизации процессов механической обработки в непоточных многономенклатурных производствах. Реализация этих возможностей нашла отражение в создании высокопроизводительного технологического оборудования с числовым программным управлением и на его базе – гибких производственных систем (ГПС), являющихся основой создания автоматических цехов и предприятий.

Под ГПС понимают совокупность в разных сочетаниях оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени, обладающую свойством автоматизированной переналадки при производстве изделий произвольной номенклатуры в установленных пределах значений их характеристик.

По организационным признакам ГПС классифицируются на:

1) гибкие автоматизированные участки (ГАУ), функционирующие по технологическому маршруту, причем предусмотрена возможность изменения последовательности использования технологического оборудования;

2) гибкие автоматизированные линии (ГАЛ), в которых технологическое оборудование расположено в принятой последовательности технологических операций;

3) гибкие автоматизированные цехи (ГАЦ), представляющие собой в различных сочетаниях совокупность гибких автоматизированных линий, роботизированных технологических линий, гибких автоматизированных участков, роботизированных технологических участков для изготовления изделий заданной номенклатуры.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что наиболее эффективной областью применения ГПС являются мелко- и среднесерийное производства, в которых применяются ГАУ. В крупносерийном и массовом производствах применяются ГАЛ.

Эффективность применения ГПС обусловлена необходимостью удовлетворения двух противоречивых требований – высокой производи-

тельности, свойственной автоматическим линиям, и гибкости производства, характерной для станков с ЧПУ.

Ниже рассмотрена структура ГПС на примере ГАУ.

Анализ назначения, структуры и уровня автоматизации ГАУ, действующих в настоящее время в производстве, позволяет представить типовую их структуру в виде восьми подсистем (рис. 15.1). Основой ГАУ является станочное оборудование в виде ГПМ, станков с ЧПУ, РТК. Для автоматизации вспомогательных операций и обеспечения бесперебойной работы станочного оборудования применяются: промышленные роботы, автоматизированная транспортно-складская система, контрольно-измерительные машины, управляющий вычислительный комплекс (УВК). Современная концепция построения ГАУ предусматривает наличие у станков самостоятельных устройств ЧПУ. Гибкость и надежность такой системы обеспечивается тем, что каждый станок имеет возможность управляться как самостоятельный объект, т.е. возможна независимая работа каждого станка. Поэтому в единый комплекс могут объединяться станки различных групп.

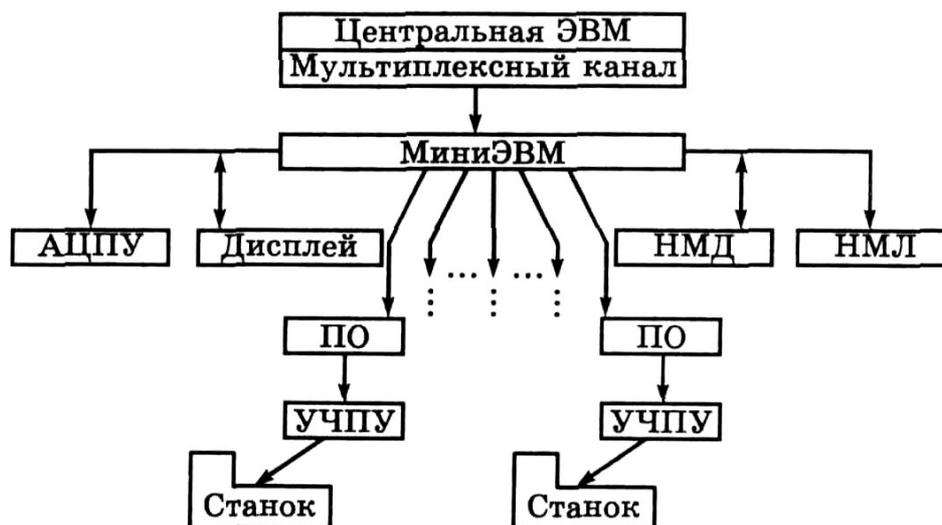


Рис. 15.1. Структурная схема типовой системы программного управления группой станков с ЧПУ: АЦПУ – алфавитно-цифровое печатающее устройство; НМД – накопитель на магнитных дисках; НМЛ – накопитель на магнитной ленте; ПО – пульт оператора

На рис. 15.2 приведена структурная схема наиболее ранней типовой системы непосредственного программного управления группой станков с ЧПУ. Система состоит из управляющего вычислительного комплекса на базе ЭВМ, имеющего интерфейсный блок для связи с устройствами ЧПУ и пульт оператора для обмена информацией между ЭВМ и оператором станочного оборудования.

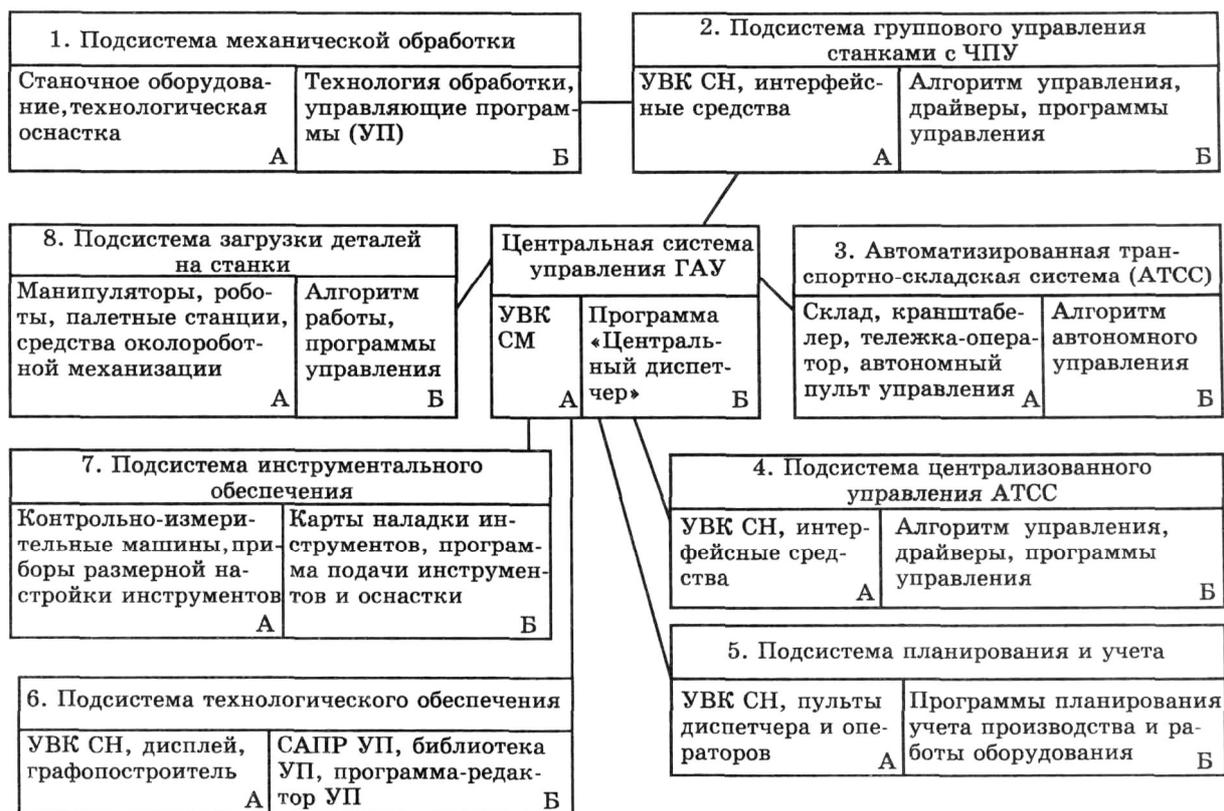


Рис. 15.2. Типовая структура ГАУ: (А) – технические средства; (Б) – программная и техническая документация

Оснащение каждого входящего в состав ГАУ станка устройством ЧПУ типа CNC и использование мини-ЭВМ в режиме разделения времени представило возможность ввода в устройство ЧПУ полной управляющей программы.

Тенденция резкого увеличения количества применяемых в машиностроении станков с ЧПУ, ГПМ, РТК обусловлена следующими факторами:

1) необходимостью освоения в сжатые сроки новых изделий и наращиванием в этой связи объемов вспомогательных производств с серийным характером выпуска средств технологического оснащения;

2) расширением номенклатуры выпускаемых изделий и быстрой сменяемостью объектов производства;

3) демографическими проблемами восполнения рабочей силы, особенно высококвалифицированными станочниками;

4) освоением производства новых разновидностей систем ЧПУ и станков с программным управлением, что позволяет значительно расширить число областей применения этого оборудования.

Оснащение металлорежущих станков оперативными системами ЧПУ позволило эффективно применять их в мелкосерийном и индивидуальном

производстве, а создание агрегатных переналаживаемых станков с ЧПУ расширило области применения этого оборудования, включая крупносерийное производство.

Области эффективного применения металлорежущего оборудования различных видов и станочных комплексов приведены на рис. 15.3.

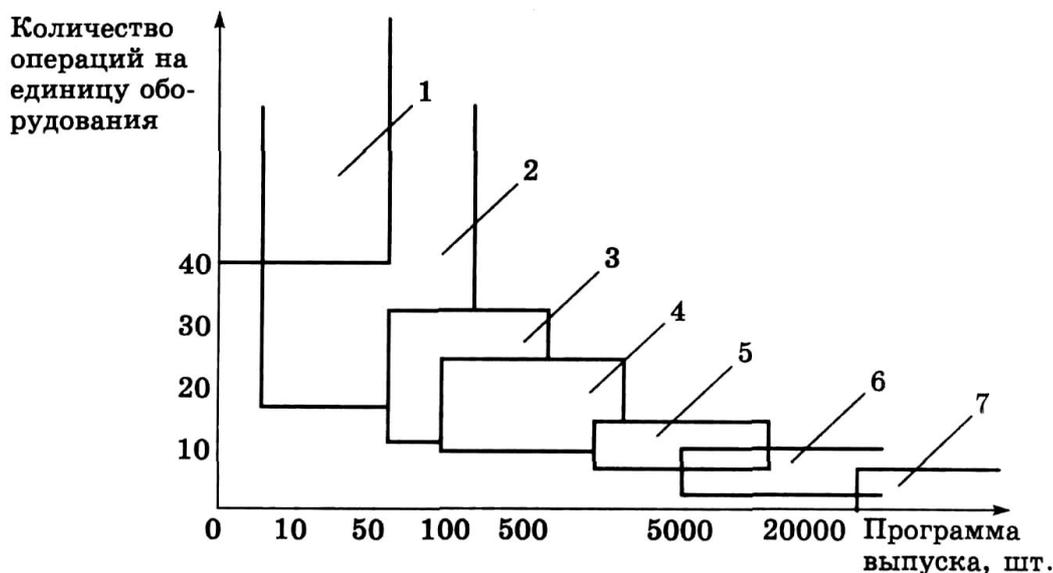


Рис. 15.3. Области применения в машиностроении металлорежущего оборудования и станочных комплексов: 1 – универсальные станки с ручным управлением; 2 – станки с ЧПУ; 3 – ГП модули; 4 – ГП участки; 5 – ГП участки, имеющие агрегатные переналаживаемые станки; 6 – ГП линии; 7 – автоматические линии, агрегатные и специальные станки, автоматы и полуавтоматы

Данные рисунка являются ориентировочными, так как эффективность использования того или иного вида оборудования определяется соответствующим технико-экономическим расчетом для каждого конкретного производства. Станки, оснащенные универсальными и оперативными системами ЧПУ, применяются в производствах с количеством операций на единицу оборудования 15 и более и с программой выпуска до 200 штук. При меньшем количестве операций, приходящихся на единицу оборудования, и программе выпуска более 90 штук станки с ЧПУ применяются в составе технологических станочных комплексов.

Опыт использования станков с ЧПУ как в СНГ, так и за рубежом показывает, что наибольший эффект от этого оборудования можно получить при условии применения его в составе предметно-замкнутых технологических участков. Высшей организационно-технической формой таких участков является гибкая производственная система (ГПС).

Гибкие автоматизированные линии (ГАЛ) за рубежом создают в массовом и крупносерийном производстве для обработки небольшой номенклатуры деталей (до 5-6 наименований однотипных деталей, например, блоки цилиндров, картеры задних мостов, коленвалы и др.).

В составе ГАЛ применяются переналаживаемые и агрегатные станки с многошпиндельными сверлильными и расточными головками, сменяемыми по программе.

Это является тенденцией дальнейшего развития автоматических линий и должно учитываться предприятиями на стадии заказа линий на станкозаводах.

Что касается серийного производства, то здесь гибкие автоматизированные участки создаются на базе станков с ЧПУ и гибких производственных модулей.

Установлено, что эффективность используемых в составе ГАУ станков с ЧПУ при нормальной эксплуатации увеличивается по сравнению с индивидуальными станками с ЧПУ на 40 – 70 %.

Рациональной областью применения ГАУ является серийное производство с годовой программой выпуска для деталей типа «тел вращения» от 200 до 20 тыс. шт. деталей каждого наименования, для корпусных – от 80 до 5 тыс. шт.

### **15.1. Уровни автоматизации ГАУ**

На современном этапе развития техники и технологии каждому типу производства соответствует определенный уровень автоматизации ГАУ. В зависимости от количества реализованных автоматизированных систем и подсистем можно выделить три уровня автоматизации ГАУ.

Первый уровень автоматизации ГАУ характеризуется наличием системы непосредственного программного управления основным технологическим оборудованием, подсистемы автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ и ряда подсистем по планированию производства, сбору и обработке информации о состоянии процесса обработки. Применение в машиностроении ГАУ первого уровня автоматизации, несмотря на относительно небольшое количество реализованных подсистем, позволяет значительно повысить эффективность производства.

Положительный эффект от внедрения указанных участков обусловлен следующими факторами:

1) сокращаются простои станков с ЧПУ, вызванные корректировкой перфолент, их дублированием, переносом к станкам и обратно для внесения изменений;

2) повышается надежность системы, так как не применяется фотосчитывающее устройство, на долю которого приходится до 20 % всех отказов устройства ЧПУ;

3) имеется возможность оперативного планирования производства и сбора диспетчерских данных;

4) сокращаются затраты на автоматизированную подготовку управляющих программ, которая производится непосредственно на участке.

Экономические преимущества ГАУ первого уровня автоматизации наиболее очевидны в тех производствах, где необходимо часто вводить в работу новые управляющие программы. Поэтому экономически выгодной областью применения таких участков является серийное производство с коэффициентом закрепления операций от 10 до 35, характеризующееся большим объемом работ по подготовке управляющих программ и переналадке станков с ЧПУ.

Второй уровень автоматизации ГАУ, кроме систем и подсистем первого уровня, включает подсистемы автоматизированного складирования, хранения, учета и транспортирования к рабочим местам деталей и технологической оснастки. Из отечественных разработок примером ГАУ второго уровня автоматизации может служить разработанный НПО ЭНИМС автоматизированный участок АСК-10, который предназначен для обработки в условиях серийного производства корпусных деталей с максимальными размерами 750×600×550 мм и партиями запуска 10-50 шт.

В состав АСК-10 входят: группа многоцелевых станков с ЧПУ: разметочная машина; контрольно-измерительный пункт; автоматизированные транспортно-складские системы; система непосредственного программного управления от ЭВМ.

Поступающие на участок заготовки проходят проверку на координатно-разметочной машине, а обработанные детали контролируются контрольно-измерительной машиной.

Автоматизированная транспортно-складская система АСК-10 включает в себя двухрядный склад для создания задела заготовок, хранения полуфабрикатов и готовых деталей. Детали со склада к рабочим местам и обратно подаются в автоматическом режиме, установка их на станки и снятие со станков производятся вручную.

Система управления участком АСК-10 – двухуровневая, построена по принципу централизованного управления от ЭВМ и обеспечивает выполнение следующих задач:

- 1) подготовку, контроль и редактирование управляющих программ;
- 2) хранение управляющих программ;
- 3) управление станками с ЧПУ и транспортно-загрузочным устройством;

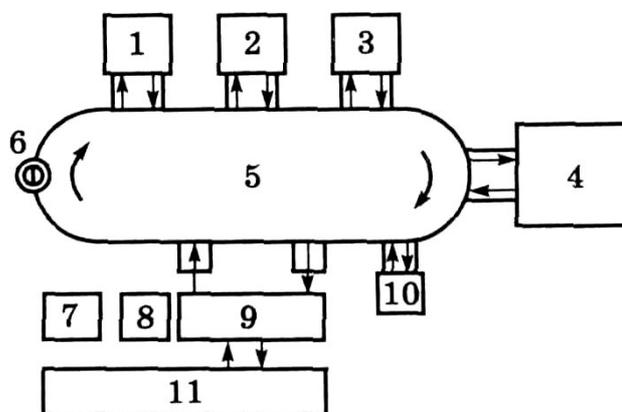
- 4) оперативно-календарное планирование;
- 5) учет хода производства;
- 6) формирование сопроводительных технологических документов.

Среди ГПС гибкие автоматизированные участки второго уровня автоматизации нашли наибольшее распространение как у нас в стране, так и за рубежом. Они охватывают область среднесерийного производства и предназначены, как правило, для обработки деталей с общими технологическими признаками.

ГАУ третьего уровня автоматизации представляют собой наиболее развитые комплексно-автоматизированные системы, удовлетворяющие основным требованиям «безлюдной технологии». По сравнению с ГАУ второго уровня автоматизации в этих системах автоматизирована установка деталей на станки, технологическая подготовка производства, а также реализован ряд задач информационного характера.

В качестве примера ГАУ третьего уровня автоматизации можно привести комплексно-автоматизированный участок механической обработки «Орбита», управляемый ЭВМ (рис. 15.4). Участок предназначен для токарной и сверлильно-фрезерной обработки деталей типа колец, дисков, фланцев.

Рис. 15.4. Компонировка участка «Орбита» и схема движения деталей: 1 – 3 – токарные станки с ЧПУ; 4 – обрабатывающий центр; 5 – конвейер с автоматическим адресованием деталей; 6 – патрон-спутник; 7 – автооператор; 8 – диспетчерский пульт; 9 – комплектующая площадка; 10 – автоматизированный прибор для измерения деталей; 11 – автоматизированный склад заготовок и готовых изделий



В участок входят: три токарных автомата с ЧПУ 1 – 3; обрабатывающий центр 4; автоматизированный прибор для измерения деталей 10; горизонтально-замкнутый конвейер 5, обеспечивающий гибкую транспортную связь при перемещении патрона-спутника 6 с деталью (заготовкой) от исходного положения непосредственно на станок и обратно; автоматизированный склад заготовок и готовых деталей 11; комплектующая площадка 9; диспетчерский пульт 8; автооператор 7, выполняющий функции группового управления.

На этом участке автоматизированы прием, хранение, межоперационное транспортирование, механическая обработка и контроль деталей.

Система управления участком реализована на базе ЭВМ, в функции которой, кроме непосредственного управления работой склада конвейера, станками с ЧПУ, входят расчет управляющих программ, контроль и управление производственным процессом.

Конвейер 5 снабжен загрузочными устройствами и механизмами смены патронов-спутников.

Перевод обработки двадцати наименований деталей на комплексно-автоматизированный участок «Орбита» позволил сократить трудоемкость их обработки на 30 – 35 %, высвободить 24 высококвалифицированных станочника и 12 единиц оборудования с ручным управлением.

За рубежом среди ГАУ третьего уровня автоматизации наибольшее распространение получили системы для обработки корпусных деталей, имеющие в своем составе агрегатные обрабатывающие центры (АОЦ) с автоматической сменой многошпиндельных головок по командам от систем ЧПУ. АОЦ сочетают преимущества высокопроизводительной обработки, свойственной автоматическим линиям, с гибкостью одношпиндельных обрабатывающих центров. Такие системы созданы фирмами: Комау (Италия); Хюллер-Хилле, Бурхард и Вебер (ФРГ); Цинциннати, Милакрон (США); Рено (Франция) и др.

Структурная схема ГАУ, разработанная фирмой Тошиба (Япония), для обработки корпусных деталей показана на рис. 15.5. Детали нескольких типов располагаются в спутниковом магазине произвольно и подаются к любому из станков (на рисунке показано два станка). Работа ГАУ возможна в одном из трех режимов:

1) по программе (графику), разработанной заранее и введенной в системный регулятор;

2) в ручном режиме в процессе работы по графику (по программе прерывания);

3) в ручном режиме независимо от графика.

При работе ГАУ в режиме «по графику» поддоны-спутники подаются на обработку в порядке приоритета в соответствии с запросами со стороны станков.

Из отечественного и зарубежного опыта следует, что ГАУ в машиностроении применяется для обработки широкой номенклатуры деталей, объединяемых технологической общностью и габаритами обрабатываемых поверхностей и запускаемых в производство партиями.

Структура операций, выполняемых ГАУ, определяется технологическими возможностями станков, входящих в систему. Например, ГАУ для обработки деталей типа «тела вращения» выполняет токарные и фрезерно-сверлильные операции.

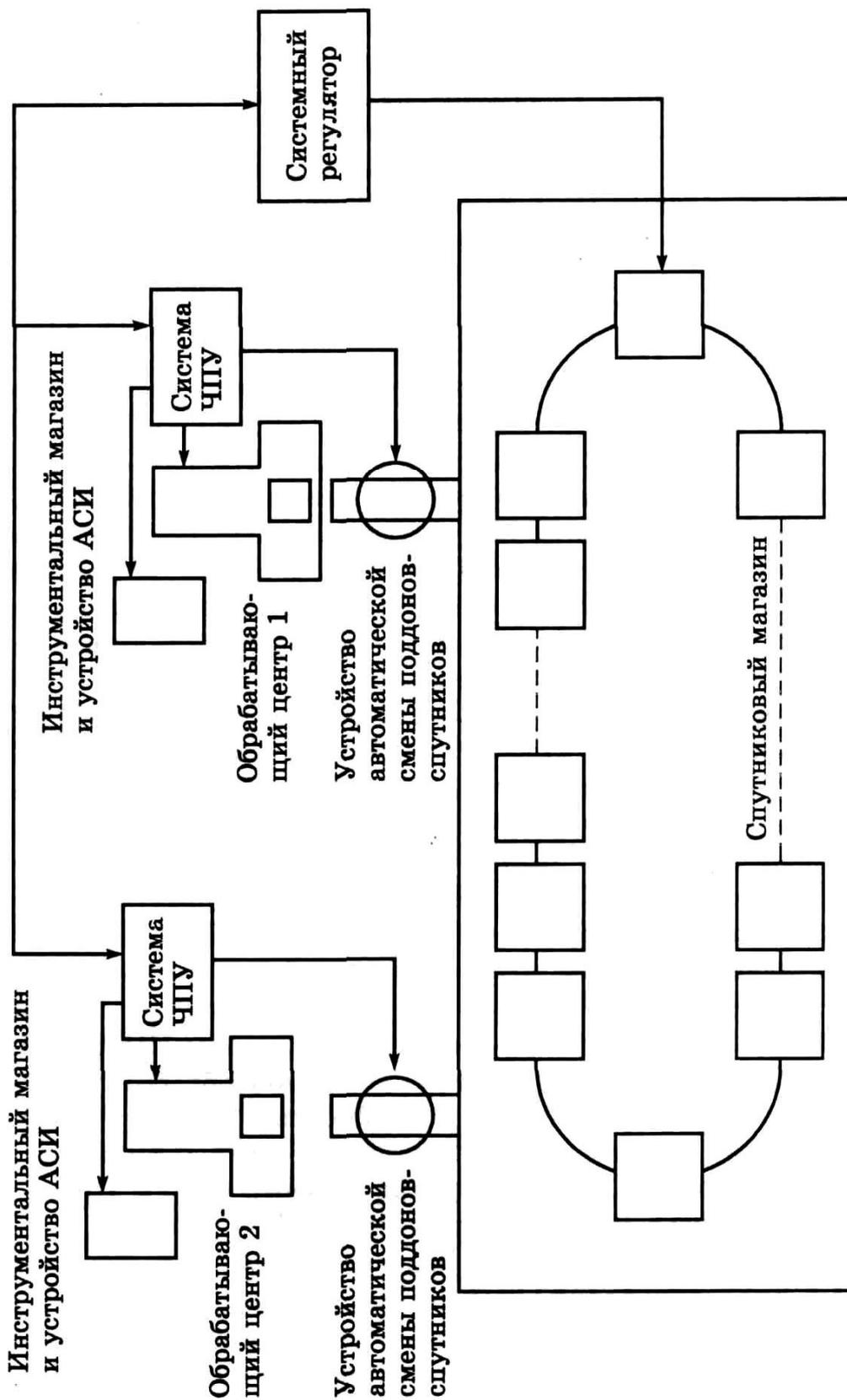


Рис. 15.5. Структурная схема ГПС RMS-T5003 обработки корпусных деталей

Для обеспечения нормальной загрузки одного станка с ЧПУ в мелко-серийном производстве требуется подготовка и отладка до 200 управляющих программ в год. Первоочередными задачами, которые необходимо решить при создании ГАУ в таком производстве, являются автоматизация технологической подготовки производства и сокращение времени переналадки станков. Предпосылкой успешного решения указанных задач является группирование деталей по конструктивно-технологическим признакам с целью организации их групповой обработки. Определяющим признаком при комплектовании в группы деталей инструментального производства является сходство выполняемых операций. Эффект групповой технологии в условиях ГАУ заключается в удовлетворении двух противоположных требований: разнообразия и стандартизации. Обработка деталей по групповым технологиям в условиях гибких производственных систем имеет ряд преимуществ:

- 1) использование групповых наладок, т.е. одних и тех же приспособлений и инструментов для деталей каждой отдельной группы;
- 2) применение одного нулевого положения инструмента (или детали) и одних и тех же величин коррекции инструмента для обработки всех деталей группы;
- 3) значительное сокращение времени на переналадку;
- 4) возможность распространения режимов резания, отработанных для одной операции, на все детали операции группы.

В связи с тем, что детали, объединенные в группы, близки по технологическим признакам, изготавливаются из одинакового материала, достаточно разработать управляющую программу для одной детали-представителя группы и отразить в исходной информации для ЭВМ специальными пометками элементы, по которым детали группы отличаются друг от друга (обычно геометрические элементы). В дальнейшем при разработке управляющей программы для любой детали из группы необходимо в исходной информации заменить размеры помеченных элементов действительными размерами конкретной детали. Управляющую программу после использования можно либо сохранять в библиотеке программ ЭВМ, либо аннулировать, так как ее легко восстановить по управляющей программе на деталь-представитель.

Такие автоматизированные системы разработки технологии и управляющих программ позволяют эффективно и оперативно производить все подготовительные работы для запуска последующей партии деталей за время обработки предыдущей партии.

Применение групповых методик обработки позволяет применять в составе ГАУ эффективные автоматизированные устройства загрузки и контроля качества обрабатываемых деталей, что обычно затруднено в мелкосерийном производстве в связи с широкой номенклатурой деталей.

В средне- и крупносерийном производстве с устоявшейся номенклатурой обрабатываемых деталей объем работ по подготовке и отладке управляющих программ, а также по переналадке станков с ЧПУ на порядок меньше, чем в мелкосерийном. При создании ГПС в этих производствах первоочередной задачей является автоматизация транспортно-складских операций, а также установка заготовок на станок и снятие готовых деталей. Поэтому при группировании деталей серийного производства определяющим является не только сходство выполняемых операций и подобие геометрической формы, но и близость размеров поверхностей, являющихся базовыми при транспортировании, установке и снятии деталей.

Таким образом, для мелко- и среднесерийного производства основой внедрения ГПС является применение принципа групповой технологии.

Исходя из анализа опыта создания ГАУ в СНГ и за рубежом, можно сделать вывод, что на современном этапе развития техники и технологии при создании ГАУ экономически целесообразно автоматизировать лишь те виды работ, которые являются наиболее трудоемкими и направлены на повышение производительности труда, ликвидацию тяжелого физического труда и повышение качества продукции.

При создании ГАУ предусматривают ряд организационно-технических мероприятий, в том числе:

- 1) рациональное сочетание функций ЭВМ и оператора;
- 2) расположение однотипных станков с ЧПУ по группам для создания возможности их взаимозаменяемости при выполнении любой технологической операции обработки деталей;
- 3) применение стандартизированного режущего и вспомогательного инструмента, который настраивается заранее вне станка;
- 4) применение на станках одной группы унифицированного комплекта приспособлений;
- 5) осуществление подачи заготовок посредством автоматизированной транспортно-складской системы, позволяющей реализовать различные маршруты движения деталей: обработку на любом станке одной группы, последовательную обработку на одном из станков каждой группы, возврат деталей на любую из позиций.

Опыт создания ГАУ и достигнутый уровень развития технических и программных средств автоматизации производства показывают, что целесообразно поэтапное развитие ГАУ с последовательным внедрением систем. Поэтапный подход к созданию ГАУ позволяет использовать отработанные и проверенные практикой технические решения предыдущей подсистемы в качестве исходных данных для последующих.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ И ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

### 16. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ

#### 16.1. Программирование обработки на фрезерных станках с системами ЧПУ типа CNC

За базовую модель в данном случае взят фрезерный станок FQW-400, оснащенный системой ЧПУ CNC-N646. Рассмотрим грамматику языка программирования этой системы ЧПУ [12].

Текст программы для устройства ЧПУ типа CNC-N646 пишется в коде ISO-7bit. Ввод программы обработки заготовки возможен как с перфоленты (при наличии фотосчитывающего устройства), так и вручную, с панели управления. Программа хранится в памяти устройства, объем которой равен 8 К. Устройство ЧПУ работает в правой системе координат.

Начало программы определяется знаком %, после которого должен быть указан номер программы (не более пяти знаков). Буквы имеют следующие значения:

N – номер кадра. После адреса N должен следовать не более чем четырехзначный номер. При вводе программы в режиме диалога устройство нумерует кадры автоматически через 10 (N10, N20, N30 и т.д.). Это дает возможность оператору дополнить программу путем вставки кадров без ее перезаписи.

X, Y, Z – обозначение осей координат при программировании перемещений.

I, J, K – обозначение координат центра дуги при круговой интерполяции. В совокупности X, Y, Z, I, J, K представляют собой координатные команды. Они действуют в пределах кадра. После соответствующей команды ставится величина координаты в мм с учетом знака. Величину 0 и знак «+» можно не указывать. Дробная часть отделяется от целой десятичной точкой. При вводе целых значений ее можно не ставить. Минимальное программируемое значение перемещения – 0,001 мм.

#### **Пример 1**

X – величина перемещения по оси X равна нулю; X20.532 – величина перемещения по оси X равна +20,532 мм; Y-52,658 – величина перемещения по оси Y составит -52,658 мм;

F – адрес подачи, которая указывается в мм/мин и программируется целым числом в пределах 1 ... 9999 мм/мин.

#### **Пример 2**

F10 – величина подачи 10 мм/мин;

F500 – величина подачи 500 мм/мин;

T – адрес корректора, в котором занесены необходимые данные (длина и радиус) инструмента, используемого при обработке. Максимальное число корректоров – 99. Программирование номера корректора осуществляется в первом кадре программы. После адреса T ставится двух- или четырехзначное число:

а) двухзначное число (T1 ... T99);

N50T10 – вводится корректор 10 и пара величин компенсации (радиус и длина) также под номером 10;

б) четырехзначное число (T0101 ... T9924);

N50T1522 – вводится корректор 15 и пара величин компенсации под номером 22;

/ – пропуск кадра. Если перед номером кадра ставится косая черта, то в процессе выполнения программы при нажатой соответствующей клавише на пульте управления данный кадр пропускается;

G – адрес функций перемещения (см. ниже);

M – адрес дополнительных функций (см. ниже);

L – адреса стандартных подпрограмм, имеющихся в ПЗУ устройства.

LO – повторение программных секций (одного или нескольких кадров) требуемое число раз.

### **Пример**

•  
•  
•  
N90 LO P53,15 P51,40 P52,80 P50,5 LF

•  
•  
•

В результате выполнения этого кадра группа кадров с N40 по N80 из программы номер 15 повторится 5 раз. Группа повторяемых кадров может содержаться либо в выполняемой программе, либо в другой, хранящейся в памяти устройства в момент обработки. Максимальное число повторений – 99.

P – адреса параметров, которые используются при программировании с помощью параметров.

C – символ косинуса;

S – символ синуса;

R – символ квадратного корня.

### 16.1.1. G-функции условий перемещения при обработке

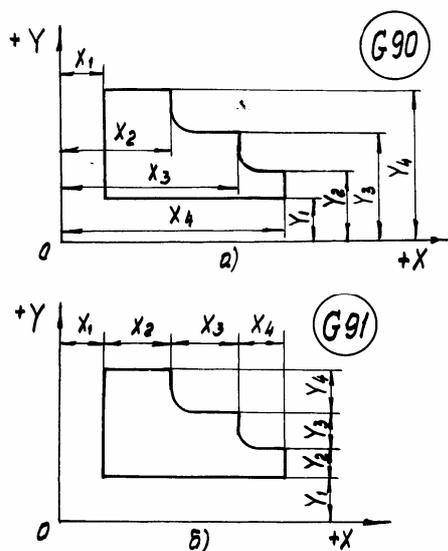


Рис. 16.1. Привязка размеров обрабатываемой детали в абсолютной (а) и относительной (б) системах координат

G90 – абсолютная система координат (рис. 16.1, а). Начало координат 0 задается одной из нулевых точек: G54, G55, G56, G57. Ввод значений координат выбранной нулевой точки производится в режиме «ВВОД ДАННЫХ».

G91 – относительная система координат или обработка в приращениях (рис. 16.1, б).

G0 – перемещение по прямой на ускоренном ходу (линейная интерполяция). Эта функция действует в пределах кадра. Значение рабочей подачи для последующих кадров сохраняется. Одновременное перемещение можно запрограммировать максимум для двух осей.

G1 – линейная интерполяция (обработка по прямой) с программируемой рабочей подачей F. Одновременное перемещение можно также запрограммировать максимум для двух осей.

G2 – круговая интерполяция (обработка по окружности) по часовой стрелке.

G3 – круговая интерполяция против часовой стрелки.

Круговая интерполяция осуществляется для любой пары осей из X, Y, Z. Для координат центра дуги, по которой происходит интерполяция, используют символы I, J, K:

I – координата центра по оси X;

J – координата центра по оси Y;

K – координата центра по оси Z.

Кадр программы для обработки по дуге из точки 1 в точку 2 (рис. 16.2) будет выглядеть следующим образом:

а) при действии G90 (абсолютная система отсчета)

N20 G3 X30 Y55 I30 J20 LF;

б) при действии G91 (относительная система отсчета)

N20 G3 X-35 Y35 I-35 J0 LF;

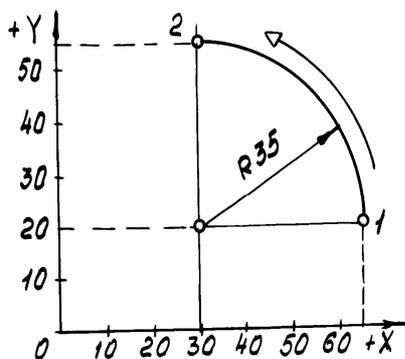


Рис. 16.2. К вопросу программирования обработки по окружности

Функции G90 или G91 обычно задаются в первом кадре программы.

Если в плоскости интерполяции отрезок контура переходит в дугу окружности по касательной, то координаты центра дуги можно не программировать. Устройство ЧПУ вычислит их самостоятельно. Радиус окружности при круговой интерполяции может находиться в пределах 0,009 ... 8000 м.

G4 – программируемое время задержки. Команда действует в пределах кадра. Величина задержки программируется под адресом в десятых долях секунды и может принимать значение 0 – 999 десятых долей секунды. Адрес I в кадре должен находиться непосредственно после G4, и его значение запоминается.

```
N50 G4 I 200 LF
```

•  
•  
•

```
100 GI G4 X ... Y ... LF
```

Здесь показано программирование задержки времени  $\approx 20$  с. Следует помнить, что если в кадре, содержащем G4, имеются еще другие команды, то сначала происходит их выполнение.

В устройстве CNC-H646 предусмотрена возможность расчета эквидистанты непосредственно в ходе выполнения программы. Это во многом облегчает работу технолога или оператора при разработке программы. В режиме работы с расчетом эквидистанты используются функции G40 ... G46.

G40 – отмена эквидистанты, т.е. расчет эквидистанты не производится. Эта функция действует после включения устройства и начала программы до отмены. Она вызывает уход с эквидистантной траектории. Используется обычно для возврата в исходную точку.

G41 – эквидистанта слева обрабатываемого контура (рис. 16.3, а);

G42 – эквидистанта справа обрабатываемого контура (рис. 16.3, б).

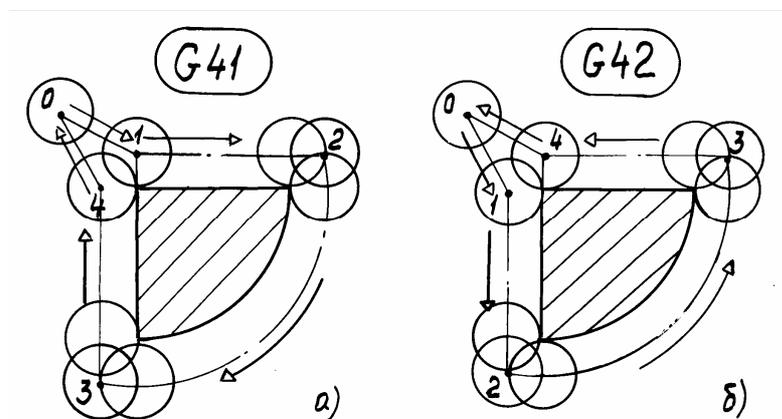


Рис. 16.3. Последовательность обработки контура детали при расположении эквидистанты слева (а) и справа (б)

Выбор G41 или G42 зависит от того, в каком направлении обрабатывается контур детали. Эти функции вызывают начало расчета эквидистанты и движение по ней.

В кадре, содержащем функции G41 или G42, должно действовать G0 или G1 и обязательно для двух осей должны быть указаны величины перемещения.

### Пример

N20 G41 G1 X20 Y LF – правильно,

N20 G41 G1 X20 LF – неправильно.

G43 – прекращение вычисления новых значений вектора компенсации, которые вытекают бы из геометрии изделия. Применение этой функции

позволяет избежать ненужных лишних перемещений (угловое или круговое дополнение). Не разрешается применение этой функции в кадрах с круговой интерполяцией.

G44 – угловое дополнение, при котором переход с одного участка эквидистанты на другой осуществляется в точке пересечения  $O_2$  (рис. 16.4, а). При этом возникает «перебег» инструмента « $l$ », величина которого увеличивается с уменьшением угла « $\alpha$ ».

G45 – круговое дополнение, при котором переход с одного участка эквидистанты на другой осуществляется по дуге окружности радиусом, равным радиусу фрезы. В этом случае величина перебега центра инструмента минимальна (рис. 16.4, б).

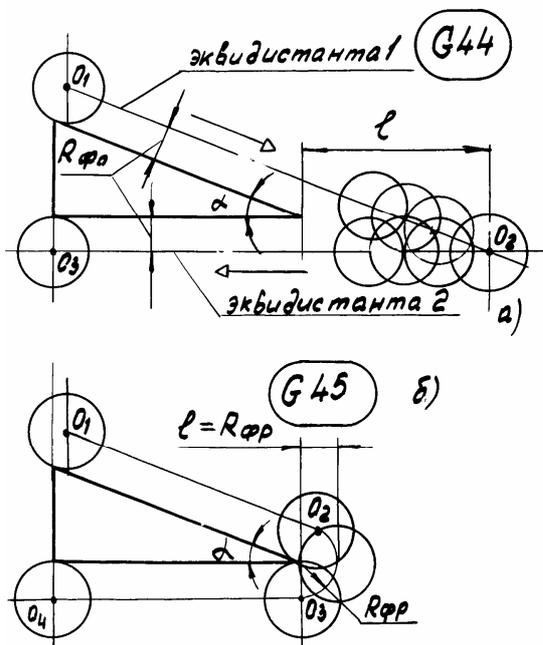


Рис. 16.4. Траектории движения инструмента при обработке с угловым (а) и круговым (б) дополнениями

### Внимание!

Круговое дополнение нельзя применять при обработке внутренних углов. После включения устройства «по умолчанию» (т.е. при отсутствии G44) действует круговое дополнение.

G46 – информационная запись для эквидистанты. Эта запись не приводит к каким-либо перемещениям на станке. Действует в пределах кадра. Ее используют в случае если между обеими, необходимыми для расчета

эквидистанты записями, стоит одна или несколько других записей (например, перемещение, перпендикулярное плоскости компенсации):

N200 G44 X1 Y1 LF (перемещение в точку X1 Y1); N210 X2 Y2 (перемещение в точку X2 Y2);

N220 G46 X3 Y3 (запоминание точки X3 Y3); N230 Z10 (перемещение по оси Z); N240 X3 Y3 (перемещение в точку X3 Y3 по эквидистанте).

Используя абсолютную систему координат, программист-технолог имеет возможность назначать любую из пяти нулевых точек:

G53 – действует только начало координат станка;

G54 – нулевая точка 1;

G55 – нулевая точка 2;

G56 – нулевая точка 3;

G57 – нулевая точка 4.

Положение нулевых точек G54 – G57 относительно начала координат станка может быть задано в режиме ручного ввода и выбирается из технологических соображений. Если программа составляется в абсолютной системе координат, то используемая нулевая точка указывается в первом кадре.

G92 – программируемое перемещение начала координат. При помощи этой команды перемещается используемая нулевая точка (G54 ... G57) на величины, запрограммированные под адресами X, Y, Z.

### **Пример**

N50 G92 X150 Y100 LF

Здесь X150, Y100 – программируемые величины смещения нулевой точки по координатным осям X, Y.

В устройстве ЧПУ предусмотрено использование еще ряда G-функций специфического назначения.

### **16.1.2. Команды M – дополнительные функции**

В пределах одного кадра допускается программирование максимум пяти M-команд.

M0 – запрограммированный останов;

M1 – запрограммированный останов по выбору (при нажатой соответствующей клавише на панели управления);

M2 – остановка шпинделя и конец программы с возвратом в ее начало;

M3 – вращение шпинделя правое;

M4 – вращение шпинделя левое;

M5 – стоп шпинделя;  
 M6 – смена инструмента;  
 M8 – подачу СОТС (смазывающе-охлаждающая технологическая среда) включить;

M9 – подачу СОТС выключить;

M22 – возврат из подпрограммы. После команды M22 в исходной программе действует G0, G90.

Символы языка (кода ISO-7bit) изображаются на восьмидорожечной перфоленте в двоично-восьмеричном коде (табл. 16.1). Причем для кодирования собственно символа используются дорожки 1 – 7, а 8-я дорожка применяется для контроля четности (число отверстий в строке должно быть четным).

Используя изложенную грамматику языка программирования, можно составлять программы обработки для деталей достаточно сложной конфигурации.

**Пример.** Разработать управляющую программу обработки детали «Прокладка» для устройства ЧПУ CNC-N646. Эскиз обрабатываемого контура детали показан на рис. 16.5.

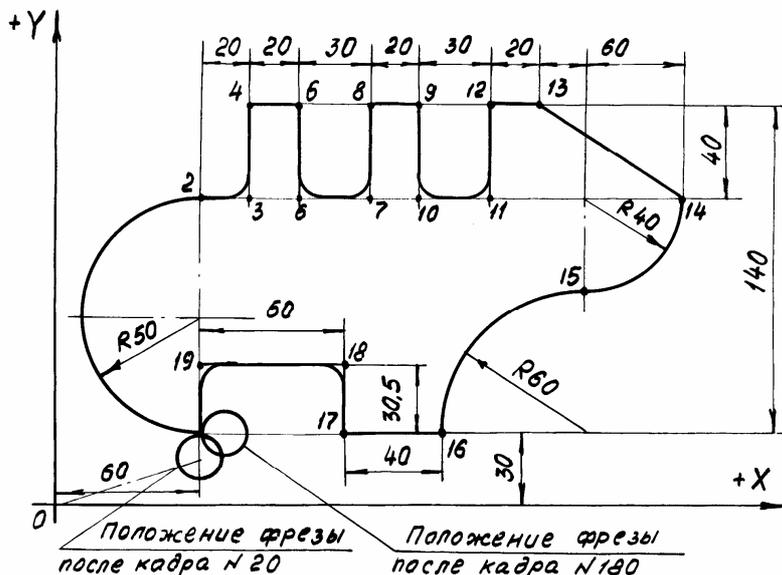


Рис. 16.5. Эскиз детали для примера разработки управляющей программы

Обработку будем вести в плоскости XOY. Учитывая, что деталь будет вырезаться по заданному контуру из листового материала, в качестве инструмента выбираем концевую фрезу диаметром 20 мм. Диаметр фрезы

выбран из условия равенства ее радиуса минимальному радиусу сопряжения участков контура детали.

Расположение исходной точки выбираем произвольно. На практике это часто связано с используемой оснасткой.

*Программа обработки с комментариями %12.*

Программа %12

%12

N10 G91 G44 G1 F500 M3 T1 M6 LF

В этом кадре указано, что обработку будем вести в приращениях (G91), используя угловое дополнение (G44); начнем с обработки по прямой (G1) с подачей 500 мм/мин (F500) при правом вращении шпинделя (M3). Данные об инструменте будут занесены при вводе в корректор T1, который и будет включен (M6).

LF – конец кадра.

N20 G41 X60 Y30 LF

При обработке эквидистанта будет слева от контура (G41). X60 Y30 – подход от исходной точки к точке контура 1.

N30 G2X Y100 I J50 LF

Круговая интерполяция по часовой стрелке (G2). Обработка участка (1-2). Точка 2 относительно точки 1 имеет координаты (XY100), а центр дуги относительно точки 1 имеет координаты (IJ50).

N40 G1 X20 Y LF – переход к линейной интерполяции (G1). Обработка участка (2-3).

N50 X Y40 LF – обработка участка (3-4).

N60 X20 Y LF – обработка участка (4-5).

N70 X Y - 40 LF – обработка участка (5-6).

N80 X30 Y LF – обработка участка (6-7).

N90 X Y40 LF – обработка участка (7-8).

N100 L0 P53,12 P51,60 P52, 90 P50, 1.

Повторить (L0) участок программы N12 (P53,12), начиная с кадра 60 (P51,60) и заканчивая кадром 90 (P52,90), 1 раз (P50,1). В результате выполнения этого повторения будет обработан участок контура (8-9-10-11-12).

N110 X20 Y LF – обработка участка (12-13).

N120 X60 Y LF – обработка участка (13-14).

N130 G3 Y-40 I-40 J LF – обработка по дуге окружности (14-15).

Таблица 16.1

Изображение символов кода ISO-7bit на восьмидорожечной перфоленте

Дорожки							Обозначение	Наименование
8	7	6	5	4	3	2		
•		•	•	•				0 Цифра 0
•		•	•	•			•	1 Цифра 1
•		•	•	•			•	2 Цифра 2
•		•	•	•			•	3 Цифра 3
•		•	•	•			•	4 Цифра 4
•		•	•	•			•	5 Цифра 5
•		•	•	•			•	6 Цифра 6
•		•	•	•			•	7 Цифра 7
•		•	•	•			•	8 Цифра 8
•		•	•	•			•	9 Цифра 9
•				•			•	A Угловой размер относительно оси X
•				•			•	B Угловой размер относительно оси Y
•				•			•	C Угловой размер относительно оси Z
•				•			•	D Угловой размер относительно специальной оси, или третья подача
•				•			•	E Угловой размер относительно специальной оси, или вторая подача
•				•			•	F Подача
•				•			•	G Подготовительная операция (режим работы ЧПУ)
•				•			•	H Команда постоянно не закреплена (резерв)
•				•			•	I Не закреплена
•				•			•	J Не закреплена
•				•			•	K Не закреплена
•				•			•	L Команда постоянно не закреплена (резерв)
•				•			•	M Вспомогательная операция
•				•			•	N Порядковый номер
•				•			•	O Не используется
•				•			•	P Размер третичного движения, параллельного оси X
•				•			•	Q Размер третичного движения, параллельного оси Y
•				•			•	R Размер быстрого перемещения по оси Z или размер третичного движения, параллельного оси Z
•				•			•	S Частота вращения шпинделя
•				•			•	T Смена инструмента (его номер)
•				•			•	U Размер вторичного движения, параллельного оси X
•				•			•	V Размер вторичного движения, параллельного оси Y
•				•			•	W Размер вторичного движения, параллельного оси Z
•				•			•	X Размер первичного движения по оси X
•				•			•	Y Размер первичного движения по оси Y
•				•			•	Z Размер первичного движения по оси Z
•				•			•	• Установка исходную точку (восстановление информации, например, остановка обратной перематки до заданного положения на ленте)
•				•			•	+ Плюс
•				•			•	- Минус
•				•			•	± Табуляция (горизонтальная вдоль строки GT)
•				•			•	/ Произвольный пропуск блока, фразы
•				•			•	% Начало программы
•				•			•	LF Конец блока, фразы или кадра (перевод строки ПС)
•				•			•	( Не для управления
•				•			•	) Для управления
•				•			•	Del Строка не читается (забой ЗБ)

N140 G3 X-60 Y-60 LF – обработка по дуге окружности (15-16).  
Здесь не задаются координаты центра дуги, так как она сопрягается с предыдущим участком по касательной.

N150 G1 X-40 Y LF – переход к линейной интерполяции (G1) и обработка участка (16-17).

N160 X Y30.5 LF

N170 X-60 Y LF

N180 X Y-30.5 LF

Выполнение кадров 160-180 приводит к обработке участков (17-18-19-1).

N190 X Y-10 LF

Отвод по оси Y на (-10) мм здесь необходим для того, чтобы при уходе с эквидистанты во время возврата в исходную точку в следующем кадре не испортить обработанный контур (см. рис. 16.5).

N200 G40 X-60 Y-20 M2 LF

Уход с эквидистанты (G40) и возврат в исходную точку.

После выполнения кадра инструмент (его ось) находится в исходной точке O. Команда M2 останавливает шпиндель и завершает программу. Устройство готово к обработке по команде «СТАРТ» следующей детали по этой же программе.

**Задание 16.1.** Разработать управляющую программу для обработки контура прокладок по эскизам А, В, С, Д. Припуск на обработку – 3 мм по всему контуру. Эскиз и размеры элементов контура детали задаются преподавателем по рис. 16.6 и табл. 16.2. Толщина заготовки – 5 мм.

**Методические указания:**

1. Обработка ведется в системе координат XOY.
2. Радиус концевой фрезы выбирается равным r, что определяет положение исходной точки (начало и конец обработки – (.) 0 на рис. 16.5).
3. Обработка проводится в относительной системе координат (G91) с постоянной подачей (50 мм/мин).
4. Частота оборотов шпинделя на данном станке устанавливается оператором.

Таблица 16.2

Варианты размеров (мм) элементов прокладок для задачи 16.1

Вариант для прокладки А										
Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>L</i>	110	115	125	110	100	110	115	105	110	145
<i>h</i>	35	40	45	35	30	45	50	35	40	60
<i>r</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>R</i>	65	80	85	80	85	80	95	80	95	100
<i>a</i>	45	50	65	60	55	60	65	55	65	80
<i>b</i>	10	15	10	10	15	10	15	10	15	10
<i>c</i>	40	45	50	35	40	35	55	50	40	70
<i>d</i>	40	45	50	45	35	40	40	45	40	60
<i>e</i>	40	50	55	45	45	40	50	45	50	50
<i>f</i>	50	40	60	45	30	45	40	35	40	50

Вариант для прокладки В										
Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>L</i>	130	140	135	120	125	115	135	110	132	122
<i>h</i>	75	70	90	80	85	75	80	75	80	80
<i>R</i>	40	45	50	55	60	48	52	42	45	52
<i>r</i>	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
<i>a</i>	50	70	55	40	50	45	40	55	60	42
<i>b</i>	25	20	30	20	15	20	15	23	30	20
<i>c</i>	40	40	45	30	35	43	40	35	40	32
<i>d</i>	40	45	70	35	60	40	50	40	50	40
<i>e</i>	30	40	30	45	50	30	45	35	40	42
<i>f</i>	70	65	60	50	60	55	60	60	70	55
Вариант для прокладки С										
Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>L</i>	133	142	137	125	128	117	138	110	125	105
<i>h</i>	70	85	75	80	60	78	70	65	95	105
<i>R</i>	45	50	40	55	40	50	48	35	42	48
<i>r</i>	15	15	15	15	10	15	15	15	10	10
<i>a</i>	50	60	65	50	70	35	53	60	75	65
<i>b</i>	25	40	30	25	28	30	27	25	35	20
<i>c</i>	35	40	40	40	20	30	32	30	80	75
<i>d</i>	70	75	80	50	60	50	68	80	25	30
<i>e</i>	20	25	23	15	15	10	12	20	50	45
<i>f</i>	40	45	40	60	50	45	55	10	40	45
Вариант для прокладки D										
Элемент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
<i>L</i>	120	115	125	110	130	125	120	120	125	105
<i>h</i>	75	80	85	70	85	80	95	100	95	105
<i>R</i>	35	40	45	30	50	40	40	45	42	48
<i>r</i>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<i>a</i>	60	55	65	50	80	70	60	60	75	65
<i>b</i>	40	30	40	45	35	40	30	25	35	20
<i>c</i>	40	50	40	40	40	70	80	80	80	75
<i>d</i>	25	25	30	25	20	30	35	30	25	30
<i>e</i>	30	40	45	40	35	40	35	40	50	45
<i>f</i>	55	60	65	60	60	50	55	55	40	45

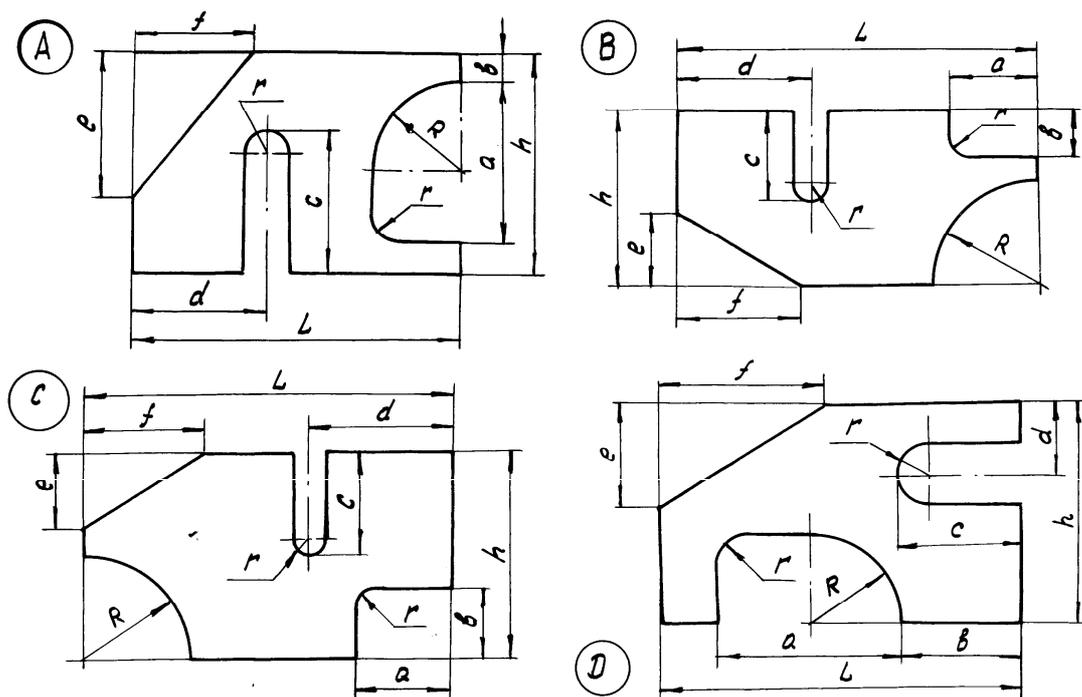


Рис. 16.6. Эскизы контуров прокладок к задаче 16.1

## 16.2. Параметрическое программирование систем ЧПУ

Применение параметрического программирования позволяет наиболее полно использовать возможности мини- или микроЭВМ, встроенной в устройство ЧПУ. При этом ими выполняются расчеты опорных точек профиля и значений технологических параметров непосредственно в ходе обработки по заданным исходным данным. Такие системы ЧПУ являются наиболее совершенными и имеют некоторую специфику в зависимости от типа управляемого ими станка.

Рассмотрим процедуру параметрического программирования для системы CNC-N646 фрезерного станка модели FQW-400.

Для параметрического программирования в устройстве ЧПУ предусмотрено 84 параметра (P0 – P83). Необходимо иметь в виду, что значения параметров P50, P51, P52 всегда стираются при запуске программы.

Параметрам могут присваиваться значения чисел, действительные значения координат обработки X, Y, Z в миллиметрах, а также их инвертированные значения. Параметрам можно присваивать значения других параметров и их инвертированные значения.

Присваивание значений параметрам осуществляется через запятую, стоящую после числа, обозначающего номер параметра.

**Примеры** (слева от знака « $\Rightarrow$ » – выражение на языке CNC H-646, а справа – соответствующее математическое выражение):

$$P1, 100 \Rightarrow P1=100; P12, 151.253 \Rightarrow P12=151,253;$$

$$P12, X \Rightarrow P12=X; P49, Y \Rightarrow P49=Y; P12, -X \Rightarrow P12=-X;$$

$$P5, P1 \Rightarrow P5=P1; P49, P15 \Rightarrow P49=P15.$$

Кроме указанных выше присвоений параметрам, возможно и вычисление их значений. Они могут быть во всех программных записях. В этом случае в качестве операндов разрешаются:

- параметры от P0 до P83;
- любые отрицательные и положительные максимально 8-значные числа с произвольным положением десятичной точки;
- координаты перемещений X, Y, Z.

Операторные команды делятся на операторные команды первого и второго рода. К операторным командам первого рода, которые стоят перед операндом и воздействуют на него, относятся:

- «\*» – возведение в квадрат;
- «S» – синус;
- «C» – косинус;
- «R» – извлечение квадратного корня;
- «-» – отрицание;
- «,» – радианная мера углов.

**Примеры** применения операторов первого порядка:

$$P2, C90 \Rightarrow P2 = \cos 90^\circ = 0;$$

$$P1, RX \Rightarrow P1 = \sqrt{X};$$

$$P6, *-5 \Rightarrow P6 = (-5)^2 = 25;$$

$$P1, C3.1415 \Rightarrow P1 = \cos 180^\circ = -1;$$

$$P3, R2 - - P2 \Rightarrow P3 = \sqrt{2} - (-P2) = \sqrt{2} + P2.$$

Перед одним операндом разрешается программирование максимум двух операторов первого порядка. При этом вычисления начинаются с ближайшего стоящего к операнду оператора:

$$P1, * S P2 \Rightarrow P1 = (\sin P2)^2;$$

$$P1, S * P2 \Rightarrow P1 = \sin (P2)^2;$$

$$P1, RRP2 \Rightarrow P1 = \sqrt{\sqrt{P2}} = \sqrt[4]{P2}.$$

К операторным командам второго порядка относятся следующие:

- «+» – сложение;
- «-» – вычитание;
- «\*» – умножение;
- «:» – деление.

Эти команды связывают два операнда и вычисляются в порядке их очередности:

$$P1, P2 + P3 \Rightarrow P1 = P2 + P3;$$

$$P1, P2 + P3 * P4 \Rightarrow P1 = (P2 + P3) P4;$$

$$P1, P2 + P3 ** -5 \Rightarrow P1 = (P2 + P3) (-5)^2.$$

Изменение порядка вычислений осуществляется при помощи квадратных скобок. Применение двойных и более квадратных скобок не допускается:

$$P1, P2 + [P3*P4] \Rightarrow P1 = P2 + (P3 \cdot P4);$$

$$P1, P3*P4 + P2 \Rightarrow P1 = (P3 \cdot P4) + P2$$

(т.е. рациональная расстановка операндов может исключить необходимость применения квадратных скобок).

$$P1, [P2*-5] - *[P6 : P7] \Rightarrow P1 = (P2 \cdot (-5)^2) - (P6/P7)^2.$$

Операнд после операторных команд S (синус) и C (косинус) берется в градусной мере. Запятая программируется перед S и C как операторная команда. В этом случае после запятой до конца уравнения действует радианная мера угла:

$$P1, *SP2 + *CP3 \Rightarrow P1 = \sin^2 P2 + \cos^2 P3;$$

$$P1, S90 + , C3.1416 \Rightarrow P1 = \sin 90^\circ + \cos \pi = 0;$$

$$P1, , C3.1416 + C3.1416 \Rightarrow P1 = \cos \pi + \cos \pi = -2.$$

При использовании параметров P50 ... P52 следует иметь в виду:

1. Для P50 диапазон значений от 0 до 99 – целые числа.
2. Для P51 и P52 диапазоны значений от 0 до 9999 также в целых числах.

Таким образом, если этим параметрам присваиваются дробные значения, то при дальнейшем использовании они округляются:

$$P1, 15.2; P52, P1 \Rightarrow P52 = 15;$$

$$P2, 16.73; P51, P2 \Rightarrow P51 = 17.$$

Присваивание параметров к адресам обработки осуществляется через знак равенства «=» (X=P1; G=P31; F=P43 и т.д.). Нельзя присваивать значение параметров к следующим адресам: N, %, ,

При присваивании параметра к адресу обработки ему приписывается допустимая размерность соответствующего адреса:

- G, M, L, T – безразмерные команды;
- F – [мм/мин];
- X, Y, Z, I, J, K – [мм];
- I (время задержки) – десятые доли секунды.

Адресам обработки можно присваивать инвертированные значения параметров. Пример (рис. 16.7) фрагмента программы:

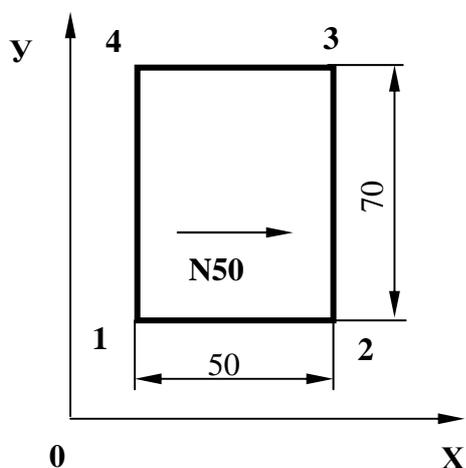


Рис. 16.7. Исходные данные к программе %22

% 22

- 
- N 40 P10,50 P20,70 LF
- N 50 G91 G1 X=P10 LF (1-2)
- N 60 Y=P20 LF (2-3)
- N 70 X=-P10 LF (3-4)
- N 80 =-P20 LF (4-1)
- 

**Примечание.** Символ конца кадра «LF» применяется при перфорации программы. При покадровом вводе с пульта данный символ не вводится, поэтому в дальнейших

*примерах он отсутствует.*

При параметрическом программировании имеется возможность осуществления как условных, так и безусловных переходов в программе. При выполнении условных переходов вычисляется значение какого-либо параметра, например, P5, и проверяется выполнение одного из условий: (P5>0), (P5<0), (P5=0).

После вычисления счетчика (P5) фрагменты записи в кадре с условным переходом выглядят следующим образом:

- 
- N 160 ... P5 + N130 ... – если P5>0, переход к кадру N130;
- 
- N 180 ... P6 - N50 ... – если P6<0, переход к кадру N50;
- 
- N 190 ... P7 = N200 ... – если P7=0, переход к кадру N200.
- 

Необходимо иметь в виду, что при выполнении условия перехода на этом месте прерывается обработка кадра и осуществляется условный переход. Последующие адреса этого кадра реализуются при невыполнении условия перехода. Таким образом, в одном кадре можно запрограммировать несколько условных переходов.

**Пример** сверления отверстий одного диаметра, но различной глубины (рис. 16.8).

o – отверстие с глубиной сверления 25 мм,

⊙ – отверстие с глубиной сверления 50 мм,

P1 – глубина сверления 25 мм,

P2 – глубина сверления 50 мм,

P3 – шаг между осями отверстий с глубиной сверления 50 мм (каждое третье в столбце),

P4 – число столбцов,

P5 – число отверстий в столбце; P10 – расстояние между осями отверстий в столбце; P20 – расстояние между столбцами.

% 10

- 
- 
- 

N110 G1 G90 X50 Y50 P1, -  
25 P2, -50 P4,4 P10,  
25 P20, 50

N120 P5, 8 F50 M3 G91 P3,3

N130 P6, P1 P3, P3-1 P3+

N140 P6, P2 P3,3

N140 G1Z=P6

N150 Z=-P6

N160 Y=P10 P5, P5-1 P5+

N130 P10, -P10YX=P20 P4,  
P4-1 P4+120 X M2

- 
- 
- 

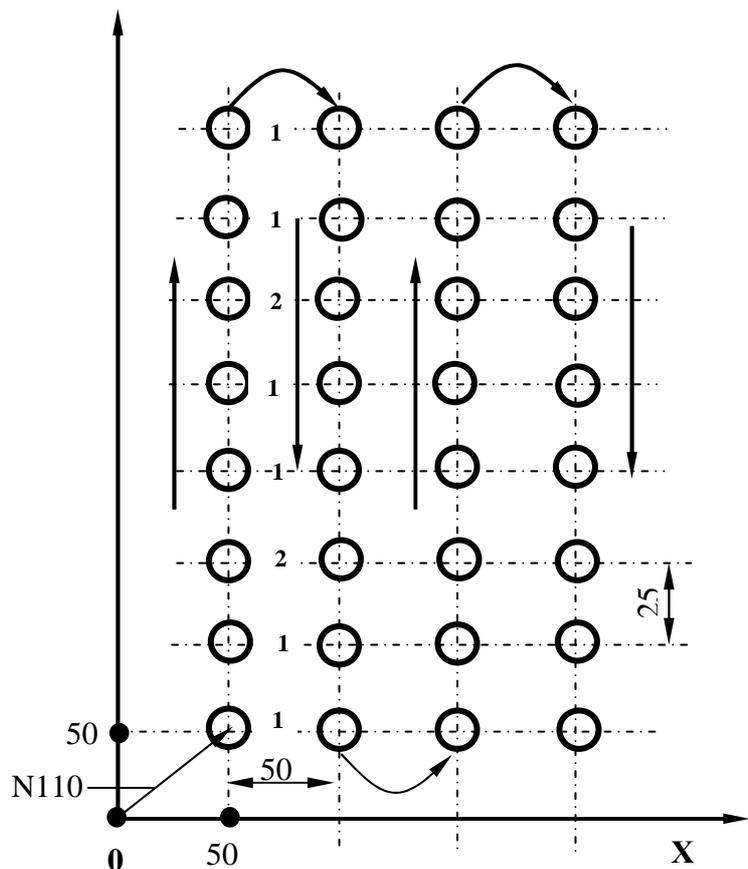


Рис. 16.8. Последовательность обработки отверстий

В этой программе первый условный переход в кадре N130 и два условных перехода в кадре N160.

Безусловные переходы программируются в конце кадра путем простановки номера кадра программы, с которого желательна дальнейшая обработка:

% 15

- 
- 
- 

N 30 X 100 Y 100 N80

- 
- 
- 

N 80 ...

- 
- 
- 

**Задание 16.2.** Разработать управляющую программу для обработки фрагмента контура детали по заданному эскизу (рис. 16.9) для системы ЧПУ CNC-N646. Обработка в абсолютной системе отсчета (G90), исходная точка инструмента – начало координат. В программе учесть автоматический расчет эквидистанты (G41 или G42).

**Методические указания:**

1. Все исходные данные, указанные на эскизах в виде буквенных обозначений, присвоить выбранным параметрам (P1, a; P2, b; ...).
2. Пронумеровать опорные точки профиля по или против часовой стрелки в соответствии с выбранным маршрутом обработки и присвоить их координаты  $X_i$  и  $Y_i$  другой группе параметров (P10, X1; P11, Y1; ...).
3. Рассчитать координаты опорных точек  $X_i$  и  $Y_i$  как функции исходных данных методами элементарной геометрии, получив в общем виде соответствующие формулы.
4. При составлении программы после ввода исходных данных запрограммировать процесс обработки.

Решение данной задачи весьма наглядно иллюстрирует преимущества параметрического программирования для групповой обработки деталей, так как для множества однотипных деталей программа обработки остается единой, а числовые значения исходных данных (размеров) обрабатываемой детали вводятся оператором непосредственно с пульта УЧПУ путем присвоения их соответствующим параметрам.

Используя метод параметрического программирования, можно составлять программы обработки профилей деталей, которые имеют сложное аналитическое описание. В этом случае устройство ЧПУ типа CNC в про-

цессе обработки осуществляет расчет точек профиля для дальнейшей линейной интерполяции.

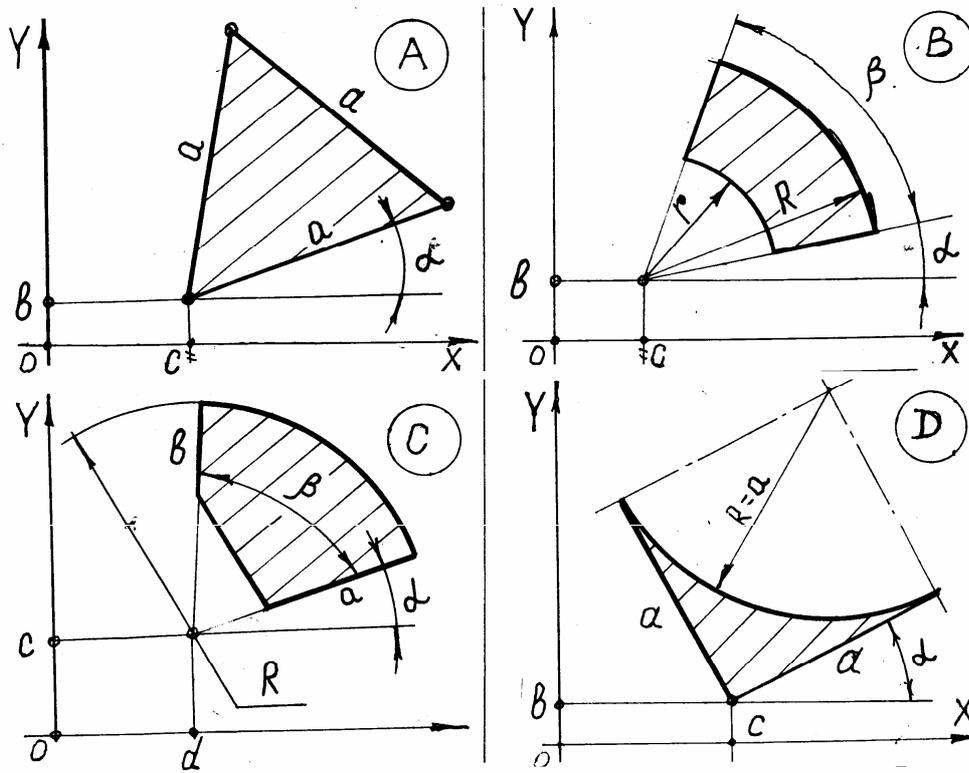


Рис. 16.9. Эскизы контуров обработки к заданию 16.2

**Пример.** Составить управляющую программу обработки сложного паза концевой фрезой, движение центра которой происходит по траектории, описываемой уравнением

$$\rho = a \cos(2\varphi) \quad (16.1)$$

(четырёхлепестковая роза, рис. 16.10). Исходное положение инструмента в  $(\cdot) O$ , исходная точка начала обработки –  $(\cdot) A$ . Параметр  $a=80$  мм. Линейную интерполяцию кривой осуществлять при приращении угла  $\Delta\varphi=2^\circ$ .

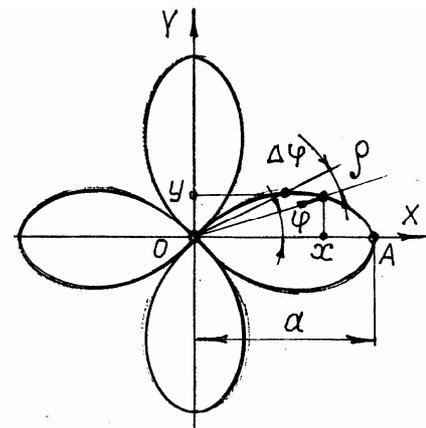


Рис. 16.10. Четырёхлепестковая роза

**Решение.** Исходным для решения служит уравнение (16.1), которое описывает траекторию движения центра фрезы в полярных координатах. Так как станок работает в декартовой сис-

теме координат, необходим переход от полярных координат к декартовым, который осуществляется по уравнениям (16.2) и (16.3):

$$X = \rho \cos \varphi, \quad (16.2)$$

$$Y = \rho \sin \varphi. \quad (16.3)$$

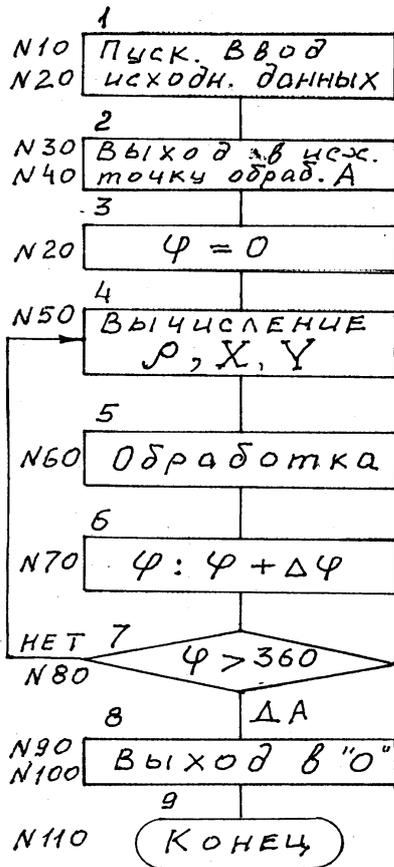


Рис. 16.11. Блок-схема программы обработки сложного паза

Далее выбираем параметры для исходных данных и результатов проводимых расчетов по уравнениям (16.1...16.3):

$P1 \rightarrow a$ ;  $P2 \rightarrow \varphi$ ;  $P5 \rightarrow \rho$ ;  $P7 \rightarrow \Delta\varphi$ ;  $P3 \rightarrow X$ ;  $P4 \rightarrow Y$ .

Номера выбранных параметров не имеют никакого значения.

Программа, соответствующая блок-схеме (рис. 16.11), имеет вид:

```

%5
N10 G90 G56 G1 F50M3
N20 P1,80 P2,0 P7,2
N30 X=P1 Y
N40 Z=10
N50 P5, P1*C[2*P2] P3, P5 * CP2
P4, P5 * SP2
N60 X=P3 Y=P4
N70 P2, P2+P7
N80 P6, 360+P7-P2 P6+N50
N90 Z0
N100 X0 Y0
N110 M2
    
```

На блок-схеме слева от блоков указаны номера соответствующих им кадров программы. В кадре N80 параметр P6 определяет условие перехода. Параметр P7 прибавляется к нему для того, чтобы была обработана последняя хорда линейной аппроксимации траектории. Так как если  $P2=360$ , то  $P6=360-360=0$ , и условие «P6+» уже не выполняется. При этом осуществляется переход к кадру N80 без обработки последней хорды. Кадры N70 и N80, а также N100 и N110 можно объединить.

Этот пример наглядно демонстрирует, что характер работы оборудования, оснащенного системой ЧПУ типа CNC, соответствует характеру работы ЭВМ с графопостроителем, в качестве которого выступает станок.

**Задание 16.3.** Составить управляющую программу обработки сложного паза концевой фрезой, движение центра которой происходит по траектории, описываемой уравнением в соответствии с заданием (табл. 16.3). Подачу принять 50 мм/мин.

Таблица 16.3

Уравнения для описания различных кривых

Вариант	Кривая	Уравнение
1	Спираль Архимеда	$\rho = a\varphi$ ; $a=15; 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \Delta\varphi = 0,02\pi$
2	Кардиоида	$\rho = a(1 + \cos\varphi)$ ; $a=50; 0 \leq \varphi \leq 360^\circ; \Delta\varphi = 3^\circ$
3	Улитка Паскаля	$\rho = a\cos\varphi + l$ ; $a=20; l=50; 0 \leq \varphi \leq 2\pi; \Delta\varphi = 0,02\pi$
4	Эпициклоида	$\begin{cases} X = (a + b)\cos\varphi - \lambda a \cos((a + b)\varphi/a) \\ Y = (a + b)\sin\varphi - \lambda a \sin((a + b)\varphi/a) \end{cases}$ $a=20; b=60; \lambda=1; 0 \leq \varphi \leq 360^\circ; \Delta\varphi = 5^\circ$
5	Гипоциклоида	$\begin{cases} X = (b - a)\cos\varphi + \lambda a \cos((b - a)\varphi/a) \\ Y = (b - a)\sin\varphi - \lambda a \sin((b - a)\varphi/a) \end{cases}$ $a=20; b=80; \lambda=1; 0 \leq \varphi \leq 360^\circ; \Delta\varphi = 5^\circ$

### Методические указания

1. Обработка программируется в абсолютной системе координат (G90), нулевая точка которой совпадает с началом координат для заданной кривой.

2. В справочнике по математике найти описание кривой и выполнить ее эскиз.

3. Блок-схема и структура программы данной задачи полностью соответствуют рассмотренному выше примеру.

**Задание 16.4.** Составить программу сверления «n» отверстий ( $3 \leq n \leq 10$ ) глубиной 10 мм, равномерно расположенных на окружности радиуса  $R$  ( $50 \text{ мм} \leq R \leq 150 \text{ мм}$ ). Радиус-вектор центра первого отверстия составляет с осью OX угол  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq 40^\circ$ ). Подача сверления – 10 мм/мин.

### 16.3. Разработка управляющих программ для сверлильных станков с ЧПУ

Технологическая часть подготовки управляющей программы (УП) для сверлильных станков с ЧПУ и многооперационных станков начинается с изучения данных чертежа детали и технологического процесса ее изготовления. Из-за отсутствия устройств для направления инструмента в ряде

случаев для рассматриваемых станков целесообразно применять центрование отверстий перед сверлением, что повышает точность обработки. При выборе базы для выполнения размеров в двухкоординатной системе необходимо соблюдать принцип единства баз. В качестве такой базы используют оси «плавающего» нуля, который, как правило, является исходной точкой для начала обработки по программе. «Плавающий» нуль означает, что рассматриваемая точка может быть помещена при настройке станка в любой точке стола. При выборе базы по оси  $Z$  следует помнить, что автоматическая смена инструмента, обеспечиваемая поворотом револьверной головки или автооператором из магазина, происходит в верхнем исходном положении.

Среди сверлильных станков с ЧПУ наибольшее распространение получили станки 2P118Ф2 и 2P135Ф2, оснащенные крестовым столом и шестипозиционной револьверной головкой. Они предназначены для сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания и нарезания резьбы в различных типах деталей. Станки оснащены системами позиционного управления с устройством ЧПУ типа «Координата С70-3». При разработке программ для сверлильных станков с ЧПУ выполняют следующие виды работ: разрабатывают технологический процесс и выбирают режущий инструмент; рассчитывают режимы резания и корректируют их по паспортным данным станка; составляют схему предельного положения режущих инструментов с указанием их длины, определяемой расстоянием от торца шпинделя до нижнего торца инструмента; выбирают приспособления, обеспечивающие закрепление заготовки и ее ориентацию относительно координат стола станка; разрабатывают технологические эскизы и определяют координаты осей обрабатываемых отверстий от единой базы («плавающего» нуля); составляют схему последовательности работы и перемещения инструментов; составляют УП.

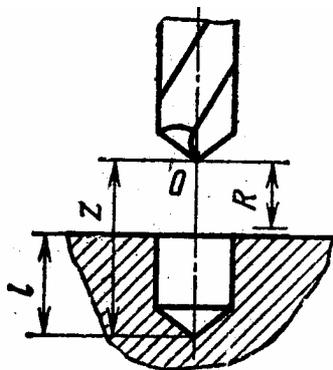


Рис. 16.12. Сверление отверстия в заготовке на станке с ЧПУ

УП для рассматриваемых станков состоит из слов, содержащих информацию об одной из программируемых функций.

Слова, несущие цифровую информацию о перемещениях вдоль осей  $X$  и  $R$  – перемещении вдоль оси  $Z$  до точки  $R$  – у поверхности детали (рис. 16.12), записывают следующим образом:

- признак адреса ( $X$  или  $R$ );
- знак координаты (+ или -);
- значения перемещений вдоль осей  $X$  и  $R$ , переведенные в сотые доли миллиметра и допол-

ненные до шести цифр путем приписки нулей слева. Максимальная величина перемещения вдоль оси X, допускаемая устройством, – 1999,99 мм, а по R – 0999,99 мм.

### Пример

Обычная запись	Запись в виде слова управляющей программы
X= + 137,975 мм	X+013797
R= – 53,56 мм	R-005356

Слова, несущие цифровую информацию о перемещениях вдоль осей Y и Z, записывают аналогично, только значения перемещения вдоль этих осей, переведенные в сотые доли миллиметра, дополняются до пяти цифр путем приписки нулей слева. Максимальная величина перемещений равна 999,99 мм.

### Пример

Y=-65,36 мм	Y-06536;
Z=-+4,837 мм	Z+00484.

Слова, несущие информацию о коррекции инструмента, содержат признак адреса L и комбинации из двух цифр от 01 до 09. Величину коррекции устанавливают декадными переключателями на пульте устройства ЧПУ станка. Эта команда необходима для корректирования вылета инструмента в период настройки станка.

Слова, определяющие выбор частоты вращения шпинделя и подачи, включают адреса S и F, их кодируют двузначным числом (методом геометрической прогрессии). Согласно паспортным данным, для станка 2P135Ф2 коды соответствуют следующим значениям частоты вращения «n» шпинделя:

Код	SO1	SO2	SO3	SO4	SO5	SO6
n, мин <sup>-1</sup>	31,5	45	63	90	125	180
Код	SO7	SO8	SO9	S10	S11	S12
n, мин <sup>-1</sup>	250	355	500	710	1000	1400

и величинам подач S:

Код	FO1	FO2	FO3	FO4	FO5
S, мм/мин	10	12,5	16	20	25
Код	F10	F11	F12	F13	F14
S, мм/мин	80	100	125	160	200

Слова, несущие информацию о вспомогательных функциях M, кодируются по общим правилам. Из подготовительных команд в сверлильных станках с ЧПУ применяют две группы функций:

- общего назначения (G60 и G62);
- постоянных циклов (G81 – G96).

Функция G62 (грубое позиционирование) используется:

- для организации постоянного управления по оси Z. В данном случае она программируется с координатами R и Z. Цикл осуществляется следующим образом: быстрый подвод инструмента к координате Z и остановка;

- для программирования быстрого перемещения инструмента вдоль оси Z до координаты R. В данном случае G62 программируется только с координатой R;

- для программирования рабочего движения (фрезерования) вдоль осей X и Y.

Функция G60 (точное позиционирование) используется:

- для отмены функции G62;
- для программирования рабочего движения (фрезерования) вдоль осей X и Y.

Функции постоянных циклов (табл. 16.4), кроме G80, программируются с координатами R и Z и предусмотрены для функционирования только по оси Z.

Таблица 16.4

Функции постоянных циклов

Код функции	Функция постоянных циклов	Работа станка
1	2	3
80	Отмена постоянных циклов	Отмена функции G81, G82, G84, G86, G91, G92, G94, G96
81	Сверление	Быстрый подвод инструмента к R, рабочая подача к Z (обработка заготовки) и быстрый отвод инструмента к R
82	Подрезание торца	Быстрый подвод инструмента к R, рабочая подача к Z, останов после обработки на координате Z и быстрый отвод к R
84	Резьбонарезание	Быстрый подвод инструмента к R, рабочая подача к Z, реверс и отвод инструмента на рабочей подаче к R
86	Растачивание	Быстрый подвод инструмента к R, подача к Z, останов вращения шпинделя и быстрый отвод к R

91	Сверление	Быстрый подвод инструмента к R, подача к Z, быстрый отвод к плоскости пересечения осей «плавающего» нуля, т.е. к Z=0
92	Подрезание торца	Быстрый подвод инструмента к R, подача к Z, останов, быстрый отвод к Z=0
94	Резьбонарезание	Быстрый подвод инструмента к R, подача к Z, реверс шпинделя к R, быстрый отвод к Z=0
96	Растачивание	Быстрый подвод инструмента к R, подача к Z, останов шпинделя, быстрый отвод к Z=0

Все рассмотренные слова могут записываться в виде кадров, содержащих информацию для выполнения части операции обработки заготовки, а также для перемещения рабочего органа из одной точки в другую при позиционировании. Для сокращения времени цикла работы по оси Z смену позиции револьверной головки рекомендуется совмещать с позиционированием по осям X и Y.

**Задание 16.5.** Разработать УП обработки двух отверстий в детали типа "плита" (рис. 16.13) на сверлильном станке с ЧПУ.

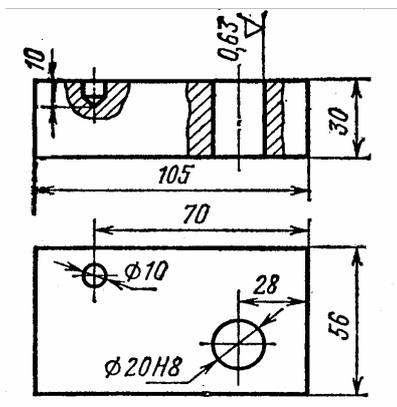


Рис. 16.13 Эскиз плиты  
(к заданию 16.5)

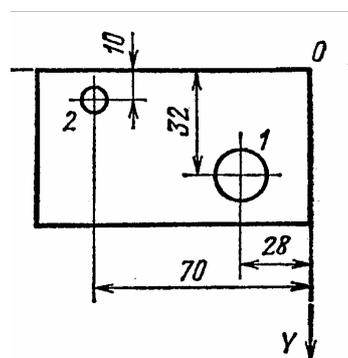


Рис. 16.14.Расчетно-технологическая карта  
(к заданию 16.5)

**Решение.** Исходя из размеров заготовки, выбирают сверлильный станок с ЧПУ 2P135Ф2, оснащенный револьверной головкой.

В соответствии с ранее рассмотренной последовательностью выполняемых работ составляются расчетно-технологическая (рис. 16.14) и технологическая (табл. 16.5) карты обработки детали типа плита. Эти документы содержат всю необходимую информацию для задания последовательности обработки отверстий, назначения инструментов, режимов реза-

ния и выбора по ним кодов частоты вращения шпинделя, скорости подачи и коррекции. Положение детали относительно плавающего нуля по осям X и Y определено в РТК, а по оси Z принимается равным 100 мм. УП в этом случае может быть представлена в следующем виде:

N001 T01 S10 F14 L01 X+000000 Y+000000 ПС  
 N002 X+002800 Y+03200 ПС  
 N003 G91 R+010000 Z+10600 ПС  
 N004 T02 S08 F14 L02 X+002800 Y+03200 ПС  
 N005 G91 R+010000 Z+13500 ПС  
 N006 T03 S06 F14 L03 X+002800 Y+03200 ПС  
 N007 G91 R+010000 Z+13500 ПС  
 N008 T04 S03 F05 L04 X+002800 Y+03200 ПС  
 N009 G91 R+010000 Z+13500 ПС  
 N010 T05 S08 F10 L05 X+002800 Y+03200 ПС  
 N011 X+007000 Y+01000 ПС  
 N012 G91 R+010000 Z+01000 ПС  
 N013 X+000000 Y+000000 ПС

Таблица 16.5

Технологическая карта обработки детали типа плита  
на станке 2P135Ф2

Диаметр отверстия, мм	Последовательность переходов	Режущий инструмент и его диаметр, мм	Длина рабочего хода, мм	Позиция инструмента	Код частоты вращения шпинделя	Код скорости подачи	Коррекция
20H8	Центрование	Центровочное сверло, 20	6	01	S10	F14	L01
	Сверление	Сверло, 18,7	35	02	S08	F10	L02
	Зенкерование	Зенкер, 19,8	35	03	S06	F12	L03
	Развертывание	Развертка, 20H8	35	04	S03	F05	L04
10	Сверление	Сверло, 10	10	05	S08	F10	L05

**Задание 16.6.** Разработать УП обработки отверстий в заготовке из стали 45 (рис. 16.15) на сверлильном станке с ЧПУ.

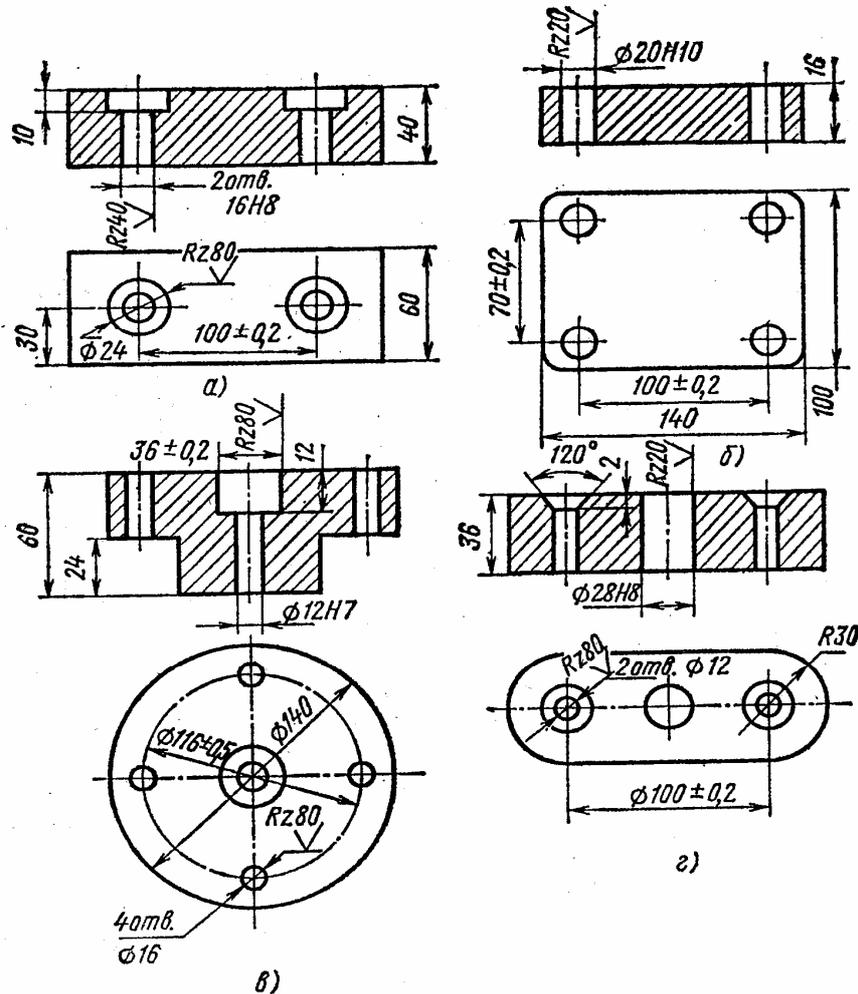


Рис. 16.15. Эскизы деталей (к заданию 16.6)

#### 16.4. Подготовка управляющих программ для токарных станков с ЧПУ

При обработке на токарных станках с ЧПУ используют две основные схемы установки заготовки: в центрах – для деталей типа валов; в патронах – для деталей типа втулок и дисков.

В рабочем пространстве станка расположены две координатные оси: продольная Z совпадает с осью шпинделя и проходит от патрона к инструменту; поперечная (горизонтальная X) направлена от детали вправо, если смотреть вдоль оси шпинделя от патрона к инструменту, и лежит в плоскости опорных точек торцов кулачков патрона.

Разработка управляющей программы начинается с составления операционной карты, в которой задается последовательность обработки заготовки по переходам на принятом оборудовании, выбирается режущий инструмент и назначаются режимы резания. Более детальные представления последовательности обработки для каждого перехода показываются на карте эскизов, где изображаются все обрабатываемые поверхности, дается привязка инструмента или оси резцедержателя к началу координат станка и показывается траектория движения режущих кромок инструментов.

Современные типы токарных станков с ЧПУ оснащаются контурными системами управления, наиболее совершенными из которых являются системы типа CNC с встроенными в них ЭВМ. К таким станкам можно отнести токарный станок модели 16К20Ф3 с устройством ЧПУ со стойкой 2Р22, которое обеспечивает ввод, редактирование, автоматическую обработку по УП, ручное управление станком с пульта устройства.

В процессе подготовки управляющих программ обработки заготовки на станках с ЧПУ согласуются системы координат станка (точка А), детали (точка В) и инструмента (точка ИТ) (рис. 16.16). Рассматриваемая система ЧПУ позволяет оперативно переходить от нулевой точки станка к нулевой точке заготовки, обеспечивая привязку к ней исходной точки (ИТ) инструмента.

В последующих примерах для простоты будут указываться только координаты ИТ положения инструмента относительно системы координат детали.

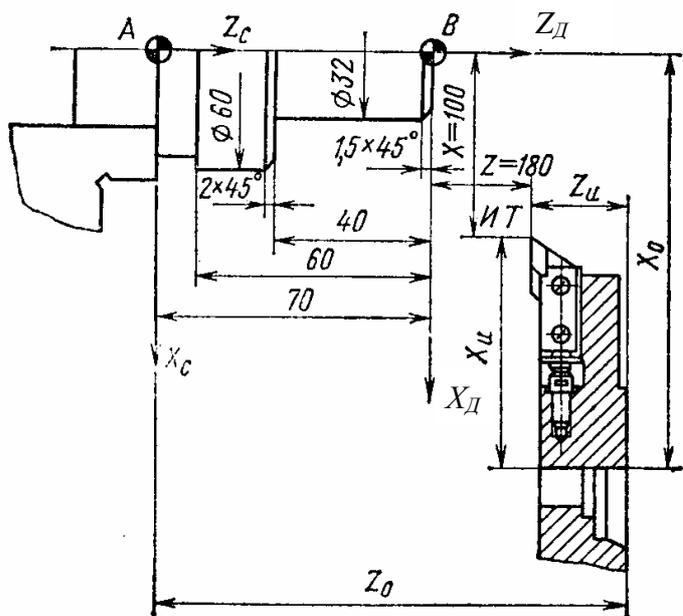
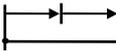


Рис. 16.16. Схема согласования систем координат станка  $X_c$ ,  $Z_c$ , детали  $X_d$ ,  $Z_d$  и исходной точки инструмента (ИТ) при программировании токарной обработки (к заданию 16.7)

В качестве основных команд в системе ЧПУ для токарных станков используются следующие.

**Перемещение инструмента** может задаваться в абсолютной и относительной системах отсчета. В абсолютной системе отсчета перемещения производятся относительно предыдущей запрограммированной точки.

Наличие признака  определяет относительный способ задания размеров, отсутствие его – абсолютный. Задание на перемещение вдоль оси X или вдоль оси Z представляется соответственно командами с буквенными адресами X и Z. Формат адресов соответственно X+06 и Z+06. Одной дискрете по оси Z соответствует перемещение 0,01 мм, а по оси X – 0,005 мм. При такой дискрете значение X задается на диаметр, что упрощает программирование перемещений с непосредственным использованием данных чертежа детали.

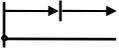
### Примеры.

1. Переместить инструмент в точку с координатой X=10 мм и затем в точку с координатой Z=30 мм (абсолютная система отсчета):

```
...      ...
N10 X2000
N11 Z3000
...      ...
```

(Здесь и далее номера кадров принимаются произвольно.)

2. Переместить инструмент по координате X на 20 мм и затем по координате Z – на 55 мм (относительная система отсчета):

```
...      ...
N20 X 4000  
N21 Z 5500  
...      ...
```

3. Переместить инструмент в точку с координатами X=12,5 мм и Z=-32 мм с одновременным движением по обеим осям:

```
...      ...
N30 X2500*
N31 Z-3200
...      ...
```

Знак «\*» означает признак принадлежности слова к команде. В рассмотренном примере он указывает на одновременное выполнение команд, заданных в кадре N30 и N31. Такое разделение формата команд на элементарные кадры упрощает ввод и редактирование УП непосредственно на пульте устройства ЧПУ станка.

**Программирование скорости главного движения** задается двоично-десятичным кодом в формате S02. Каждому коду соответствует определенная частота вращения шпинделя, мин<sup>-1</sup>, объединенная для трех диапазонов. Включение соответствующего диапазона осуществляется с помощью вспомогательных функций M41, M42 (диапазон I, II), M43 (диапазон III), M44 (диапазон IV) в соответствии с табл. 16.6. Направление вращения

шпинделя программируется вспомогательными функциями: M3 – по часовой стрелке, M4 – против часовой стрелки.

**Пример.** Задать вращение шпинделя по часовой стрелке с  $n=500 \text{ мин}^{-1}$ .

... ..  
 N12 M3  
 N13 M44  
 N14 S05

**Программирование рабочей подачи** осуществляется с помощью подготовительных функций: G94 – для минутной подачи, мм/мин; G95 – для подачи, мм/об. Величина подачи определяется кадром с форматом адреса F04.

Таблица 16.6

Код скорости главного движения

Диапазон M	Код скорости								
	01	02	03	04	05	06	07	08	09
M 42	12,5	18	25	35,5	50	71	100	140	200
M 43	50	71	100	140	200	280	400	560	800
M 44	125	180	250	355	500	710	1000	1400	2000

**Примеры**

1. Задать в УП рабочую подачу 200 мм/мин:

... ..  
 N22 G94  
 N23 F200

2. Задать в УП рабочую подачу 1,5 мм/об:

... ..  
 N32 G95  
 N33 F150

**Для перемещения (позиционирования) инструмента** при вспомогательном ходе по координатам X и Z указывается признак быстрого хода ~.

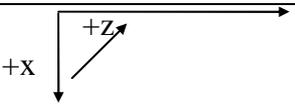
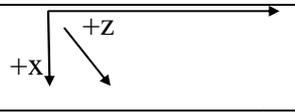
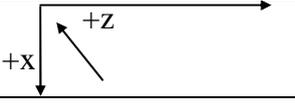
**Пример.** Задать в УП перемещение по оси X на быстром ходу на 50 мм в относительной системе отсчета:

... ..  
 N35~ X 10000   
 ... ..

**Программирование обработки фасок** под углом  $45^\circ$  осуществляется командой с буквенным адресом X и Z с признаком  $+45^\circ$  или  $-45^\circ$ . При программировании фаски необходимо указать в команде признаком  $+45^\circ$  или  $-45^\circ$  направление движения по координате, адрес которой отсутствует в команде. Все возможные случаи приведены в табл. 16.7.

Таблица 16.7

Возможные способы задания обработки фасок

Движение резания	Возможные способы задания	
	Задано X	Задано Z
	$+45^\circ X \dots$	$-45^\circ Z \dots$
	$+45^\circ X \dots$	$+45^\circ Z \dots$
	$+45^\circ X \dots$	$-45^\circ Z \dots$

**Программирование обработки криволинейных поверхностей**, у которых образующий контур представляет собой дугу с произвольным углом, производится с помощью круговой интерполяции и описывается командами подготовительной функции: G02 – движение по окружности по часовой стрелке; G03 – движение по окружности против часовой стрелки. Допускается обозначение этих команд в виде G2, G1. Каждая из этих команд программирует движение только внутри одного квадранта (одной четверти окружности).

Формат команд G2 и G3 имеет вид

$$G2(G3), X(\overrightarrow{\quad}) \dots, Z(\overrightarrow{\quad}) \dots, P_1 \dots, P_2 \dots,$$

где  $X(\overrightarrow{\quad}) \dots, Z(\overrightarrow{\quad}) \dots$  – величина приращений соответственно по оси X и Z или же конечной координаты точки дуги при работе в абсолютной системе отсчета;  $P_1$  и  $P_2$  – проекции от начальной точки дуги до центра дуги соответственно по осям X и Z, причем  $P_1$  и  $P_2$  задаются только на радиус.

Программирование переходных поверхностей (галтелей) и скруглений, являющихся частным случаем обработки криволинейных поверхностей в виде дуг окружностей с центральным углом  $90^\circ$ , производится с помощью подготовительных функций: G12 – скругление по часовой

стрелке; G13 – скругление против часовой стрелки. Формат команд G12 и G13 имеет вид

$$G12 (G13), X( \overrightarrow{\quad} ) \dots, Z( \overrightarrow{\quad} ) \dots,$$

где  $X$  – величина приращения по оси  $X$  или конечная точка дуги при работе в абсолютной системе отсчета:  $Z$  – то же по оси  $Z$ .

**Задание 16.7.** Составить УП траектории движения инструмента при обработке ступеней вала диаметрами 32 и 60 мм. Исходную точку (ИТ) и конечную (КТ) принять с координатами  $X=100$  мм,  $Z=180$  мм (см. рис. 16.16).

**Решение**

... ..

- |               |               |
|---------------|---------------|
| N10 ~ X2800 * | N15 X6000-45° |
| N11 Z50       | N16 Z-6000    |
| N12 X3200-45° | N17 X20000 *  |
| N13 Z-4000    | N18 Z18000    |
| N14 X5600     |               |

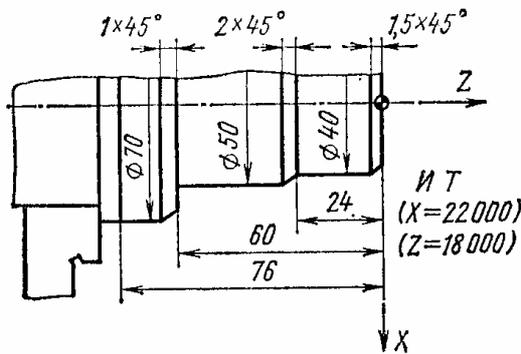


Рис. 16.17. Эскиз заготовки (к заданию 16.8)

**Задание 16.8.** Составить УП для станка с ЧПУ мод. 16К20Ф3 с траектории движения инструмента при обработке поверхностей заготовки диаметрами 40, 50 и 70 мм (рис. 16.17). Исходную и конечную точки принять с координатами  $X = 110$  мм и  $Z = 180$  мм.

**Задание 16.9.** Составить УП для станка с ЧПУ 16К20Ф3 траектории движения инструмента при обработке криволинейного профиля заготовки, соединяющего диаметры 24 и 40 мм (рис. 16.18).

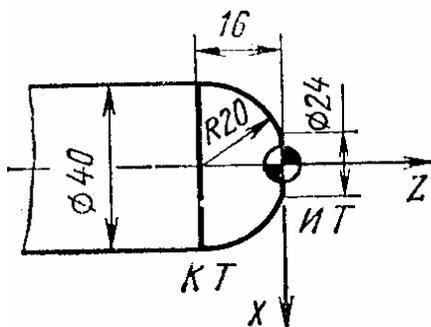


Рис. 16.18. Эскиз заготовки (к заданию 16.9)

**Решение:** ... ..

- |              |
|--------------|
| N11 G2 *     |
| N12 X4000 *  |
| N13 Z-1600 * |
| N14 P2400 *  |
| N15 P-1600   |

... ..

**Задание 16.10.** Составить УП для станка с ЧПУ 16K20Ф3 траектории движения инструмента при обработке заготовки на длине 70 мм от торца (рис. 16.19). Исходную и конечную точки принять с координатами  $X = 175$  мм,  $Z = 200$  мм.

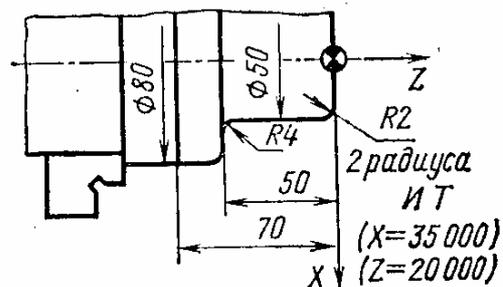


Рис. 16.19. Эскиз заготовки (к заданию 16.10)

**Решение.**

... ..

N11 ~ Z100

N12 ~ X0

N13 Z0

N14 X4600

N15 G12 \*

N16 X5000 \*

N17 Z-200

N18 Z-4600

N19 G13 \*

N20 X5800 \*

N21 Z-5000

N22 X7600

**Задача 16.11.** Составить УП для станка с ЧПУ 16K20T1 траектории движения инструмента при обработке выделенного контура заготовки (рис. 16.20), включающего переходные поверхности. Исходную и конечную точки принять с координатами  $X=100$  мм,  $Z=160$  мм.

**Задача 16.12.** Составить УП обработки втулки из стали 45 на токарном станке с ЧПУ 16K20T1 (рис. 16.21). Заготовка – штамповка.

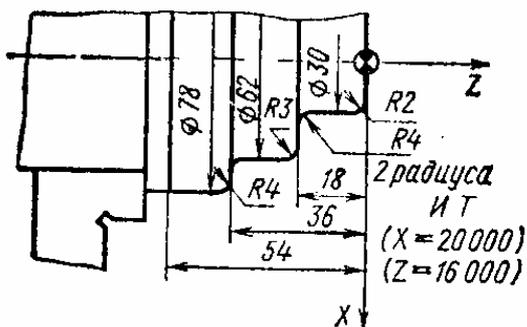


Рис. 16.20. Эскиз заготовки (к задаче 16.11)

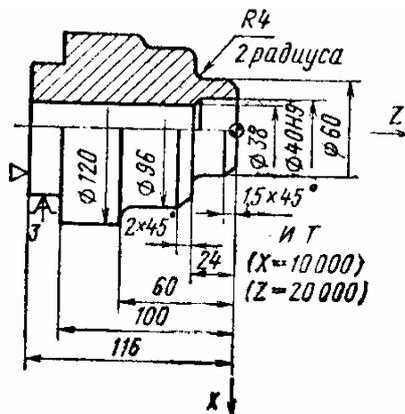


Рис. 16.21. Эскиз заготовки (к задаче 16.12)

**Решение.** Для обработки выделенных поверхностей втулки (рис. 16.22.) необходимо составить последовательность переходов с назначением режущих инструментов:

1. Сверлить отверстие диаметром 38 мм. Инструмент T1 – сверло диаметром 38 мм.

2. Обточить поверхности наружного контура. Инструмент T2 – проходной резец (ГОСТ 21151-75).

3. Расточить отверстие диаметром 40H9. Инструмент T3 – расточной резец (ГОСТ 20874-75)

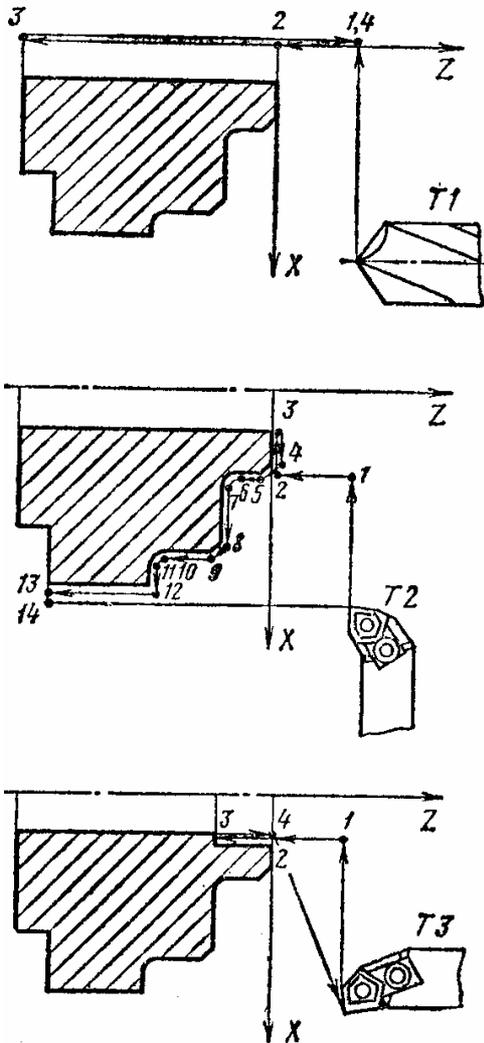


Рис. 16.22. Схема обработки заготовки (к заданию 16.12.)

Принимаем исходную точку ИТ относительно начала координат (см. рис. 16.21) с  $X=100$  мм и  $Z=200$  мм. Последовательность выполнения каждого перехода целесообразно представить в виде схемы обработки заготовки (рис. 16.22), представляющей траектории движения центра инструмента. Далее составляется УП с выбором частоты вращения шпинделя (см. табл. 16.6) и рабочей подачи в зависимости от вида выполняемого перехода. Пояснения содержания отдельных кадров приведены в скобках.

N0 T1 (сверло диаметром 38 мм)

N1 M3 (вращение шпинделя по часовой стрелке)

N2 M44 (IV – диапазон скорости вращения шпинделя)

N3 S03 (код скорости вращения шпинделя –  $250 \text{ мин}^{-1}$ )

N4 G95 (задание подачи в мм/об)

N5 F30 (рабочая подача 0,3 мм/об)

N6 ~ X0 (быстрый ход в точку с  $X=0,0$ )

N7 ~ Z200 (быстрый ход в точку с

$Z=2$  мм)

N8 Z-12500 (перемещение инстру-

мента в точку с координатой  $Z=-125$  мм)

N9 ~ Z200 (быстрый ход в точку с  $Z=2$  мм)

N10 ~ X10000 \* ] (быстрый ход в исходную точку ИТ)

N11 Z20000 ]

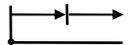
N12 T2 – проходной резец

N13 M3

N14 M43 (III – диапазон скорости вращения шпинделя)

N15 S8 (код скорости вращения шпинделя  $560 \text{ мин}^{-1}$ )

N16 F25 (рабочая подача 0,25 мм/об)

N17 ~ X6400  
 N18 ~ Z0  
 N19 X3700  
 N20 ~ X5700  
 N21 X6000-45 (обработка фаски  $1,5 \times 45^\circ$  на диаметре 60 мм)  
 N22 Z-2000  
 N23 G13 \*  
 N24 X6800 \* (обработка переходной поверхности)  
 N25 Z-2400  
 N26 X9200  
 N27 X9600-45° (обработка фаски  $2 \times 45^\circ$  на диаметре 96 мм)  
 N28 Z-5600  
 N29 G13 \* }  
 N30 X12000 \* } (обработка переходной поверхности)  
 N31 Z6000 }  
 N32 X12000  
 N33 Z-10000  
 N34 X100  (отвод инструмента по координате X на 1 мм в относительной системе отсчета)  
 N35 ~ X10000 \*  
 N36 Z20000  
 N37 T03 – расточной резец  
 N38 M3  
 N39 M44  
 N40 S06 (код частоты вращения шпинделя  $710 \text{ мин}^{-1}$ )  
 N41 F10 (рабочая подача 0,1 мм/об)  
 N42 ~ X3800  
 N43 ~ Z0  
 N44 Z-2400  
 N45 ~ Z2500  
 N46 ~ X10000 \*  
 N47 Z20000  
 N48 M30 (конец управляющей программы)

**Задание 16.13.** Составить УП обработки втулки на токарном станке с ЧПУ 16К20Ф3, заготовка – пруток (табл. 16.8). Предварительно обработана поверхность диаметром  $D$ , которую используют при закреплении заготовки.

Таблица 16.8.

Исходные данные к задаче 16.13. Размеры деталей, мм

Ва-ри-ант	Эскиз	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	k <sub>1</sub>	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	Материал
1		24	32	48	-	24	40	64	-	12Н8	-	2	4	-	2	1,5	Ст 45
2		36	50	72	-	36	44	88	-	16Н8	-	4	4	-	4	2	СЧ 20
3		48	60	96	-	40	76	100	-	24Н8	-	4	5	-	4	2	Бр010Ц2
4		32	44	56	40	20	44	66	10	14Н10	18	2	3	2	2	1,5	Бр010Ц2
5		42	60	72	56	34	62	88	16	18Н10	24	4	2	2	2	2	Ст 45
6		56	80	120	72	40	76	100	20	24Н10	32	6	4	4	4	2	СЧ 20
7		40	32	40	-	20	16	20	-	16Н10	20	20	-	-	2	1,5	Л160
8		60	50	60	-	30	20	30	-	32Н10	36	30	-	-	4	2	СЧ 20
9		80	60	80	-	40	30	40	-	42Н10	48	56	-	-	6	2	Ст 45
10		32	42	56	48	28	68	84	6	16Н8	-	2	-	4	1,5	-	Бр010Ц2
11		48	66	88	78	40	86	110	7	24Н8	-	4	-	6	2	-	СЧ 20
12		64	84	120	104	60	106	130	8	36Н8	-	6	-	8	4	-	Ст 45

## 16.5. Автоматизация программирования обработки

Сложность и многообразие задач, решаемых при разработке УП, привела к необходимости создания систем автоматизированного программирования (САП) для станков с ЧПУ, основанных на использовании совокупности математического, программного обеспечения и проблемно-ориентированного языка для записи и ввода в ЭВМ исходной информации.

Возможности САП в значительной степени зависят от входного языка, его простоты, доступности овладения им, легкости адаптации его к изменяющимся возможностям системы. Эти требования во многом характерны для широкого распространения системы ТЕХТРАН, которую используют для подготовки управляющих программ для фрезерных, токарных, сверлильных станков с ЧПУ и многоцелевых станков при проектировании на наиболее распространенных типах ЭВМ. Входной язык этой системы позволяет описывать геометрические объекты – точки, прямые, окружности, плоскости и вектора; любые плоские контуры, состоящие из отрезков прямых и дуг окружности; задавать поточечное движение и вертикальные перемещения для управления глубиной обработки; преобразования геометрических объектов и траектории инструмента. Кроме того, во входном языке имеются операторы управления пост-процессорами, задающие необходимые технологические команды. Исходный текст программы, написанный на входном языке, состоит из последовательных операторов входного языка. Каждый оператор входного языка формируется из операндов в соответствии с синтаксическими правилами языка. Операнды, в свою очередь, состоят из элементов языка. Операнд может быть именем, числом, служебным словом или модификатором, который определяет признак для выбора одного из нескольких возможных решений.

Для написания текста программы используют заглавные буквы русского алфавита: А ... Я; цифры 0 ... 9; знаки +, -, /, ×, ,, =, пробел, %, (,), :, //; буквы латинского алфавита А, В, С. Основными элементами языка являются вещественные числа, имена и служебные слова.

**Вещественные числа** должны содержать десятичную точку или показатель порядка, причем после точки необходима, по крайней мере, одна цифра. Например: 15.0; 1.56; 003.

**Имена** используются для обращения к переменным объектам программы, передачи, управления и вызова макрокоманд. Имя должно содержать от 1 до 8 букв и (или) цифр, но обязательно начинаться с буквы. Например: А, М80, ДЕТАЛЬ, Т11Р55. Если рядом с именем в тексте находится другое имя, число или служебное слово, то они должны отделяться пробелом или запятой.

**Служебные слова** используются системой для специальных целей, например, название оператора движения, модификатора и т.д. Список наиболее употребляемых служебных слов с учетом вида их написания включает:

1. ДЕТАЛЬ	12. КАСАТ	23. ПЕРЕНОС	34. ВНЕ
2. КОНЕЦ	13. КАС	24. УГОЛ	35. БОЛШ
3. ИЗ	14. НА	25. ПЕРПЕН	36. МЕНШ
4. ИДИ	15. ЗА	26. ПАРЛЕЛ	37. СЛЕВА
5. ПРИРАШ	16. ДО	27. РАДИУС	38. СПРАВА
6. ВТОЧКУ	17. ПЕРЕСЕЧ	28. ЦЕНТР	39. ПОЧС
7. ВПЕРЕД	18. ТОЧКА	29. ХБ	40. ПРЧС
8. НАЗАД	19. ВЕКТОР	30. ХМ	41. ОБРАБ
9. ВЛЕВО	20. ПРЯМАЯ	31. УБ	42. ИНСТР
10. ВПРАВО	21. ОКРУЖН	32. УМ	43. КОРРЕК
11. ПЛ	22. ПЛОСК	33. ВНУТРИ	44. ВКЛ

Служебные слова не могут быть использованы в качестве имени.

Входной язык системы ТЕХТРАН допускает применение объектов следующих типов: целое число, вещественное число, логический, геометрический (точка, прямая, окружность), вектор, плоскость, матрица и т. п. Тип имени, используемого в программе, фиксирован, и на протяжении всей программы оно должно обозначать объекты только этого имени.

Программа в системе ТЕХТРАН состоит из совокупности операторов входного языка, каждый из которых записывается на отдельной строке и пробивается на одной перфокарте. Если оператор не помещается на одной строке, то в конце строки ставится символ & и следующая строка используется для продолжения. Если требуется при написании программы указать пояснения и комментарии, то используется символ #, после которого текст в строке печатается, но не воспринимается транслятором. Пробел также является значащим символом и используется как запятая в качестве разделителя, поэтому внутри числа или имени его простановка не допускается.

Геометрическое описание объектов детали в системе ТЕХТРАН состоит из перечисления опорных элементов, через которые определяется объект модификаторов, служащих для выбора нужного случая из нескольких возможных, и служебных слов, упрощающих чтение текста программы, но не обязательных для ее написания. Опорным элементам присвоены условные имена. В конкретной программе на месте этих имен должны находиться имена геометрических объектов, определенные ранее. Рассмотрим примеры описания наиболее распространенных видов геометрических объектов.

**Способы задания точки.** В описании точки могут использоваться следующие группы модификаторов.

1. Модификаторы выбора точки из двух возможных:

ХБ – координата X больше; ХМ – координата X меньше; УБ – координата Y больше; УМ – координата Y меньше. Модификатор этой группы выби-

рает из двух возможных точек ту, у которой значение указанной координаты соответственно больше или меньше.

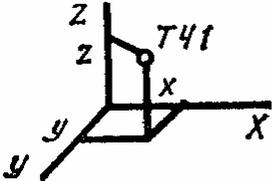
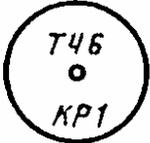
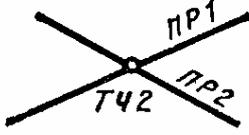
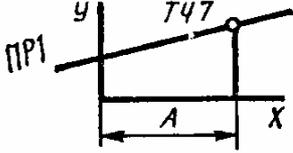
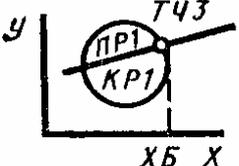
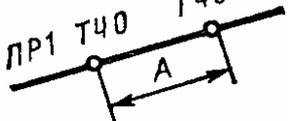
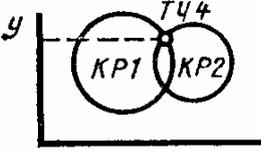
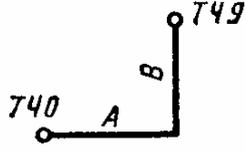
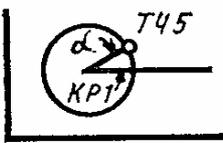
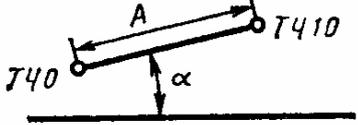
2. Модификаторы направления отсчета угла: ПОЧС – по часовой стрелке; ПРЧС – против часовой стрелки. Углы задаются в градусах и долях градуса.

3. Модификаторы, указывающие координату точки, заданную в геометрическом определении; ХКООРД – координата X; YКООРД – координата Y.

Задание точки может быть выполнено различными способами (табл. 16.9). В этой таблице показаны наиболее типовые случаи описания точки, которые получены из общих правил описания и различных видов модификаторов, отмеченных звездочкой \*.

Таблица 16.9

Способы задания точки

 <p><math>T41 = x, y, z</math></p>	 <p><math>T46 = \text{центр}, KР1</math></p>
 <p><math>T42 = \text{пересеч}, ПР1, ПР2</math></p>	 <p><math>T47 = ПР1, X \text{ коорд}, * A</math></p>
 <p><math>T43 = \text{пересеч}, ПР1, KР1, XB *</math></p>	 <p><math>T48 = ПР1, T40, A, XB *</math></p>
 <p><math>T44 = \text{пересеч}, KР1, KР2, YB *</math></p>	 <p><math>T49 = T40, \text{перенос}, A, B</math></p>
 <p><math>T45 = KР1, ПРЧС *, \alpha</math></p>	 <p><math>T410 = T40, \text{угол}, \alpha, A</math></p>

Так, для ТЧЗ второй вариант записи имеет вид

ТЧЗ = ПЕРЕСЕЧ, ПР1, КР1, УБ.

Служебные слова, используемые для описания точки, ПЕРЕСЕЧ (пересечение) и ЦЕНТР (центр окружности) могут быть опущены.

**Способы задания прямой.** Варианты задания прямой состоят из перечисления опорных элементов, через которые определяется прямая, модификаторов, служащих для выбора нужного случая, и служебных слов, облегчающих чтение текста программ.

При определении прямых в системе ТЕХТРАН необходимо помнить, что все прямые лежат в плоскостях ХУ и не имеют направления и величины (бесконечны).

В определениях прямой используются следующие группы модификаторов.

1. Модификаторы, выбирающие одну прямую из двух, касающихся окружности: ХМ – выбирается прямая, точка касания которой имеет наименьшую координату по Х, а ХБ – большую координату по Х; УМ – выбирается прямая, точка касания которой имеет меньшую координату по У, а УБ – большую координату по У;

2. Модификаторы, указывающие, с какой стороны определяемая прямая касается окружности: СПРАВА – точка касания прямой находится справа от центра окружности, если смотреть в направлении от первого геометрического объекта ко второму. СЛЕВА – прямая касается окружности слева (при тех же условиях рассмотрения геометрических объектов).

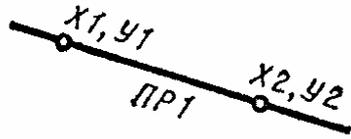
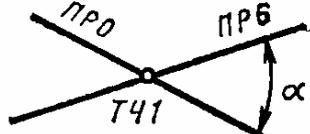
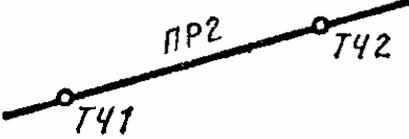
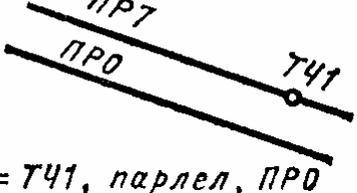
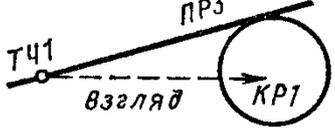
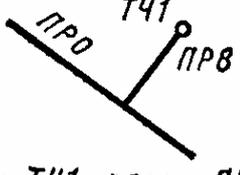
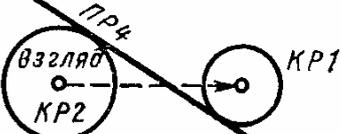
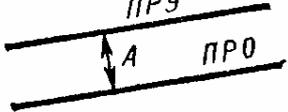
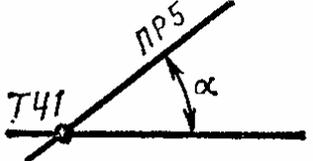
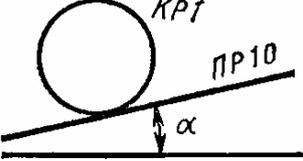
3. Модификаторы, указывающие положение прямой относительно другой; ПАРЛЕЛ – параллельно, ПЕРПЕН – перпендикулярно.

В табл. 16.10 приведены наиболее типовые случаи описания прямой. В зависимости от последовательности описания и вида модификаторов, отмеченных звездочкой, могут быть реализованы различные способы описания прямой.

Например, если при описании ПР4 изменить направление взгляда и смотреть со стороны окружности КР1, то следует записать:  
ПР4=СЛЕВА, КАСАТ, КР1, СПРАВА, КАСАТ, КР2.

Служебные слова, используемые для описания прямой, КАСАТ (касательно) и УГОЛ допускается опускать.

## Способы задания прямой

 <p><math>PR1 = X1, Y1, X2, Y2</math></p>	 <p><math>PR6 = PR0, TЧ1, \text{угол}, \alpha</math></p>
 <p><math>PR2 = TЧ1, TЧ2</math></p>	 <p><math>PR7 = TЧ1, \text{паралл}, PR0</math></p>
 <p><math>PR3 = TЧ1, \text{слева}^*, \text{касат}, KR1</math></p>	 <p><math>PR8 = TЧ1, \text{перп}, PR0</math></p>
 <p><math>PR4 \text{ слева}^*, \text{касат}, KR2, \text{справа}^*, \text{касат}, KR1</math></p>	 <p><math>PR9 = \text{паралл}, PR0, A, \text{УБ}^*</math></p>
 <p><math>PR5 = TЧ1, \text{угол}, \alpha</math></p>	 <p><math>PR10 = \text{касат}, KR1, \text{УМ}^*, \text{угол}, \alpha</math></p>

**Способы задания окружности.** Варианты задания окружности состоят из перечисленных опорных элементов, через которые определяется окружность, модификаторов, служащих для выбора нужного случая, и служебных слов, облегчающих чтение текста программ. При этом окружности рассматриваются только в плоскости XY и не имеют направления. В определениях окружностей применяются следующие группы модификаторов:

1. Модификаторы, указывающие положение окружности относительно прямой: ХМ – центр окружности находится слева от прямой; ХБ – центр окружности находится справа от прямой; УМ – центр окружности

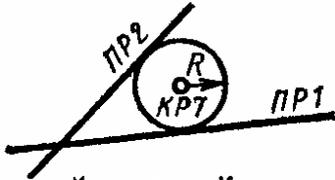
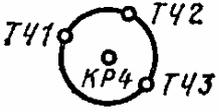
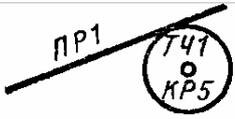
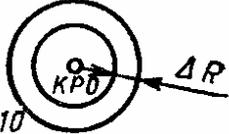
находится ниже прямой; УБ – центр окружности находится выше прямой. Эти же модификаторы используются для выбора из двух окружностей одной, но соответствующей координате ее центра.

2. Модификаторы, указывающие положение определяемой окружности относительно другой, являющейся опорным элементом: ВНЕ – окружность находится вне заданной окружности; ВНУТРИ – окружность находится внутри заданной окружности.

3. Модификаторы БОЛШ и МЕНШ, служащие для выбора из двух окружностей одной с большим или меньшим радиусом соответственно. Для задания окружности используется набор типовых способов (табл. 16.11).

Таблица 16.11

Способы описания окружности

 <p><math>KP1 = X, Y, R</math></p>	 <p><math>KP6 = \text{касат}, PR1, UM^*, T41, R</math></p>
 <p><math>KP2 = \text{центр}, T41, R</math></p>	 <p><math>KP7 = UB^*, PR1, XB^*, PR2, R</math></p>
 <p><math>KP3 = \text{центр}, T41, T42</math></p>	 <p><math>KP8 = \text{центр}, T41, \text{менш}^*, \text{касат}, KR0</math></p>
 <p><math>KP4 = T41, T42, T43</math></p>	 <p><math>KP9 = T41, UB^*, \text{внутри}^*, KR0, R</math></p>
 <p><math>KP5 = \text{центр}, T41, \text{касат}, PR1</math></p>	 <p><math>KP10 = \text{паралл}, \text{болш}^*, KR0, \Delta R</math></p>

Как и в предыдущих случаях, в зависимости от модификаторов, отмеченных звездочкой (\*), возможны несколько способов последовательности описания окружности, кроме тех, что приведены в таблице. Например, для описания окружности КР7 может быть использована следующая запись:

КР7=ХМ, ПР1, ХБ, ПР2, R.

Служебное слово, используемое для описания окружности, КАСАТ допускается опускать.

Подготовка программ в системе ТЕХТРАН проводится по этапам, содержание которых является обязательным для выполнения. Последовательность выполнения этапов может быть произвольной, некоторые из них в программе могут употребляться неоднократно, другие отсутствовать. Рекомендуется вести подготовку программ в следующем порядке:

**1. Начало программы.** Каждая программа в системе ТЕХТРАН должна начинаться строкой ДЕТАЛЬ 'ИМЯ ДЕТАЛИ'. Имя детали записывается в апострофах и должно содержать не более 60 символов – букв или цифр. Имя детали используется для идентификации результатов расчета и других данных, относящихся к программе, на алфавитно-цифровом печатающем устройстве (АЦПУ). Кроме того, под этим именем выводятся на перфоленду результаты работы постпроцессора, а также под этим именем программа может помещаться в библиотеку программ на исходном языке.

**2. Геометрия.** На этом этапе следует описывать элементы контура чертежа на входном языке системы с помощью рассмотренных геометрических определений: точки, прямые, окружности.

**3. Задание станка.** Для получения управляющей перфоленды к конкретному станку необходимо сообщить системе, какой конкретный постпроцессор необходимо вызвать. Это делается предложением: СТАНОК 'ИМЯ СТАНКА' N, где ИМЯ СТАНКА – модель станка, выделяемая в апострофах; N – номер соответствующего постпроцессора выбирается по таблице, входящей в описание системы. В системе ТЕХТРАН имеются постпроцессоры, обеспечивающие подготовку УП для большинства моделей отечественных станков с ЧПУ и систем управления, часть из них приведена в табл. 16.12.

**4. Задание инструмента.** Утверждение: ИНСТР D сообщает системе диаметр инструмента для расчета траектории движения его центра (эквидистанты). Например, ИНСТР 13.8 – диаметр инструмента равен 13,8 мм. Для токарных станков указывается диаметр инструмента равным нулю: ИНСТР 0.

Список постпроцессоров

Станок	Система управления	Номер постпроцессора
6P13Ф3	Контур 2ПТ-71	6130
6P11PФ3	H33-1M	1625
6P13Ф3	H33-1M	6133
6BP13Ф3	ИЛ-5К	6
6520Ф3	H33-1M	65
6441ПР1	ИЛ-5К	6441
6550PФ3	H33-2M	6553
6M11Ф3	УМС-2А	20
1K62-Ф3	Контур-4 МИ	162
P1720Ф3	H22-1M	720
АТПР-2М12СП	Салют	6545
16K30Ф305	H22-1M	1630
16K2Ф3	H22-1M	1620
2P135Ф2	Координата-70	2135
ИР500МФ4	ГА ИС/3000С	500
ЛФ260МФ3	H33-1M	6443

**5. Исходное положение инструмента.** Прежде чем производить какие-либо перемещения инструмента, необходимо сообщить системе его исходное положение. Это достигается с помощью оператора ИЗ, в котором указывается либо название точки, где находится инструмент, либо координаты этой точки. Если третья координата у точки не задана, то она принимается равной нулю. Например, ИЗ ТЧ15 – инструмент находится в точке ТЧ15; ИЗ 20, 30, 40 – инструмент находится в точке с координатами: X=20 мм; Y=30 мм; Z=40 мм.

В программе оператор ИЗ может употребляться несколько раз. Например, в программе технолог запроектировал технологический останов для того, чтобы оператор мог вывести инструмент вручную в указанную технологом точку для контроля размеров. Чтобы возобновить непрерывное движение, необходимо сообщить системе с помощью оператора ИЗ новое положение инструмента.

**6. Назначение подачи.** Рабочая подача назначается оператором:

ПОДАЧА ММИН, А  
ММОБ, В

Оператор задает минутную подачу или подачу в мм на оборот, где А – значение подачи, мм/мин; В – значение подачи, мм/об.

Ускоренное перемещение инструмента на вспомогательном ходу можно осуществить оператором БЫСТРО. Значение подачи в этом случае

определяется техническими характеристиками станка и системы управления. Действие оператора ПОДАЧА продолжается до следующего оператора ПОДАЧА. В программе этот оператор употребляется столько раз, сколько необходимо технологю.

**7. Точность обработки.** При обработке криволинейных контуров необходимо задавать точность аппроксимации. Это достигается с помощью утверждения: НАРДОП А или ВНДОП В, где А – значение внешнего отклонения от окружности, мм; В – значение внутреннего отклонения от окружности, мм. Например, НАРДОП 0.02.

При однократном задании точности все криволинейные участки контура будут аппроксимироваться с указанной точностью, при многократном задании различной точности величина аппроксимации отдельных участков контура будет различной.

**8. Коррекция инструмента.** Для задания коррекции режущего инструмента необходимо применить оператор КОРРЕК. Если необходимо задать коррекцию по трем координатам X, Y, Z, то формат оператора КОРРЕК следующий:

КОРРЕК, ВКЛ, ХКООРД, а, YКООРД, b, ZКООРД, с,  
где а, b, с – номера корректоров, связанных с осями X, Y, Z соответственно.

**9. Начало непрерывного движения.** Непрерывное движение по контуру или участку контура должно начинаться оператором ИДИ. Модификаторы оператора ИДИ: ДО, НА, ЗА ориентируют положение центра инструмента относительно направляющей и ограничивающей поверхностей. Оператор ИДИ имеет следующий формат:

ДО НАПРАВЛЯЮЩАЯ ДО ОГРАНИЧИВАЮЩАЯ  
ИДИ НА ПОВЕРХНОСТЬ НА ПОВЕРХНОСТЬ  
ЗА ЗА

Например, ИДИ ДО ПР1 ЗА ПР8.

**10. Непрерывное движение.** Направление движения по элементам контура необходимо выбирать в зависимости от направления движения по предыдущему участку. Операторы:

ВПЕРЕД ДО  
НАЗАД НАПРАВЛЯЮЩАЯ НА ОГРАНИЧИВАЮЩАЯ  
ВПРАВО ПОВЕРХНОСТЬ ЗА ПОВЕРХНОСТЬ  
ВЛЕВО КАС

позволяют осуществить непрерывное движение по контуру. Например,  
ВПЕРЕД ПР2 КАС КР2

**11. Движение точка – точка.** Оператор ВТОЧКУ осуществляет перемещение инструмента в точку, заданную именем или своими координатами. Этот оператор наиболее удобно использовать для программирования обработки на токарных станках с ЧПУ. Например, ВТОЧКУ ТЧ1; ВТОЧКУ 10, 15, 20. Перемещение инструмента на некоторые расстояния от предыдущего положения инструмента можно осуществить с помощью оператора ПРИРАЩ. Например, оператор ПРИРАЩ 0,0 - 10 осуществляет перемещение инструмента на глубину резания по координате  $Z=-10$  мм. Эта запись эквивалентна записи ПРИРАЩ-10.

**12. Технологический останов и пауза.** Операторы ТЕХОСТ или СТОП предназначены для осуществления технологического останова станка. Работа может быть продолжена после ручного запуска станка. Оператор

$a$   
 ПАУЗА  $b$ , ОБОРОТ  
 ОБОРОТ,  $c$

вызывает останов движения инструмента (исполнительных органов станка) на заданное время. Продолжительность паузы задается или в секундах, или в оборотах шпинделя.

**13. Конец программы.** Каждая программа заканчивается строкой КОНЕЦ. Это предложение определит для процессора конец программы.

Для выполнения автоматизированного проектирования управляющей программы на ЭВМ текст программы на языке ТЕХТРАН или кодированное описание детали вводятся с клавиатуры. После расчетов на ЭВМ выдается текст управляющей программы в коде ISO-7bit или другом и перфолента для станка с ЧПУ или осуществляется непосредственное управление станком с ЧПУ от ЭВМ.

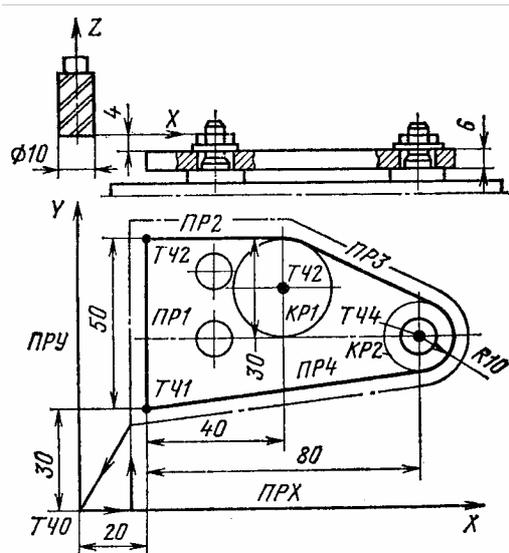


Рис. 16.23. Схема обработки заготовки (к заданию 16.14)

ное описание детали вводятся с клавиатуры. После расчетов на ЭВМ выдается текст управляющей программы в коде ISO-7bit или другом и перфолента для станка с ЧПУ или осуществляется непосредственное управление станком с ЧПУ от ЭВМ.

**Задание 16.14.** Составить на языке ТЕХТРАН программу обработки по контуру детали «плита» (рис.16.23) на фрезерном станке с ЧПУ. Материал детали – сплав Д16. Заготовка предварительно обрублена на пресс-ножницах.

**Решение.** Обработка плиты будет проводиться на фрезерном станке с ЧПУ мод. 6P13Ф3. Система управления станком H33-1M. Заготовку закрепляют на подкладной плите с использованием двух отверстий диаметром 10 мм. Составление программы производится в соответствии с изложенными выше рекомендациями:

1. Начало программы

ДЕТАЛЬ 'ПЛИТА' # ИВАНОВ

2. Геометрия. В рассматриваемом примере точка ТЧ0 принята на расстоянии от контура заготовки по осям X и Y на 20 мм и 30 мм (ТЧ=0, 0, 0). Задание геометрических элементов детали, выделенных на операционном эскизе, производится с помощью типовых описаний (табл. 16.9 – 16.11).

ТЧ1=20, 30

ТЧ2=ТЧ1, ПЕРЕНОС, 0, 50

ПР1=ТЧ1, ТЧ2

КР1=60, 65, 15

КР2=100, 50, 10

ПР2=ТЧ2, СЛЕВА, КР1

ПР3=СЛЕВА, КР1, СЛЕВА, КР2

ПР4=ТЧ1, СПРАВА, КР2

3. Задание станка. С учетом номера пост-процессора N=6133.

СТАНОК '6P13Ф3' 6133

4. Задание инструмента. Принимается концевая фреза диаметром 10 мм.

ИНСТР 10

5. Исходное положение инструмента. Считаем, что инструмент установлен в нулевой точке.

ИЗ ТЧ0

6. Назначение подачи. Ускоренное перемещение инструмента на вспомогательном ходу осуществляется с подачей  $S_{вх}=1100$  мм/мин.

ПОДАЧА ММИН 1100

7. Движение «точка-точка». Для подвода инструмента на глубину резания по координате Z на 10 мм запишется оператор

ПРИРАЩ - 10.

8. Начало непрерывного движения

ИДИ ДО ПР1

– этот оператор осуществляет перемещение инструмента из точки ТЧ0 по перпендикуляру к прямой ПР1.

9. Технологические команды на включение шпинделя и охлаждения запишутся операторами:

ШПИНДЛ ВКЛ

ОХЛАД ВКЛ

10. Назначение рабочей подачи. Изменение подачи вспомогательного хода на рабочую

ПОДАЧА ММИН, 80

11. Непрерывное движение. По отношению к предыдущему движению от ТЧ0 в положение 1 последующее движение необходимо направить влево:

ВЛЕВО ПР1 ЗА ПР2

Следующее движение по отношению к предыдущему будет вправо по прямой ПР2 до касания с окружностью КР1

ВПРАВО ПР2 КАС КР1

12. Точность обработки. Для задания точности обработки при аппроксимации окружностей хордами необходимо указать величину стрелки прогиба 0,1 мм.

ВНДОП 0,1

13. Непрерывное движение (продолжение)

ВПЕРЕД КР1 КАС ПР3

ВПЕРЕД ПР3 КАС КР2

ВПЕРЕД КР3 КАС ПР4

ВПЕРЕД ПР4 ЗА ПР1

14. Технологическая команда на выключение охлаждения

ОХЛАД ВЫКЛ

15. Назначение подачи. Включается подача вспомогательный ход

ПОДАЧА ММИН 1100

16. Движение «точка-точка» возвращает инструмент в нулевую точку

ВТОЧКУ ТЧ0

17. Конец программы

КОНЕЦ

**Задание 16.15.** Составить на языке САП ТЕХТРАН программу обработки заготовки согласно табл. 16.13. на фрезерном станке с ЧПУ.

**Задание 16.16.** Составить на языке САП ТЕХТРАН программу обработки отверстий в детали из стали 45 (см. рис. 16.23.) на сверлильном станке с ЧПУ или обрабатывающем центре.

**Задание 16.17.** Составить на языке САП ТЕХТРАН программу обработки втулки на токарном станке с ЧПУ, заготовка – пруток (см. табл. 16.8.). Предварительно обработана поверхность диаметром  $D$ .

Таблица 16.13

Данные к заданию 16.15. Размеры, мм

№ эскиза	Эскиз детали	Вариант	$a$	$b$	$v$	$z$	$d$	$e$	$\kappa$	$R1$	$R2$	Материал
1		1	100	150	20	10	20	90	–	45	25	АЛ9
		2	200	240	30	10	20	140	–	80	60	Ст3
		3	240	300	50	16	20	160	–	50	30	СЧ20
2		1	80	140	30	15	40	70	40	20	20	АЛ9
		2	100	180	40	20	50	30	50	16	30	15Л
		3	120	200	50	24	60	100	60	30	30	СЧ20
3		1	80	160	40	16	16	16	–	20	24	АЛ9
		2	100	200	40	16	16	16	–	24	30	20Л
		3	120	220	60	20	16	16	–	30	36	СЧ20
4		1	100	200	50	20	16	50	–	20	–	АЛ9
		2	160	300	60	20	20	60	–	24	–	Ст3
		3	200	400	100	20	20	70	–	30	–	СЧ20

№ эскиза	Эскиз детали	Вариант	<i>a</i>	<i>б</i>	<i>в</i>	<i>г</i>	<i>д</i>	<i>e</i>	<i>κ</i>	<i>R1</i>	<i>R2</i>	Материал
5		1 2 3	100 160 200	200 300 400	50 80 100	20 24 30	20 20 20	60 80 110	50 80 100	40 60 80	– – –	АЛ9 Ст3 СЧ20
6		1 2 3	100 140 200	200 280 360	60 60 80	20 20 20	70 90 100	20 24 36	– – –	35 45 50	– – –	АЛ9 Ст 15 СЧ20
7		1 2 3	100 160 200	160 220 300	40 60 80	20 40 56	60 80 120	– – –	– – –	30 40 60	30 40 60	АЛ9 Ст3 СЧ20

## **17. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ (токарная обработка)**

### **17.1. Лабораторная работа «Разработка технологии обработки на токарном станке модели 16К20Ф3 с системой ЧПУ 2Р22»**

**Цель работы:** практическое освоение методики подготовки управляющих программ для обработки заготовок на токарном станке 16К20Ф3С32 с системой ЧПУ 2Р22.

#### **Техническая характеристика станка 16К20Ф3С32**

Наибольший диаметр обрабатываемого изделия над станиной – 400 мм, над суппортом – 220 мм. Максимальная длина продольного перемещения каретки – 900 мм, поперечного суппорта – 250 мм. Число инструментов в резцедержке с горизонтальной осью вращения – 12. Число рабочих скоростей шпинделя – 18, число автоматически переключаемых скоростей – 9 (3 диапазона). Пределы чисел оборотов 12 – 2188 об/мин.

Обработка детали на станке может производиться в центрах или в патроне с поджимом задним центром.

На станке 16К20Ф3С32 оси координат направлены следующим образом (рис. 17.1). Ось *Z* совпадает с осью вращения шпинделя станка. За положительное направление оси взято направление в сторону задней бабки. Ось *X* по направлению совпадает с перемещением поперечного суппорта: положительное направление от оси центров станка (детали) в сторону рабочего.

Начало системы координат станка выбирается в точке пересечения оси вращения шпинделя и торца патрона.

Положение суппорта (резцедержки) определяется регулируемыми упорами, расположенными на станине и продольном суппорте.

### **17.2. Технические характеристики и порядок работы системы управления 2Р22**

Программа обработки кодируется в коде ISO-7bit. Программа обработки детали составляется из определенного количества кадров информации. Кадр состоит из слов. Некоторые слова в кадре могут быть опущены. Слово состоит из адресной и числовой части. Адрес обозначается буквой и представляет собой определенную функцию.

Система 2Р22 обеспечивает линейную и круговую интерполяцию геометрической информации, заложенной в программе.

Допускается программирование геометрической информации как в относительной (в приращениях), так и в абсолютной системе координат.

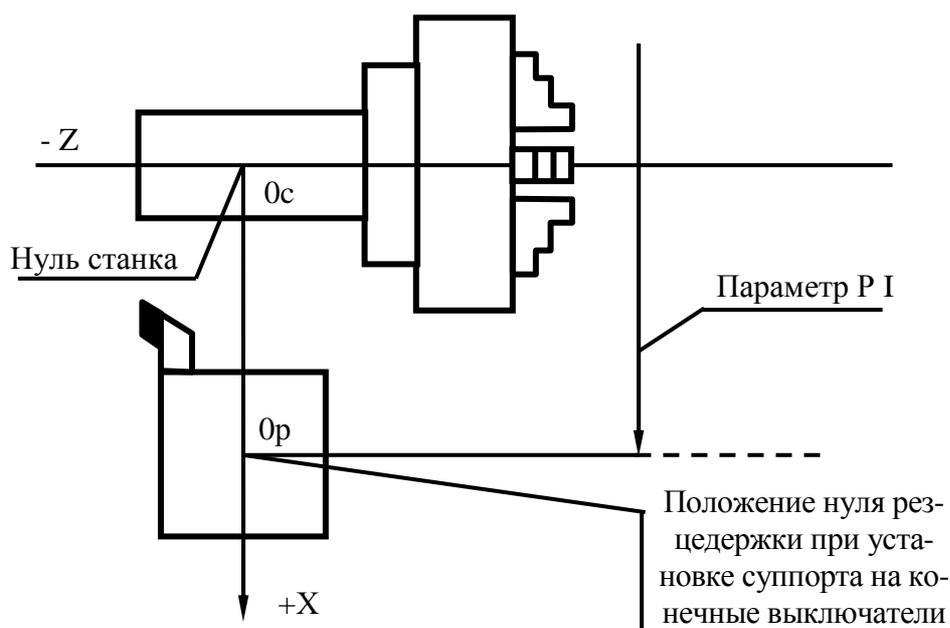


Рис. 17.1. Схема привязки системы отсчета к станку

Программное обеспечение предназначено для обслуживания внешних устройств ввода-вывода, редактирования управляющей программы с пульта, поиска нужного кадра, набора управляющей программы и её обработки, расчета циклов обработки и выдачи управляющих воздействий на технологическое оборудование.

В программном обеспечении также предусмотрена диагностика основных блоков по включению УЧПУ в режиме «ТЕСТ».

В табл. 17.1 – 17.2 представлены символы соответствующих клавиш пульта управления основным и вспомогательными режимами работы УЧПУ.

### 17.3. Порядок работы УЧПУ

Для обеспечения обработки детали необходимо осуществить следующие операции:

- привязка УЧПУ к параметрам станка;
- привязка системы отсчета к станку;
- привязка инструмента к системе отсчета;
- привязка системы отсчета к детали.

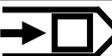
Привязка устройства к параметрам станка осуществляется, если устройство включается впервые или когда на экране БОСИ высветится: ВВЕСТИ?

### 17.4. Привязка системы отсчета к станку

1. Нажать клавиши  и , при этом над ними зажигаются светодиоды, а на первой строке БОСИ высвечивается РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФП.

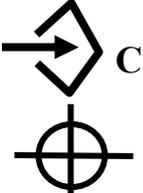
2. Нажать клавишу , при этом начинается движение по координате X (см. рис. 17.1). Направление движения – от оси шпинделя к оператору. По достижении положения, определенного конечными выключателями, движение по координате X прекращается и начинается движение по координате Z в направлении к шпинделю. При достижении положения, определяемого конечными выключателями, движение по координате прекращается. Одновременно выключается сигнализация над клавишей , а на 4 и 5 строках БОСИ высвечиваются цифры, характеризующие координаты режущей кромки инструмента относительно НУЛЯ ДЕТАЛИ. В процессе обработки действуют клавиши  и 

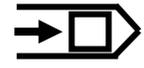
Таблица 17.1

Символ	Значение символа
	ПОИСК КАДРА (ОСТАНОВ ПО КОНЦУ КАДРА) со световой индикацией
	ВВОД КОНСТАНТ
	АВТОМАТ
	РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (со световой индикацией)
	ВВОД
	ВЫВОД
	ТЕСТ
	НОСИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ
	СДВИГ КАДРА
	СДВИГ ФРАЗЫ
	ЧИСТКА
	НАЧАЛО ПРОГРАММЫ (КОРРЕКЦИЯ)
	СБРОС ПАМЯТИ
	ВВОД ПО ОБРАЗЦУ
	ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ
	ФИКСИРОВАННАЯ ТОЧКА СТАНКА
	ПУСК

	СТОП
	ВОЗВРАТ КАРЕТКИ
	ВВОД ДАННЫХ (ПЕРЕВОД СТРОКИ)

Таблица 17.2

Основной режим		Вспомогательный режим		Надпись на первой строке БОСИ	Функция устройства
Клавиша	Режим работы	Клавиша	Режим работы		
1	2	3	4	5	6
	авто	--	--	АВТОМАТ	Обработка детали по программе
			Покадровая отработка	ПОКАДРОВЫЙ	Обработка детали по программе с остановками в конце кадра
	Ручное управление	--	--	РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ	Работа от штурвалов. Набор кадров. Составление программы по образцу
			Выход в фиксированную точку станка	РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ФП	Привязка системы отсчета к станку
			Полуавтоматический ввод констант	ВВОД КОНСТАНТ ПОЛУАВТ	Полуавтоматический ввод в память плавающего нуля и вылета инструмента
			Полуавтоматический ввод исходного положения	ВВОД КОНСТАНТ ПОЛУАВТ	Полуавтоматический ввод исходного положения
			Выход в исходное положение	РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ИП	Непосредственный выход в исходное положение

1	2	3	4	5	6
	Ввод	--	--	Ввод программы	Ввод программы с пульта управления, индикация и редактирование
			Ввод констант	ВВОД КОНСТАНТ	Ввод, индикация и редактирование вылетов инструмента, плавающего нуля
			Поиск кадра	ПОИСК КАДРА	Поиск необходимого номера и его индикация
			Внешний носитель – магн. лента	Ввод программы МЛ	Ввод программы с магнитной ленты
			Внешний носитель – перфолента	Ввод программы ПЛ	Ввод программы с перфоленты
	Вывод		Внешний носитель – магн. лента	Вывод МЛ	Вывод программы на магнитную ленту
			Внешний носитель – перфолента	Вывод ПЛ	Вывод программы на перфоленту
	Тест		Диагностика	Тест диагностика	Проверка работоспособности устройства по тестам
			Внешний носитель – магн. лента	Тест МЛ	Ввод тестов с магнитной ленты
			Внешний носитель – перфолента	Тест ПЛ	Ввод тестов с перфоленты
			Индикация электроавтоматики	Тест	Индикация датчиков и состояния обменных сигналов
			Сброс индикации электроавтоматики	Тест	Сброс индикации датчиков

## 17.5. Полуавтоматический ввод исходного положения в УЧПУ и выход инструмента в это положение

1. Установить режим «Полуавтоматический ввод констант».
2. Пользуясь мнеморукойткой и штурвалами, установить резцедержку в требуемую позицию.
3. Нажать клавишу . При этом на 6 строке экрана БОСИ высвечиваются координаты исходного положения.
4. Нажать клавишу . Величины координат исходного положения с экрана стираются и записываются в память.

Теперь в памяти УЧПУ хранятся координаты исходного положения. Если его надо изменить, то повторить действия по всем предыдущим пунктам в новом месте положения резцедержки.

Если инструмент выведен из исходного положения и его необходимо вернуть обратно, – нажать клавиши:



Инструмент вернется в исходное положение.

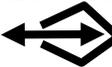
Примечание: Если при обработке детали необходимо менять инструмент, то целесообразно сразу выбрать наиболее подходящее место точки исходного положения на всю программу обработки детали.

При обработке каждой конкретной детали оператор имеет возможность выбрать положение резцедержки, удобное для смены инструмента и установки заготовки в патрон, которое называется ИСХОДНЫМ ПОЛОЖЕНИЕМ. При необходимости смены инструмента или по окончании обработки осуществляется перемещение в ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ.

## 17.6. Привязка инструмента к системе отсчета

Производится после привязки устройства УЧПУ к параметрам станка, привязки системы отсчета к станку и после полуавтоматического ввода исходного положения в память УЧПУ.

В случае если в резцедержке нет хотя бы одного инструмента с известными вылетами, то привязка выполняется по следующей методике:

1. Ввести плавающий нуль нажатием на клавиши   С Z и численное значение плавающего нуля. Набираемые символы высвечиваются на 6 строке экрана БОСИ. Нажать клавишу , при этом 6 строка экрана БОСИ очищается, плавающий нуль вводится в память УЧПУ.
2. Ввести вылеты инструмента, с которого начинается привязка, равные нулю, который получается нажатием клавиш   С, T и его номер, Z и его численное значение, X и его численное значение. По мере набора номер инструмента и его вылеты индицируются на 6 строке экра-

на БОСИ. Нажать клавишу , при этом 6 строка очищается, вылеты вводятся в память УЧПУ. Далее набирается T, номер и вылеты на следующий инструмент в порядке, описанном в данном пункте.

3. Установить режим «Полуавтоматический ввод конст.».

4. Ввести требуемые значения T, S и F и нажать клавишу . При этом происходит перемещение в исходное положение, установка требуемой позиции резцедержки и запуск шпинделя.

5. Пользуясь мнеморукояткой и штурвалами, произвести обточку цилиндрической части заготовки.

6. Отвести инструмент по координате Z, не изменяя его положения по координате X и выключить шпиндель нажатием на клавишу .

7. Произвести измерения диаметра обточенной части заготовки и ввести эту величину под адресом X. При этом на 7 строке экрана БОСИ высветится введенная величина.

8. Нажать клавишу . При этом на 6 строке экрана БОСИ высветится номер инструмента и вычисленное значение вылета инструмента по координате X, например: T01X105,64.

9. Включить шпиндель путем нажатия на клавишу  и произвести обточку торца заготовки.

10. Отвести инструмент по координате X, не изменяя его положения по координате Z и выключить шпиндель нажатием на клавишу .

11. Ввести показание текущего значения по координате Z (показание на 5 строке экрана БОСИ). При этом на 7 строке экрана высветится введенная величина.

12. Нажать клавишу . При этом к информации на 6 строке прибавится информация о вычисленном значении вылета инструмента по координате Z, например: T01X105,64Z0.

13. Нажать клавишу . При этом значения вылетов инструмента записываются в память и с 6 строки стираются.

14. Ввести значение плавающего нуля путем нажатия на клавишу  (на 6 строке экрана БОСИ высветится значение плавающего нуля), а затем клавишу . При этом значение плавающего нуля записывается в память и с 6 строки экрана БОСИ стирается. Текущее значение по координате Z станет равно нулю, а на 8 строке экрана БОСИ высветится значение плавающего нуля.

15. Установить в рабочую позицию следующий инструмент путем набора соответствующего значения T и нажатия на клавишу . При этом производится перемещение в исходное положение, смена инструмента и запуск шпинделя.

16. Произвести привязку инструмента согласно вышеописанной методике. При выполнении п. 9 обточку торца заготовки производить не следует, а нужно только коснуться торца заготовки.

При выполнении п. 11 ввести значение плавающего нуля (8 строка экрана) вместо п. 14.

*Если в резцедержке имеется инструмент с известными вылетами, привязку нового инструмента нужно выполнить по следующей методике:*

1. Осуществить привязку системы отсчета и детали с инструментом, привязанным к системе отсчета.

2. Выполнить действия по п.п. 15 и 16.

### 17.7. Привязка системы отсчета и детали

Производится после привязки системы отсчета к станку и привязки инструмента к системе отсчета по следующей методике:

1. Установить режим «Полуавтоматический ввод констант».

2. Установить инструмент, привязанный к системе отсчета в рабочую позицию.

3. Отработать требуемые значения скорости подачи, скорости шпинделя и номера инструмента.

4. Пользуясь мнеморукояткой и штурвалами, произвести обточку торца заготовки и отвести инструмент по координате X, не изменяя его положения по координате Z.

5. Выключить шпиндель нажатием клавиши .

6. Включить клавишу . На 6 строке экрана БОСИ высвечивается величина плавающего нуля по координате Z.

7. Нажать клавишу . Величина плавающего нуля переписывается в память и стирается с 6 строки экрана. Ранее записанная величина плавающего нуля заменяется новым его значением.

### 17.8. Режим «ВВОД»

Для работы в режиме ввода программы сначала нажать клавиши  ,  ,  и номер первого кадра программы. Набор программы осуществляется по кадрам. Набираемая программа высвечивается на 6, 7 и 8-й строках экрана БОСИ. Во время набора последняя набранная фраза может быть стерта нажатием клавиши . Для ввода набранного кадра в память устройства нажать клавишу  , при этом кадр стирается с экрана БОСИ, а номер кадра автоматически увеличивается на единицу, ес-

ли программа не закончена; высвечивается КП в правом углу первой строки экрана БОСИ, если программа закончена.

Для ввода программы с магнитной ленты необходимо проделать следующие операции:

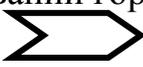
1. Вставить кассету в кассетный наполнитель.

2. Нажать клавиши  ,  . На первой строке экрана БОСИ высвечивается ВВОД ПРОГРАММЫ МЛ.

3. Набрать номер программы.

4. Нажать клавишу  .

Цикл считывания содержит ускоренное перемещение вперед в течение 1s, ускоренное перемещение в начало ленты, ускоренный поиск программы, считывание, ускоренное перемещение в начало ленты.

При правильном считывании горит сигнализация над клавишей  , а сигнализация над клавишей  гаснет, и номер программы с экрана БОСИ стирается.

При неправильном считывании высвечивается ? СБОИ МЛ на первой строке экрана БОСИ. В этом случае считывание повторить. В этом режиме действует клавиша  . После нее режим повторится заново.

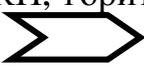
При вводе программы с перфоленты необходимо проделать следующие операции:

1. Установить необходимую перфоленту с технологической программой в фотосчитывающее устройство.

2. Включить его согласно паспорту на фотосчитывающее устройство.

3. Нажать клавишу  , два раза клавишу  , на первой строке экрана БОСИ высвечивается ВВОД ПРОГРАММЫ ПЛ.

4. Нажать клавишу  .

По окончании ввода программы с перфоленты на первой строке экрана БОСИ высвечивается КП, горит сигнализация над клавишей  , а сигнализация над клавишей  гаснет.

Для вывода программы на магнитную ленту необходимо проделать следующие операции:

1. Установить кассету в кассетный наполнитель.

2. Нажать клавиши   , на первой строке экрана БОСИ высвечивается ВЫВОД МЛ.

3. Задать номер программы на этой кассете.

4. Нажать клавишу  .

Цикл записи состоит из ускоренного перемещения вперед в течение 1s, ускоренного перемещения назад в начало ленты, ускоренного поиска

программы, записи, ускоренного перемещения в начало программы, контрольного считывания, ускоренного перемещения в начало ленты.

При правильной записи заданный номер программы на 6 строке экран БОСИ гасится и горит сигнализация над клавишей  .

При неправильной записи на первой строке экрана БОСИ высвечивается ? СБОИ МЛ, номер программы не стирается, сигнализация над клавишей  не гаснет. В этом случае программу необходимо записать повторно, увеличив номер на 1. При задании N0 производится стирание ранее записанной информации.

При выводе программы на перфоленту необходимо проделать следующие операции:

1. Включить перфоратор согласно его руководству по эксплуатации.
2. Нажать клавишу  , два раза клавишу  . На первой строке экрана БОСИ высвечивается ВЫВОД ПЛ.
3. Нажать клавишу  .

По окончании вывода программы на перфоленту сигнализация над клавишей  гаснет. В этом режиме действует клавиша  . После нее режим повторить заново.

## 17.9. Система кодирования и порядок построения кадра

УЧПУ предусматривает возможность ввода в память программы на обработку детали с пульта управления или с программноносителя.

В качестве программноносителя используется 8-дорожковая бумажная лента шириной 25, 4 мм или магнитная лента.

Программа состоит из нескольких кадров.

В начале программы стоит номер кадра.

Каждый кадр состоит из переменного числа слов, причем любое слово может отсутствовать, кроме конца кадра ПС.

Каждое слово состоит из буквы, называемой адресом, и следующей за ней группы цифр; нули в старших разрядах можно опустить; Е – быстрый ход без числовой информации.

Порядок слов в кадре произвольный.

В одном кадре нельзя программировать два слова одного адреса.

Время выдержки программируется над адресом D и с точностью до 0,001 с программированием десятичной точки. Время выдержки программируется отдельным кадром.

Величины перемещений могут задаваться в абсолютных или относительных координатах с точностью до 0,001 мм с программированием десятичной точки, если программа вводится с пульта управления УЧПУ.

Дискретность задания для программы, набранной на перфоленте, – 0,001 мм.

Величина подачи рабочего органа задается по адресу F в мм/об. В цикле резбонарезания по адресу F задается шаг резьбы. Подача действует на обе оси одновременно.

Число оборотов шпинделя задается по адресу S, например: S 2-250. Минус означает вращение шпинделя по часовой стрелке.

250 – число оборотов шпинделя в минуту;

2 – диапазон числа оборотов шпинделя.

В устройстве УЧПУ предусмотрено управление регулируемым приводом главного движения (табл. 17.3).

Таблица 17.3

Соотношение диапазонов и частоты вращения шпинделя для регулируемого привода

Диапазон	Частота вращения
1	Максимальное число заносится через параметр P6
2	Максимальное число заносится через параметр P7
3	Максимальное число заносится через параметр P8
4	Максимальное число заносится через параметр P9

Остальные функции M выдаются в электроавтоматику станка в двоично-десятичном коде (табл. 17.4).

Таблица 17.4

Технологические команды группы M, используемые при программировании

Технологическая команда	Функции технологической команды
M00	Программируемый останов
M01	Останов с подтверждением
M02	Конец программы
M08	Включение охлаждения
M09	Выключение охлаждения
M17	Конец описания детали для циклов L8, L9, L10
M18	Конец участка программы, которой повторяется в цикле L11
M20	Передача управления роботу

Подготовительные функции G 05, G 10 и G 11 (другие функции в УЧПУ не применяются).

*Функция G 05* используется в тех кадрах программы, после обработки которых торможение в конце кадра производить не следует (при сопряжении контуров). Если в галтели не нужно делать торможения в конце кадра, то ее надо задавать в кадре через радиус.

*Функция G 10* задается перед кадрами, где необходимо поддерживать постоянство скорости резания в зависимости от диаметра обработки.

*Функция G 11* отменяет функцию G 10. Функции G 10, G 11 программируются отдельными кадрами.

Номер инструмента задается по адресу T.

Количество инструментов -12.

Формат адресов, реализуемых в УЧПУ (табл. 17.5):

N03.X+043.Z+043.U+043W+043.F023.T2.S1-4.D043

C+043.Q+043.R+043.B3.H3.L2.P11.E.G2.ПС

Таблица 17.5

Значения символов адресов

Символ	Значение символа
A	Припуск под чистовую обработку
B	С какого кадра повторение
C	Фаска под углом 45°
D	Выдержка
E	Функция подачи (быстрый ход)
F	Функция подачи (рабочая подача)
H	Число повторений
L	Цикл
M	Вспомогательная функция
N	Номер кадра
P	Глубина резания, ширина резца
Q	Галтель
R	Дуга
G	Подготовительная функция
S	Скорость главного движения
T	Функция инструмента
U	Перемещение по оси X в приращениях
W	Перемещение по оси в приращениях
X	Перемещение по оси X в абсолютных значениях
Z	Перемещение по оси в абсолютных значениях
	Конец кадра (ПС)

Постоянные циклы задаются по адресу L (табл. 17.6).

Перечень постоянных циклов, реализованных в УЧПУ

Постоянный цикл	Функция, выполняемая устройством
L 01	Цикл нарезания резьбы наружной, внутренней, цилиндрической, конической, многопроходной, однопроходной
L 02	Цикл прорезания прямоугольных канавок
L 03	Цикл «Петля» при наружной обработке
L 04	Цикл «Петля» при внутренней обработке
L 05	Цикл «Петля» при торцевой обработке
L 06	Цикл глубокого сверления
L 07	Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой
L 08	Цикл черновой обработки с припуском и без припуска
L 09	Цикл обработки канавок
L 10	Цикл чистовой обработки
L 11	Цикл повторений участка программы

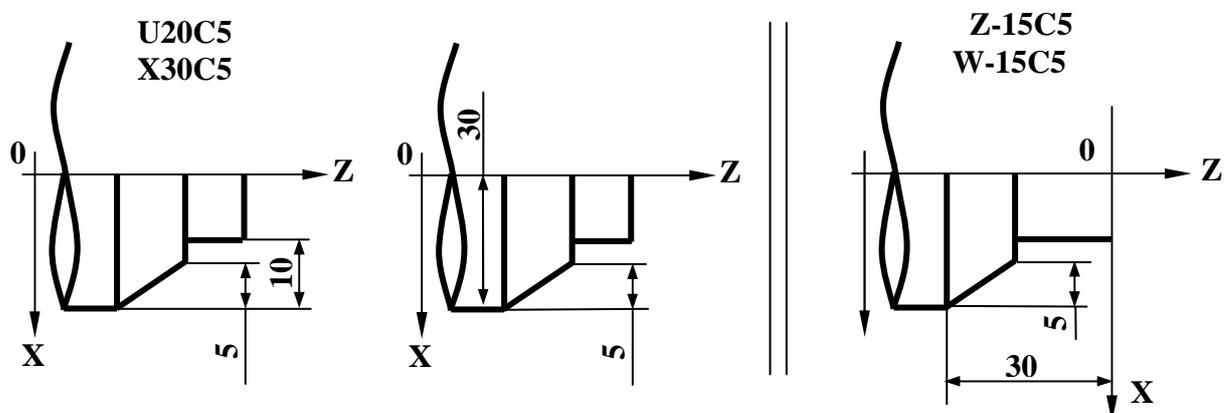
### 17.10. Программирование фасок, дуг, галтелей

*Фаска* под углом  $45^\circ$  задается адресом *C* со знаком и конечным размером по той координате, по которой идет обработка детали перед фаской.

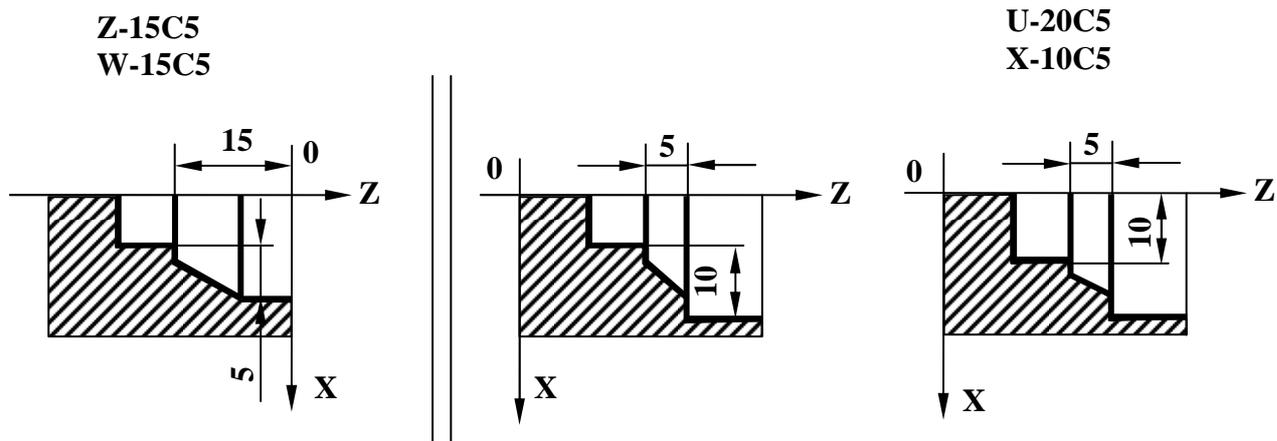
Знак под адресом *C* должен совпадать со знаком обработки по координате *X*.

Направление по координате *Z* задается только в отрицательную сторону.

Примеры записи фасок в кадре для наружной обработки:



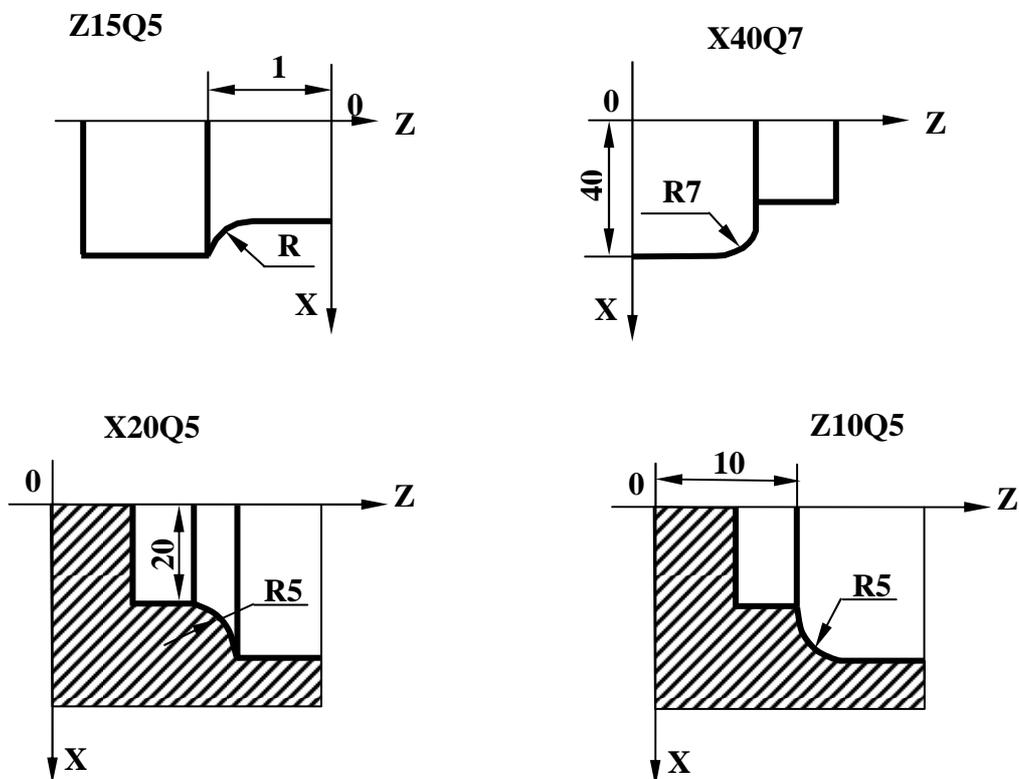
Примеры записи фасок в кадре для внутренней обработки:



Галтель задается адресом Q со знаком и конечным размером по той координате, по которой идет обработка детали перед галтелью.

Знак под адресом Q должен совпадать со знаком обработки по координате X. Направление по координате Z задается только в отрицательную сторону.

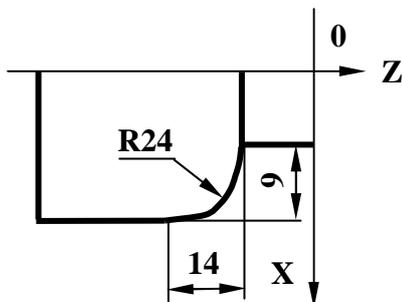
Примеры записи галтелей в кадре:



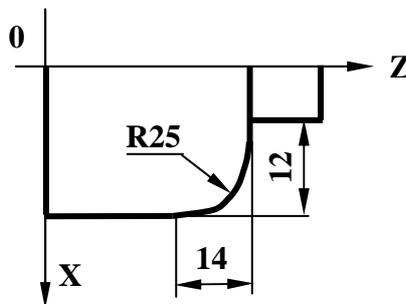
Для задания дуги указываются координаты конечной точки дуги и радиус под адресом R со знаком. Знак положительный при обработке по часовой стрелке, отрицательный – против часовой стрелки.

Примеры задания дуг в кадре:

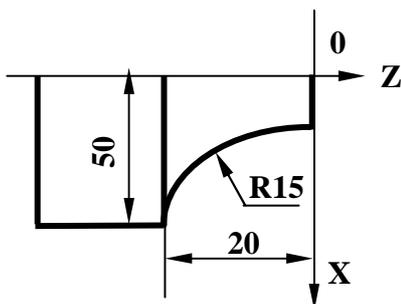
**U18W-14R24**



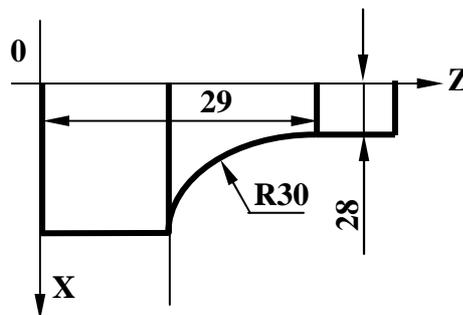
**U-24W-14R25**



**X50Z-20R-15**



**Z29X28R30**



### 17.11. Программирование постоянных циклов

Постоянные циклы при вводе с ПУ задаются в режиме диалога оператора с УЧПУ. Диалог назначается по набору номера цикла и нажатию клавиши , при этом на 8 строке экрана БОСИ высвечивается название цикла и параметра в соответствии с табл. 17.7. Адрес параметра высвечивается рядом с номером цикла. Оператор должен набрать численное значение параметра и нажать клавишу . При этом высвечивается название и адрес следующего параметра цикла. После ввода последнего параметра название цикла гасится (в режиме ручного управления информация о цикле гасится после отработки цикла).

Для циклов L 08, L 09 после ввода последнего параметра на 8 строке экрана БОСИ высвечивается надпись ОПИСАНИЕ ДЕТАЛИ. Теперь необходимо провести описание конечного контура детали. Циклы L 08, L 09

можно применять при обработке деталей с увеличивающимся (наружная обработка) или уменьшающимся (внутренняя обработка) диаметром. Описание детали может состоять из одного или нескольких кадров. Описание детали должно содержать не более 15 кадров, при этом кадры с фаской и галтелью считаются за два кадра. Признаком окончания описания детали служит функция M17. По этой же функции заканчивается описание контура для цикла L 10. Признаком конца участка программы, который будет повторяться в цикле L 11, является функция M18. Описание детали производится в сторону шпинделя. При обработке детали припуск под чистовую обработку по оси Z определяется автоматически путем деления заданного припуска по диаметру на 4.

Если при наборе числовой величины параметра оператор допустил ошибку, то необходимо перейти в режим индикации и вновь выйти на начало диалога.

Редактирование введенного кадра с циклом осуществляется путем стирания всего кадра и повторного набора (стирание фразы для кадров с циклами не действует).

Перед программированием цикла L01 необходимо запрограммировать исходную точку цикла. Координата X этой точки должна быть равна наружному диаметру резьбы при наружной резьбе или внутреннему диаметру при внутренней резьбе. Координата Z этой точки должна отстоять от координаты начала резьбы на величину, равную или больше двойного шага резьбы (для обеспечения разгона привода).

При многопроходной обработке резьбы параметр P выбирается меньше глубины резьбы. При однопроходной обработке резьбы параметр P выбирается равным глубине резьбы. Параметр A программируется без знака, а W – со знаком минус. При многопроходной обработке резьбы перед каждым очередным проходом резец смещается по координате Z с тем, чтобы резание проходило одной кромкой резца (режущая кромка с каждым проходом чередуется). Последний проход режется двумя кромками. Величина смещения рассчитана на резьбу с углом  $60^\circ$ . На последнем витке осуществляется выход резца (резьба со взбегом).

Перед программированием цикла L 02 необходимо запрограммировать исходную точку цикла. Координата Z исходной точки должна совпадать с координатой левой кромки канавки.

## Постоянные циклы при вводе с ПУ

Номер цикла	Название цикла в режиме «Диалог»	Содержание цикла	Параметр в режиме «Диалог»	Примечание
1	2	3	4	5
L 01	РЕЗЬБА	Цикл нарезания цилиндрических и конических резьб с автоматическим разделением на проходы	F – ШАГ W – ДЛИНА X – ДИМЕТР  A – НАКЛОН  P – ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ  C – СБЕГ	Шаг резьбы в мм Длина резьбы Внутренний диаметр резьбы  Наклон резьбы (размер равен приращению диаметров) для конических резьб. Для цилиндрической резьбы A=0  Максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)  C=1; сбег равен шагу резьбы C=0; сбег отсутствует
L 02	КАНАВКА	Цикл прорезания канавок с автоматическим разделением на проходы	D – ВЫДЕРЖКА X – ДИАМЕТР  A – ШИРИНА P – ШИРИНА РЕЗЦА	Выдержка времени в с Внутренний диаметр канавки Ширина канавки Ширина резца
L 03	Н ПЕТЛЯ	Цикл наружной обработки по координате Z с автоматическим отскоком и возвратом на BX в начальную точку	W – ДЛИНА	Длина петли
L 04	В ПЕТЛЯ	Цикл внутренней обработки по координате Z с автоматическим отскоком и возвратом на BX в начальную точку	W – ДЛИНА	Длина петли

L 05	Т ПЕТЛЯ	Цикл обработки по торцу с автоматическим отскоком и возвратом на БХ в начальную точку	X – ДИАМЕТР	Конечный диаметр подрезаемого торца
L 06	СВЕРЛЕНИЕ	Цикл глубокого сверления с автоматическим разделением на проходы	P – ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ W – ДЛИНА	Максимальная глубина сверления за один проход Глубина сверления
L 07	РЕЗЬБА	Цикл нарезания резьбы метчиком или плашкой	F – ШАГ W – ДЛИНА	Шаг резьбы в мм Длина резьбы
L 08	Ц ОБРАБОТКА	Цикл многопроходной обработки из цилиндрической заготовки с автоматическим разделением на проходы	A – ПРИПУСК  P – ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ	Припуск под чистовую обработку (размер в диаметрах). Если обработка последняя, то A = 0 (размер в диаметрах)  Максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)
L 09	П ОБРАБОТКА	Цикл многопроходной обработки канавок с автоматическим разделением на проходы	A – ПРИПУСК  P – ГЛУБИНА РЕЗАНИЯ	Припуск под чистовую обработку (размер в диаметрах). Если чистовая обработка не предусмотрена, то A=0  Максимальная глубина резания за один проход (размер по радиусу)
L 10	Ч ОБРАБОТКА	Цикл чистовой обработки по контуру с заданного номера кадра	B – № КАДРА	Номер кадра начала описания контура детали
L 11	ПОВТОРЕНИЕ	Цикл повторения заданного участка программы	H – ЧИСЛО B – № КАДРА	Число повторений Номер кадра начала повторений

Цикл содержит: перемещение на рабочей подаче до координаты  $X$ , выдержку времени (если  $D$  не равно 0), возврат в исходную точку на быстром ходу, смещение по координате  $Z$  в положительную сторону на величину  $P$  и т.д. до достижения ширины канавки величиной  $A$ ,

Для обработки канавки с перекрытием параметр  $P$  задается меньше ширины резца, а параметр  $A$  необходимо уменьшить на эту разность.

Для однопроходной канавки параметры  $P$  и  $A$  задаются одинаковыми. Цикл заканчивается отскоком по оси  $X$  в исходную точку, по оси  $Z$  инструмент остается в точке последнего прохода.

Циклы L 03 и L 04 содержат: перемещение на рабочей подаче на величину  $W$  с учетом знака, отскок на 1 мм (направление отскока зависит от цикла), возврат на быстром ходу в исходную точку.

Цикл L 05 содержит: перемещение на рабочей подаче по оси  $X$ , отскок на 1мм по координате  $Z$  в положительную сторону, возврат на быстром ходу в исходную точку. В процессе обработки по мере изменения диаметра происходит переключение скорости шпинделя с целью поддержания постоянства скорости резания, если до цикла L05 была задана функция G 10.

Цикл L 06 содержит: перемещение на рабочей подаче в отрицательную сторону на величину  $P$ , возврат на быстром ходу в исходную точку, перемещение на быстром ходу в точку, отстоящую от точки предыдущего сверления на 3мм, перемещение на рабочей подаче на величину  $(P + 3)$  мм и т.д. до достижения глубины сверления  $W$ .

Цикл L 07 содержит: перемещение на подаче, равной  $F$ , на величину  $W$  с учетом знака, реверс шпинделя, возврат в исходную точку на подаче  $F$ .

После выполнения цикла L 07 продолжается вращение шпинделя в направлении, противоположном заданному до цикла.

Перед программированием цикла L 08 или L 09 необходимо запрограммировать исходную точку цикла. Для цикла L 08 такой точкой является начало заготовки (координата  $X$  равна диаметру заготовки, а координата  $Z$  равна координате  $z$  начала конечного контура детали). Для цикла L 09 перед программированием исходной точки измеряют максимальный припуск под обработку по всей детали, как по диаметру, так и по длине. Если учетверенный припуск по длине больше припуска по диаметру, то прибавляют учетверенный припуск по длине к размеру по диаметру, а

припуск по длине – к координате торца, что и будет являться координатой исходной точки цикла.

Если учетверенный припуск по длине меньше, чем припуск по диаметру, то для расчета исходной точки берется припуск по диаметру, а смещение по торцу определяется делением припуска по диаметру на 4.

Цикл L 08 применяется, когда заготовка детали имеет форму цилиндра. В этом случае обработка ведется параллельно образующей цилиндра.

Величина оборотов и подача задается перед циклом из расчета наименьшего диаметра конечного контура при наружной обработке и наибольшего диаметра при внутренней обработке.

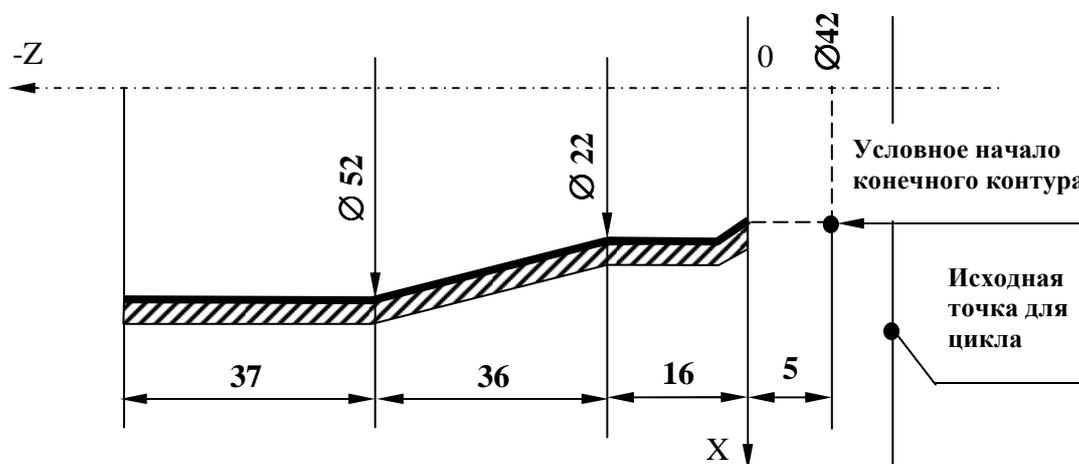
Цикл L 09 применяется в случаях, когда заготовка имеет форму, близкую к конечному контуру (например, канавка). В этом случае обработка ведется параллельно конечному контуру детали.

Циклы L 08, L 09 заканчиваются в конечной точке описания детали. Частота вращения шпинделя не восстанавливается. При обработке конечного контура изменение частоты вращения происходит между кадрами.

В случае если конечный контур детали для цикла L 09 начинается с фаски, галтели или конуса, то необходимо программировать в начале контура условную цилиндрическую ступень длиной, равной расчетной величине припуска по координате Z.

Перед программированием цикла L 10 необходимо запрограммировать исходную точку цикла, координаты которой должны совпадать с координатами начала конечного контура.

Пример программы с применением цикла L 09 к чертежу детали:



Максимальное отклонение заготовки от готовой детали составляет 5 мм по торцу и 12 мм по диаметру, поэтому перед циклом необходимо ввести инструмент в точку с координатами Z 5 ( $0 + 5 = 5$ ), X 42 ( $22 + 4 \times 5 = 42$ ), так как  $b > 12:4$ .

N 001 F0,12 S2 200T1	●	
N 002 Z5 X 42 E	●	
N 003 L09 A0 P2,7	●	
N 004 X22	●	
N 005 Z-16	●	Описание детали
N 006 X52 W-36	●	
N 007 W-37M17	●	
N 008M02	●	

Если бы максимальное отклонение заготовки от готовой детали составляло 2 мм по торцу и 12 мм по диаметру, то инструмент необходимо было бы вывести в точку с координатами X 36 ( $22 + 12$ ) и Z 3 ( $12 : 4=3$ ), так как  $2 < 12:4$ .

Второй кадр приведенной программы для этого примера был бы: N 002 Z3 X 36E. Все другие кадры остались бы прежними.

Если в детали необходимо сделать фаску вначале размером 2×2 мм, то программа будет следующей:

N 001 F0,12 S2 200T1	●	
N 002 Z5X42 E	●	
N 003 L09 A0 P2,7	●	
N 004 X18	●	} условная цилиндрическая ступень
N 005 Z0	●	
N 006 X22 C2	●	кадр с фаской
N 007 Z16	●	
N 008 X52 W-36	●	
N 009 W-37 M17	●	
N 010 M02	●	

Пример программы с применением циклов L 08, L 10:



## 17.12. Составление программы при вводе с перфоленты

В качестве программноносителя используется 8-дорожковая бумажная лента шириной 25,4 мм.

Программирование перфоленты допускается только в коде ИСО согласно табл. 17.8.

Таблица 17.8

Знак	Восьмеричный код	Знак	Восьмеричный код	Знак	Восьмеричный код	Знак	Восьмеричный код
Вш	210	I	261	D	104	P	120
Гт	011	2	262	E	305	Q	321
Пс	012	3	063	F	306	R	322
Вк	215	4	262	G	107	S	123
(	050	5	065	H	110	T	124
)	251	6	066	I	311	U	125
%	245	7	267	J	312	V	126
:	072	8	270	K	113	W	327
/	257	9	071	L	314	X	330
+	053	A	101	M	115	Y	131
-	055	B	102	N	116	Z	132
0	060	C	303	O	317	ЗБ	377
Пробел 000							

Началом программы является набор символов № 001, концом программы – набор символов M02 и ПС.

В системе проводится контроль по паритету каждого введенного символа с перфоленты. При ошибке по паритету в правом верхнем углу БОСИ индицируется «? ФС».

В программе на перфоленте могут записываться примечания, например, название программы.

Текст примечаний заключен в скобки и при вводе программы в память устройства этот текст не вводится.

Пример программы для набора на перфоленту: (вторая деталь)

N 001 F120 S2 200T1	●
N 002 20 X137 000 E	●
N 003 L8 A1000 P3000	●
N 004 X22 000 C2000	●
N 005 Z 20000	●
N 006 X52000 C2000	●
N 007 247800 Q7000	●
N 008 X80000 Q7000	●
N 009 Z65000	●
N 010 X 96000 W-19800	●
N 011 X 123000 Z-96000	●
N 012 W-12000	●
N 013 X13600 W11200 R14000	●
M17	
N 014 ZOE	●
N 015 X18000 E	●
N 016 F100 52 1000T2	●
N 017 L10 B4	●
N 018 D1100	●
N 019 MO2	●

Набор постоянных циклов фасок, галтелей и дуг ведется в той же последовательности, как с пульта оператора.

### 17.13. Порядок выполнения работы

- Изучить инструкцию по технике безопасности и методические указания.
- Выполнить упражнения по применению типовых операторов языка программирования при работе в режиме оперативного \_рограммирования.
- Получить у преподавателя задание и проанализировать конструкцию детали с позиции возможности обработки на конкретном технологическом оборудовании.
- Выбрать заготовку, схему базирования и крепления детали.

- Вычертить обрабатываемую деталь в рабочем положении с показом базовых поверхностей. Выбрать положение нулевой точки детали.
- Установить последовательность и технологические режимы обработки детали. Выбрать режущий инструмент и схему его расположения в резцедержке. Назначить номера корректоров для инструмента.
- Разработать управляющую программу.
- Установить заготовку и резцовые блоки в соответствующие гнезда резцедержки.
- Выполнить привязку устройства ЧПУ к параметрам станка:
  - привязку системы отсчета к станку;
  - привязку инструмента к системе отсчета;
  - привязку системы отсчета к детали.
- Ввести программу с клавиатуры пульта УЧПУ.
- Проверить цикл обработки в холостом режиме.
- Отредактировать программу.
- Обработать деталь на станке. Произвести контроль размеров и геометрии детали. При необходимости ввести размерную коррекцию.
- Составить отчет.

#### **17.14. Содержание отчета**

- Рабочий чертеж детали.
- Краткое описание особенностей оперативного программирования для станка 16K20ФЗС32 с устройством ЧПУ 2P22.
- Операционный эскиз обработки заготовки и схема привязки системы отсчета к станку.
- Описание технологической последовательности обработки заданной детали.
- Текст управляющей программы.
- Контрольный образец детали.

## **18. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ (фрезерная обработка)**

### **18.1. Расчет координат узловых точек и координатных приращений**

Программа обработки детали описывает движение определенной точки оси инструмента – центра инструмента. При взаимном перемещении инструмента и детали в процессе обработки центр инструмента проходит путь, называемый траекторией инструмента. Если принять, что радиус инструмента в процессе обработки детали остается неизменным, то траектория центра инструмента при контурной обработке является эквидистантой контура обрабатываемой детали.

Эквидистанта – это линия, все точки которой находятся на одном и том же расстоянии от данной линии. Например, эквидистанта прямой – это линия, параллельная данной; эквидистантой окружности является окружность, концентрическая данной. Точки пересечения и сопряжения геометрических элементов, образующих эквидистанту, принято называть узловыми.

Для того чтобы запрограммировать перемещения фрезы, необходимые для обработки данного контура, нужно рассчитать координаты всех узловых точек траектории движения ее центра относительно расчетной системы координат. Все эти точки будем называть узловыми точками эквидистанты, т.к. подавляющее большинство их лежит на эквидистанте.

Полученные координаты узловых точек эквидистанты округляются с точностью до цены импульса и заносятся в специальную таблицу. Ценой импульса называется величина перемещения исполнительных органов станка при подаче на них одного электрического импульса. В ряде случаев расчет координат узловых точек целесообразно производить сначала в «местной» системе координат, началом которой выбирается удобная для расчета точка, а затем выражать полученные значения относительно расчетной системы координат: например, при расчете координат точки окружности или эллипса за начало координат «местной» системы следует выбирать их центры.

Для расчета узловых точек эквидистанты применяют аппарат аналитической геометрии и тригонометрии. Существует множество способов задания основных геометрических элементов. Наиболее часто при расчете узловых точек встречаются следующие геометрические задачи:

- пересечение двух прямых;
- сопряжение двух прямых окружностью заданного радиуса;
- сопряжение прямой и окружности дугой заданного радиуса;

- касание прямой к двум окружностям;
- сопряжение двух окружностей третьей;
- пересечение двух окружностей;
- касание двух окружностей.

**Пример.** Заданы прямая П1 двумя точками Т1 и Т2 и прямая П2 двумя точками Т3 и Т4. Определить координаты центра сопрягающей дуги (рис. 18.1).

$$X_{T5} = \frac{K_1 X_1 - K_2 X_3 - Y_1 + Y_3 - P_1 + P_2}{K_1 - K_2}, \quad Y_{T5} = K_1 (X_5 - X_1) + Y_1 + P_1,$$

где

$$K_1 = \frac{Y_1 - Y_2}{X_1 - X_2}; \quad \varphi_1 = \arctg K_1;$$

$$K_2 = \frac{Y_3 - Y_4}{X_3 - X_4}; \quad \varphi_2 = \arctg K_2;$$

$$P_1 = \pm \left( \frac{r}{\cos \varphi_1} \right);$$

$$P_2 = \pm \left( \frac{1}{\cos \varphi_2} \right);$$

Приведенный пример показывает, что процесс ручного расчета координат узловых точек сопряжен со значительными затратами времени.

В программе обработки детали каждый участок траектории движения центра фрезы должен быть выражен его проекциями на оси координат. Проекции эти, т.е. координатные приращения, находятся вычитанием координат начальной точки участка из координат его конечной точки:

$$\Delta x_i = x_i - x_{i-1}; \quad \Delta y_i = y_i - y_{i-1}; \quad \Delta z_i = z_i - z_{i-1};$$

Найденные приращения выражаются в импульсах ( $N_x, N_y, N_z$ ) и записываются в специальную таблицу.

Правильность вычисления координатных приращений проверяется суммированием количества импульсов по каждой координате отдельно. Если траектория движения фрезы замкнута, то должны выполняться условия

$$\sum N_x = 0; \quad \sum N_y = 0; \quad \sum N_z = 0.$$

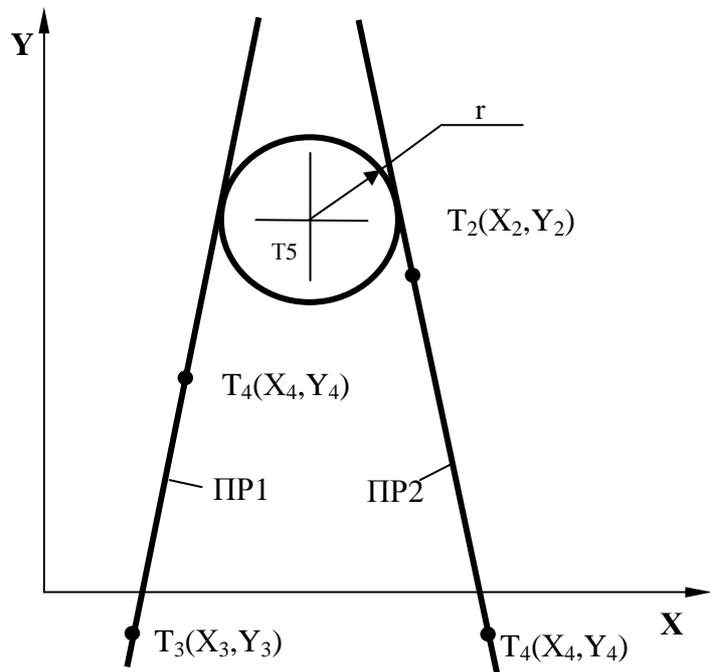


Рис. 18.1. Координаты центра сопрягающей дуги

Если одно из этих условий не выполняется, следует найти и устранить ошибку.

**Кодирование управляющих программ.** Программу обработки детали представляют последовательностью рабочей информации в виде кадров, записанных в кодах используемого интерполятора. Кадром называется последовательность слов, содержащих информацию об обработке одного участка траектории. Слова, как правило, содержат информацию об одной операции.

Программа может быть представлена в двух видах:

1. Кадрами переменной длины (адресный способ). В этом случае в каждом кадре программы записываются только те слова, которые изменяются по отношению к предыдущему кадру.

2. Кадрами постоянной длины на каждом участке записываются все слова независимо от числовых значений и повторяемости.

Для кодирования управляющих программ обработки деталей на станках с ЧПУ используются коды, принятые при создании того или иного конкретного типа устройства ЧПУ.

Современные устройства ЧПУ в большинстве случаев рассчитаны на кодирование программ на восьмидорожечной перфоленте в международном коде ISO или в коде EIA.

В соответствии с ГОСТ и рекомендациями ISO при кодировании управляющих программ обработки на металлорежущих станках используется 7-битный код на восьмидорожечной перфоленте шириной 25,4 мм. Символы кода приведены в табл. 18.1.

Контроль перфоленты осуществляется устройством ЧПУ на четность, поэтому восьмая дорожка используется для добавления проверочного восьмого бита в каждой кодовой комбинации (строке), состоящей из нечетного числа перфораций (пробивок).

Символу DEL (забой) соответствует строка с перфорациями на всех восьми дорожках, символу NUL (пусто) соответствует чистая строка без кодовых перфораций. При отработке устройством ЧПУ управляющих программ символы DEL и NUL считываются, но никаких сигналов на станок не передается. Программу составляют из кадров, каждый из которых обычно содержит не менее двух слов. Слово состоит из адреса, обозначенного буквой, и числа, отображающего величину перемещения либо скорость подачи, либо код какой-то другой функции.

Например, Y + 012345 обозначает передвижение стола станка в положительном направлении оси Y на величину 12345 дискрет (импульсов). Пример минимального по длине кадра: N076 M02, который означает, что номер кадра – 76, программа закончена. Наибольшая длина кадра зависит от его структуры, определяемой конкретной системой ЧПУ.

Таблица 18.1

Код перфоленты									Обозначение	Символы
8	7	6	5	4	1p	3	2	1		
		+	+					+	0	
		+	+						1	
		+	+				+		2	
		+	+				+	+	3	
		+	+			+			4	
		+	+			+		+	5	
		+	+			+	+		6	
		+	+			+	+	+	7	
		+	+	+					8	
		+	+	+				+	9	
+		+		+		+	+	+	/	Дробная черта
	+							+	A	Углов. размер вокруг оси X
	+						+		B	Углов. размер вокруг оси Y
	+						+	+	C	Углов. размер вокруг оси Z
	+					+			D	Третья функция подачи
	+					+		+	E	Вторая функция подачи
	+					+	+		F	Функция подачи
	+			+					I	Коорд. начальной точки дуги по оси X
	+			+					Y	Коорд. начальной точки дуги по оси Y
	+			+					K	Коорд. начальной точки дуги по оси Z
	+			+					L	Функция коррекции
	+			+					N	Номер кадра
	+			+					P	Размер третичного движения по оси X
	+			+					Q	Размер третичного движения по оси Y
	+		+				+		R	Размер третичного движения по оси Z
	+		+				+	+	S	Скорость вращения шпинделя
	+		+			+			T	Функция инструмента
	+		+			+		+	U	Размер вторичного движения по оси X
	+		+			+	+		V	Размер вторичного движения по оси Y
	+		+			+	+	+	W	Размер вторичного движения по оси Z

	+		+	+					X	Размер первичного движения по оси X
	+		+	+				+	Y	Размер первичного движения по оси Y
	+		+	+			+		Z	Размер первичного движения по оси Z
	+								G	Подготовительная функция
									NUL	Пусто
				+			+	-	LF	Конец кадра
				+				+	HT	Табуляция
+	+	+	+	+		+	+	+	DEL	Забой
+		+				+		+	%	Начало программы
		+		+			+	+	+	Плюс
		+		+		+		+	-	Минус

## 18.2. Программирование обработки на фрезерных станках с линейно-круговыми интерполяторами (НЗЗ-1М, НЗЗ-2М)

Применение линейно-круговых интерполяторов существенно уменьшает объем вычислительных работ при расчете управляющих программ, так как в этом случае отпадает необходимость аппроксимации окружностей.

Уменьшается соответственно и объем вводимой информации, что благоприятно сказывается на работе устройств ввода.

Ниже будет рассмотрена методика подготовки программ для станков, оснащенных системой числового программного управления Н-33.

В табл. 18.1 показан состав кадра и указано количество разрядов, занимаемых одним словом, без указания адреса.

Кадр начинается с номера N, затем, если нужен, идет адрес подготовительной функции G; заканчивается кадр символом LF.

Вообще, порядок следования адресов регламентируется только для двух первых (N и G) и двух последних (L и LF) адресов.

Остальные адреса в кадре можно ставить в произвольном порядке. Однако рекомендуется адреса в кадре располагать в порядке, приведенном в табл. 18.2.

Таблица 18.2

Адрес	Количество занимаемых разрядов	Содержание команды
N	3	Номер кадра
G	2	Подготовительная функция
X	7	Перемещение по оси X (в приращениях)
Y	7	Перемещение по оси Y
Z	7	Перемещение по оси Z
I	7	Координаты начальной точки дуги по оси X
J	7	Координаты начальной точки дуги по оси Y
K	7	Координаты начальной точки дуги по оси Z
F	4	Функция подачи (скорость подачи)
T	2	Функция инструмента
S	2	Функция шпинделя (скорость вращения)
M	2	Вспомогательная функция
L	3	Коррекция

### 18.2.1. Задание геометрической функции

Геометрическая информация задается в направлении и величине перемещения рабочих органов станка по адресам X, Y, Z, I, K. Выбор координатных осей и знака производится в соответствии с рекомендациями ISO. Исходя из этих рекомендаций стандартной системой координат является правая прямоугольная декартова система, связанная с заготовкой, установленной на станке, и согласованная с главными линейными направляющими станка. Положительным направлением движения рабочего органа станка является направление, которое вызывает увеличение положительного размера на заготовке. Программист может описать программу, не зная, инструмент приближается к заготовке или заготовка к инструменту. Он всегда может предполагать, что инструмент движется относительно систем координат неподвижной заготовки.

### 18.2.2. Подготовительная функция линейной интерполяции

Подготовительные операции задаются словом, содержащим адрес и двухзначный код подготовительной функции. Длительность действия команды, определяющей подготовительную функцию, определяется временем прихода другой, отличной от нее подготовительной функции. В том случае, если в кадре отсутствует слово G, подготовительной функцией выполняется команда предыдущего кадра, в котором встречается эта функция.

Линейная интерполяция осуществляется при включении в состав кадра подготовительной функции G 01. Кроме слов «подготовительная функция», кадр, определяющий обработку прямолинейного участка интерполяции, содержит информацию о величинах перемещения по координа-

там  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ , которые тождественны координатам конечной точки обрабатываемого участка, поскольку работа ведется в приращениях.

На рис. 18.2 показан участок траектории, подлежащей линейной интерполяции.

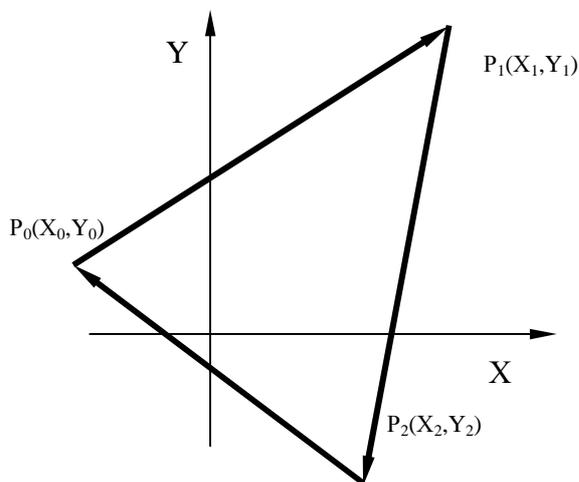


Рис. 18.2. Участок траектории, подлежащий линейной интерполяции

Пусть  $X_0 = -20$  мм;  $Y_0 = 10$  мм;  
 $X_1 = 35$  мм;  $Y_1 = 25$  мм;  
 $X_2 = 5$  мм;  $Y_2 = -15$  мм.

При перемещении инструмента  $P_0$  в  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_0$  соответствующие координатные приращения в импульсах будут равны:

$$\Delta X_1 = X_1 - X_0 = 5500;$$

$$\Delta Y_1 = Y_1 - Y_0 = 1500;$$

$$\Delta X_2 = X_2 - X_1 = -3000;$$

$$\Delta Y_2 = Y_2 - Y_1 = -4000;$$

$$\Delta X_3 = X_0 - X_2 = -2500;$$

$$\Delta Y_3 = Y_0 - Y_2 = 2400.$$

Поскольку перемещение осуществляется по замкнутому контуру, суммарное перемещение по каждой координате должно быть равно нулю:  $\sum \Delta X_i = 0$ ;  $\sum \Delta Y_i = 0$ ;  $\sum \Delta Z_i = 0$ .

Тогда фрагмент программы, обеспечивающий перемещение по контуру  $P_0 P_1 P_2 P_0$ , выглядит следующим образом:

```
N010 G01 x+005500 y+001500 LF
```

```
N010 x-003000 y-004000 LF
```

```
N012 x-002500 y+002500 LF
```

### 18.2.3. Подготовительные функции круговой интерполяции (G02, G03)

Кадром, посредством которых осуществляется круговая интерполяция, должен предшествовать кадр выбора плоскости обработки. Этот кадр должен помещаться в начале программы. Выбор плоскости обработки осуществляется следующими подготовительными функциями:

G17 – выбор плоскости обработки XY;

G18 – выбор плоскости обработки XZ;

G19 – выбор плоскости обработки YZ.

Например: N 001 G17 LF

Управляющая программа обработки участка, ограниченного дугой окружности, при круговой интерполяции должна содержать информацию:

– о направлении кругового движения (против или по часовой стрелке);

– о координатах конечной точки дуги, заданных приращениями с их значениями ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ );

– о координатах начальной точки дуги относительно ее центра по адресам I, J, K .

Знаки по этим адресам всегда положительны, так как радиус дуги  $R = \sqrt{I^2 + J^2}$  . Координаты начальной точки дуги относительно расчетной системы координат не записываются, так как инструмент будет находиться в точке начала дуги, определенной в результате обработки предыдущего кадра. В одном кадре может быть запрограммирована только дуга, целиком лежащая в каком-либо квадранте. Если дуга одной окружности расположена в одном квадранте, при программировании она разбивается на участки, удовлетворяющие указанному условию, и для каждого участка необходимо программировать соответствующий кадр.

Пример участка, подлежащего круговой интерполяции, показан на рис. 18.3. Пусть опорные точки участка эквидистанты и центры окружностей определены в расчетной системе координат XOY:

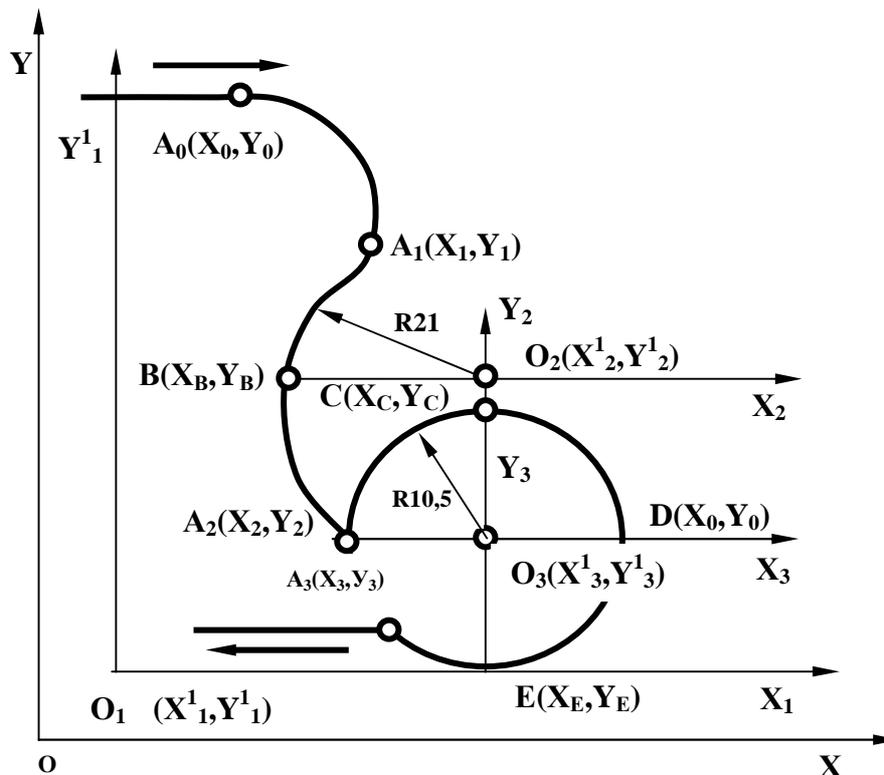


Рис. 18.3. Участок, подлежащий круговой интерполяции

$A_0 (30,60)$ ;  $A_1 (50,50)$ ;  $A_2(52,32)$ ;  $A_3 (53,18)$ ;  $O_1 (15,15)$ ;  $O_2 (70,42)$ ;  $O_3 (60,25)$ . Направление движения инструмента показано стрелкой.

Рассмотрим последовательность расчетных операций для каждого участка. Участок  $A_0A_1$  расположен в одном квадранте, следовательно, может быть определен одним кадром управляющей программы. Рассчитаем приращения координат конечной точки участка ( $A_1$ ) относительно расчетной системы координат, которые, впрочем, будут тождественны координатам этой точки относительно координат  $X_1, O_1, Y_1$ :

$$x_1 = x_2 - x_0 = 50 - 30 = 20 \text{ мм}; \quad y_{01} = y_0 - y_1 = 50 - 60 = -10 \text{ мм}.$$

Далее необходимо определить координаты начальной точки ( $A_0$ ) относительно центра ее окружности. Как видно на рис. 18.3:

$$x_{01} = x_0 - x_1 = 30 - 15 = 15 \text{ мм}; \quad y_{01} = y_0 - y_1 = 60 - 15 = 45 \text{ мм},$$

где  $x_{01}, y_{01}$  – координаты точки  $A_0$  в системе координат  $X_1 O_1 Y_1$ , начало которой является центром дуги  $A_0A_1$ . Значения  $x_{01}$  и  $y_{01}$  ставятся в соответствии с адресами  $I$  и  $J$ , всегда с положительным знаком. Таким образом, кадр программы, осуществляющей круговую интерполяцию участка  $A_0A_1$  с учетом цены импульса  $\Delta = 0,01$  м, имеет вид

N 011 G 02 x + 002000 y - 001000 I + 001500 J + 004500 LF

Здесь подготовительная функция G 02 указывает, что круговая интерполяция осуществляется по часовой стрелке.

Участок  $A_1A_2$  расположен во втором и третьем квадрантах, следовательно, должен быть представлен двумя участками  $A_1B$  и  $BA_2$ , расположенными полностью в одном квадранте.

Определим координату точек  $A_1B$  и  $A_2$  в системе координат  $X_2O_2Y_2$ .

$$x_{12} = x_1 - x_2 = 50 - 70 = -20; \quad y_{12} = y_1 - y_2 = 50 - 42 = 8; \quad x_B = -R = -21 \text{ мм}; \quad y_B = 0.$$

$$\text{Тогда } \Delta x_B = x_B - x_{12} = -21 - (-20) = -1 \text{ мм}; \quad \Delta y_B = y_B - y_{12} = 0 - 8 = -8 \text{ мм};$$

далее:  $x_{22} = x_2 - x'_2 = 52 - 70 = -18 \text{ мм};$

$$y_{22} = y_2 - y'_2 = 32 - 42 = -10 \text{ мм};$$

$$\Delta x_2 = x_{22} - x_B = -18 - 0 = -18 - (-21) = 3 \text{ мм};$$

$$\Delta y_2 = y_{22} - y_B = -10 - 0 = -10 \text{ мм}.$$

Таким образом, участок  $A_1A_2$  может быть определен двумя кадрами:

N 012 G 03 X - 000100 y - 000700 I + 002000J + 000700 LF

N 013 X + 000400 E - 001000 I + 002100

Здесь в кадре N 013 опущена подготовительная функция G 03, так как она указана в предыдущем кадре.

Участок  $A_2A_3$  расположен в четырех квадрантах, поэтому должен быть представлен четырьмя участками –  $A_2C, CD, DE, EA_3$ . Как и в предыдущем случае, определим координаты точек в системе координат  $X_3O_3Y_3$ .

Координаты точки  $A_2$ :

$$X_{23} = x_2 - x_3 = 52 - 60 = -8; \quad y_{23} = y_2 - y_3 = 32 - 25 = 7.$$

$$\text{Координаты точки } C - X_C = 0; \quad Y_C = R = +10,5;$$

Координаты точки D –  $Y_D = R = -10,5$ ;  $Y_D = 0$ ;  
 Координаты точки E –  $Y_E = C$ ,  $Y_E = -P = -10,5$ ;  
 Координаты точки A –  $X_{33} = X_3 - X'_3 = 53 - 60 = -7$ ;  
 $Y_{33} = Y_3 - Y'_3 = 18 - 25 = -7$ .

Далее определим координатные приращения конечной точки каждого участка

$\Delta X_E = X_E - X_{23} = 0 - (-8) = +8$ ;       $\Delta Y = Y_C - Y_{23} = 10,5 - 7 = 3,5$ ;  
 $\Delta X_D = X_D - X_C = 10,5 - 0 = 10,5$ ;       $\Delta Y_D = Y_D - Y_C = 0 - 10,5 = -10,5$ ;  
 $\Delta X_E = X_E - X_D = 0 - 10,5 = -10,5$ ;       $\Delta Y_E = Y_E - Y_D = -10,5 - 0 = -10,5$ ;  
 $\Delta X_3 = X_{33} - X_E = -7 - 0 = -7$ ;       $\Delta Y_3 = Y_{33} - Y_E = -7 - (-10,5) = 3,5$ .

Зная координатные приращения конечной точки и координаты начальной точки, можно записать кадры программы для каждого участка:

```

N014 G02 x+000800 y+000350 I+000800 J+000700 LF
N015      x+001050 y-001050                J+001050 LF
N016      x-001050 y-001050 I+001050                LF
N017      x-000700 y+000350                J+001050 LF
  
```

Следует отметить, что координаты опорных точек должны быть определены с помощью аппарата аналитической геометрии и тригонометрии.

#### 18.2.4. Подготовительные функции коррекции (G41÷G43; G51÷53)

Слово «коррекция» состоит из адреса L и трехзначного цифрового кода коррекции  $A_1 - A_3$  и стоит в кадре на последнем месте. Цифры  $A_2$  и  $A_3$  определяют номер корректора от 1 до 18. Каждому такому номеру соответствует набираемое на пульте коррекций устройства четырехразрядное число со знаком, т.е. число A, лежащее в диапазоне от минус 9999 до плюс 9999 дискрет. При задании подготовительных функций G41÷G43 знак коррекции, независимо от набранного на пульте числа, будет «+», при G51÷53 – «-».

Подготовительная функция в этих случаях действует так же, как при задании функций G 01 ÷ G 03.

Цифра  $A_1$  может принимать значения от 1 до 7 включительно. При линейной интерполяции  $A_1$  определяет координаты, которые должны быть скорректированы.

Если координатам X, Y, Z присвоить соответствующие коды  $2^0$ ,  $2^1$ ,  $2^2$ , то комбинация корректируемых координат определяется суммой их кодов. Например, при необходимости корректировки перемещение по осям Y и Z,  $A_1 = 0 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^2 = 6$ . При круговой интерполяции цифра  $A_1$  принимает значения только 1 и 2. Если начальная точка дуги лежит на горизонтальной оси, то  $A_1 = 1$ , если на вертикальной –  $A_1 = 2$ .

Коррекция геометрической информации при линейной интерполяции осуществляется путем алгебраического сложения геометрической информации с величиной коррекции.

Рассмотрим примеры коррекции траектории движения инструмента.

**Пример 1.** Пусть на пульте коррекции переключателем № 07 набрано число -2932. Тогда при обработке кадра:

N011G01x-12895L107LF перемещение по оси X будет равно  
 $X = -12895 + (-2932) = -015827$ .

В этом кадре вид подготовительной функции не влияет на знак коррекции. Этот знак определяется лишь знаком набранной на переключателе коррекции. При тех же данных на пульте коррекции при отработке кадров:

N012 G41 x-012895 L107 LF

N013 G51 x-012895 L107 LF

перемещение по X будет равно:

$x_{12} = -12895 + 2932 = 9963$  и  $x_{13} = -12895 + (-2932) = -15827$

В этом случае знак коррекции определяется видом подготовительной функции. При G41 коррекция берется с положительным знаком, а при G51 – с отрицательным, независимо от знака числа на пульте коррекции.

**Пример 2.** Фрагмент программы траектории движения инструмента имеет следующий вид:

N014 G01 L101 LF

N015 G01 x+00382 L202 LF

N016 G51 L309 LF

N017 G41 x-008394 y+093200 L 705 LF

На пульте коррекции набраны следующие числа:

№ 1 – (-0234), № 2 – (+1795), № 5 – (-0832), № 9 – (+5000).

Тогда при отработке кадра N014 осуществляется коррекция координаты X (так как в слове L 101  $A_1 = 1$ ) на величину - 234, набранную на переключателе № 1 пульта коррекции. Фактическое перемещение при отработке этого кадра будет равно:

$x = 0 + (-0234) = -234$ ;  $y = 0$ ;  $z = 0$ .

При отработке кадра N016 будет осуществлена коррекция координаты Y ( $A_1 = 2$ ) на величину «+1795» (переключатель 2). Тогда значения скорректированных координат будут:

$X = 00382$  (не корректируется),  $Y = 0 + 1795 = 1795$ .

В кадре N016 осуществляется коррекции по координатам X и Y ( $A_1=3$ ) на величину «5000». Обратим внимание на следующее обстоятельство: несмотря на то, что на переключателе № 9 пульта коррекции набрано положительное число (+5000), коррекция будет осуществляться с

отрицательным знаком, так как в кадре указана подготовительная функция G51. Учитывая это, откорректированная геометрическая информация будет следующей:

$$X = 0 + (-5000) = -5000. \quad Y = 0 + (-5000) = -5000.$$

В кадре N017 предусмотрена коррекция по трем осям X, Y, Z на величину +832 (переключатель № 5).

Здесь так же, как и в предыдущем кадре, знак коррекции (+) определяется подготовительной функцией G41. Тогда с учетом коррекции по координатам будет осуществлено перемещение:

$$X = -008394 + 832 = -7562;$$

$$Y = 03200 + 832 = 94032;$$

$$Z = 0 + 832 = 832.$$

Коррекция геометрической информации дуги кривой интерполяции осуществляется только для дуг окружностей, начальная и конечная точка которых лежит на осях координат. Осуществляется указанная коррекция путем алгебраического сложения абсолютной величины соответствующей геометрической информации (I, J, K, X, Y, Z) с заданным значением коррекции.

При перемещении инструмента по контуру A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>0</sub> фрагмент управляющей программы выглядит следующим образом (рис. 18.4).

N021 G02 x+003000 y+003000 I+003000 LF

N022 x+003000 y-003000 J+005000 LF

N023 x-003000 y-003000 I+003000 LF

N024 x-003000 y+003000 J+003000 LF

В этом случае инструмент перемещается по окружности 3000. При необходимости движения по окружности радиуса 4000 необходимо ввести коррекцию по 1000 единиц. С этой целью в каждый кадр включается слово «коррекция». Тогда фрагмент управляющей программы выглядит таким образом:

N021 G42 x+003000 y+003000 I+003000 L101 LF

N022 x+003000 y+003000 J+003000 L201 LF

N023 x-003000 y-003000 I+003000 L101 LF

N022 x-003000 y-003000 J+003000 L201 LF

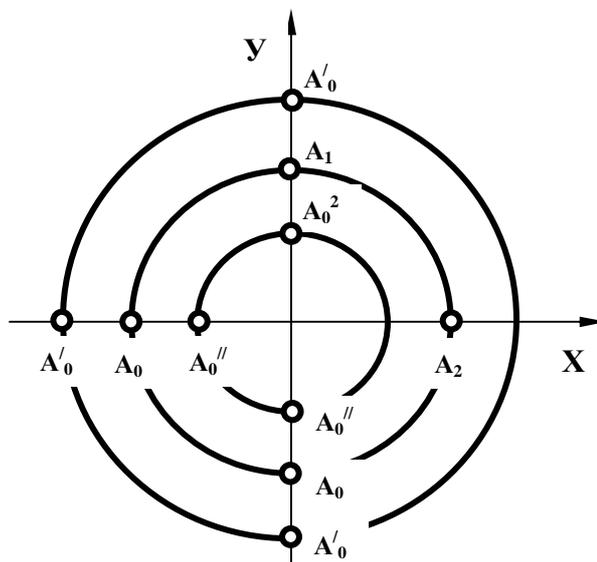


Рис. 18.4. схема перемещения инструмента по контуру A<sub>0</sub>, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>0</sub>

Если на переключателе № 1 набрано число 1000, то при обработке кадров приведенной программы получим перемещение инструмента по окружности радиуса 4000. Указание на необходимость положительной коррекции содержится в слове «подготовительная функция» G42. Здесь цифра 4 указывает, что коррекция берется с положительным знаком.

В случае движения инструмента против часовой стрелки в кадрах необходимо использовать функции G43 и G53.

В устройстве числового программного управления предусмотрена возможность коррекции изменения радиуса фрезы только в тех программах, которые задают движение инструмента по прямым, параллельным осям координат и дугам окружностей, начальная и конечная точки которых лежат на осях координат.

На рис. 18.5 изображен чертеж детали, удовлетворяющий указанным требованиям.

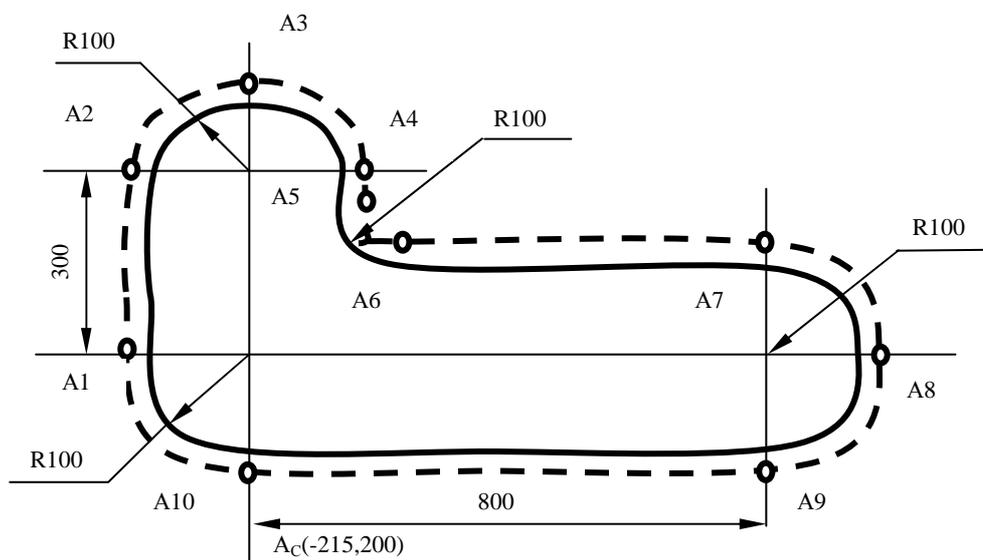


Рис. 18.5. Чертеж детали с коррекцией изменения радиуса фрезы

Необходимо составить программу обработки детали по контуру фрезой радиусом 30 мм с учетом возможности его уменьшения (например, в результате износа).

```

N101 G17 LF
N102 G41 y+030000 L101 LF
N103 G52 x+013000 y+013000 I+013000 L101 LF
N104 x+013000 y-013000 J+013000 L201 LF
N105 G51 y-010000 L101 LF
N106 G43 x+007000 y=007000 I+013000 L201 LF
N107 G51 x+060000 L201 LF
N108 G52 x+013000 y-013000 I+013000 L201 LF

```

N109 x-013000 y-013000 I+014000 L101 LF  
N110 G41 x-080000 L201 LF  
N111 G52 x-013000 y-013000 I+013000 L201 LF

Значение коррекции устанавливается на переключателе № 1 и может иметь любой знак, так как знак коррекции в программе определяется подготовительной функцией.

При линейной интерполяции коррекция может быть отменена при помощи подготовительной функции G40 – «отмена коррекции», задание и осуществление этой операции возможно только при предварительном задании в программе одной из подготовительных функций G01, G41 или G 51. Команда «отмена коррекции» осуществляет взятые коррекции с обратным знаком.

Пример: N001 G40 L613 LF

Если переключателю №13 соответствует число 200, то в результате отработки этой команды фактические перемещения будут:

$x=0$ ;  $y=0+200=200$ ;  $z=0+200=200$ .

#### **18.2.5. Коррекция траектории с использованием блока «эквидистанта»**

Блок «эквидистанта» предназначен для корректирования тех программ, которые задают движение рабочего инструмента по контуру, образованному сопряженными дугами, начальные и конечные точки которых не лежат на осях (гладкому контуру), и отрезками прямых, не параллельными осям координат. Запрещается производить изменение величины коррекции радиуса фрезы во время отработки программы. При необходимости осуществить упомянутое изменение необходимо предварительно осуществить отход от контура по нормали. Радиус скорректированной дуги должен быть не менее 10 единиц дискретности. Возможная величина изменения радиуса фрезы –  $\pm 255$  дискрет, т.е.  $\pm 2,55$  мм. При отходе инструмента от обработанного контура по прямой, не параллельной осям координат, необходимо в этом кадре использовать функции G50 .

Подготовительные функции G40 – G43 и G51 – G53 участия в расчете эквидистанты не принимают и поэтому при использовании блока «эквидистанта» применяется функция G01 – G03. Подход рабочего инструмента к детали должен происходить по нормали к обрабатываемому контуру, причем подход возможен как к прямолинейному участку контура, так и к участку, образованному дугой окружности. При изменении радиуса фрезы возможен подход как к внешнему, так и внутреннему контуру (рис. 18.6). При подходе к внешнему контуру (величина перемещения при увеличении радиуса фрезы увеличивается) первая цифра  $A_1$  принимает значение 0, при подходе к внутреннему контуру – 8.

Если в кадре подхода заданы перемещения  $\Delta x$  и  $\Delta y$  и на пульте коррекций набрана величина изменения радиуса фрезы  $\Delta R$ , то блок «эквидистанта» рассчитывает координатные поправки.

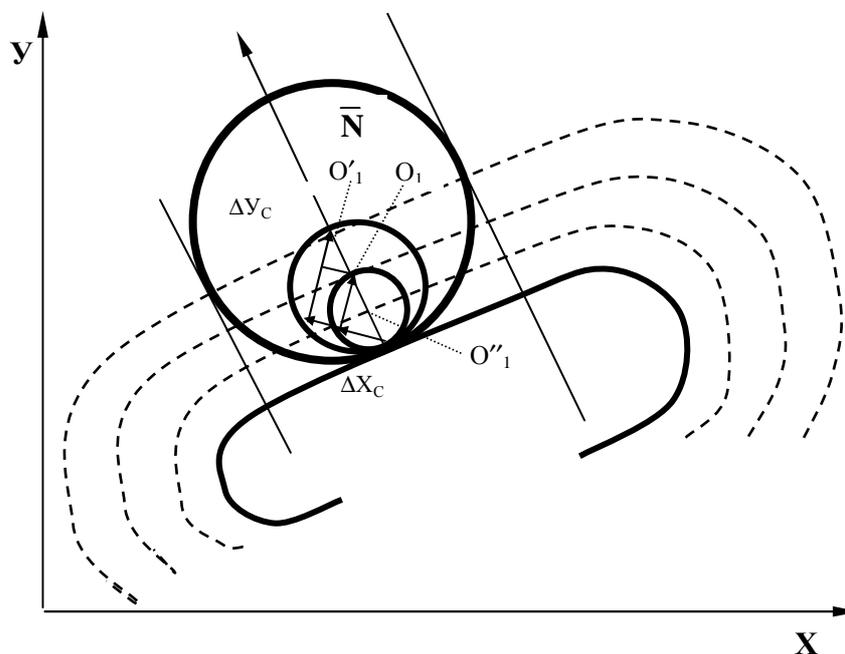


Рис. 18.6. Подход к контуру при изменении радиуса фрезы

$$\Delta x_K = \Delta R \cdot \sin \varphi; \quad \Delta y_K = \Delta R \cdot \cos \varphi;$$

$$\sin \varphi = \frac{|\Delta x|}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}; \quad \cos \varphi = \frac{|\Delta y|}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}}.$$

Эти поправки суммируются с координатными приращениями, заданными в кадре, в случае подхода к внешнему контуру и вычитаются в случае подхода к внутреннему контуру.

При изменении радиуса фрезы коррекция участка контура, образованного дугой окружности, задается для внешнего контура цифрой 0, а для внутреннего цифрой 8. В этом случае расчет эквидистанты ведется следующим образом:

1. Рассчитываются поправки координатных начальных точек дуги  $X_{эн}, Y_{эн}, X_{эк}, Y_{эк}$ , которым присваиваются знаки соответствующих координат начальных точек (I, J, K) и параметров перемещений;

2. Далее корректируются координаты начальной точки (I, J, K) и параметры перемещения (X, Y, Z) на величину поправок  $X_{эк}, Y_{эк}$ , рассчитанных для конечной точки дуги предыдущего кадра.

3. После расчета поправок для конечной точки дуги данного кадра повторно корректируются параметры перемещения (X, Y, Z) с учетом полученных поправок.

В данном кадре рассчитываются поправки только для конечной точки дуги, так как абсолютные величины этих поправок являются абсолютными величинами поправок для начальной точки дуги следующего кадра. При обработке на сопряженных участках необходимо осуществить их программное сопряжение.

### 18.2.6. Программирование подачи

Скорость подачи задается словом, содержащим адрес F и следующую за ним функцию подачи, состоящую из четырех цифр ( $A_1 \div A_4$ ).

Для задания величины подачи используется код из трех цифр ( $A_2 \div A_4$ ).

Третья и четвертая цифры ( $A_3, A_4$ ) представляют собой число, равное с точностью до двух знаков величине скорости подачи в мм/мин. Если требуемая скорость задается с помощью трех или более цифр, необходимо ее округлить, например: 1650 → 1600.

Цифра  $A_2$  представляет собой десятичный множитель, величина которого на три больше количества цифр слова от запятой в числе, выражающем скорость подачи. Примеры кодирования скорости представлены в табл. 18.3.

Таблица 18.3

Код А	Скорость подачи, мм/мин	
	требуемая	отрабатываемая
750	4996	5000
712	1228	1200
624	245	240
557	57	57
483	8,3	8,3
372	0,72	0,7

Во всем диапазоне подач можно осуществлять любой вид интерполяции. Заданная функция подачи сохраняется до прихода другой отличной от нее, функции подачи.

Первая цифра функции подачи  $A_1$  определяет режим изменения скорости подачи: нормальной ( $A_1 = 0$ ) и с торможением до фиксированной скорости ( $A_1 = 4$ ).

При нормальном режиме автоматически происходит определение необходимости разгона или торможения при изменении значения скорости подачи в следующем кадре. Разгон происходит в начале кадра, торможение – в его конце, причем начало торможения определяется автоматически с таким расчетом, чтобы заданная в следующем кадре величина была дос-

тигнута до конца обрабатываемого кадра, а время торможения не превысило заданное для УЧПУ.

**Пример:** Пусть в программе предусмотрена следующая последовательность изменения скорости подачи:

N001.....F0750.....  
N002..... F0727.....  
N003..... F0610.....  
N004..... F0712.....  
.....  
N053..... F0735.....  
N054..... F0000.....

Описанная последовательность изменения скоростей приведена на рис. 18.7.

В кадре N001 происходит разгон до скорости 5000 мм/мин с последующим торможением в этом же кадре до скорости, заданной в последующем кадре. Причем момент начала торможения рассчитывается таким образом, что время торможения будет достаточным для достижения нулевой скорости. В кадрах N004-N052 будет поддерживаться скорость, заданная в кадре N004 (1200 мм/мин).

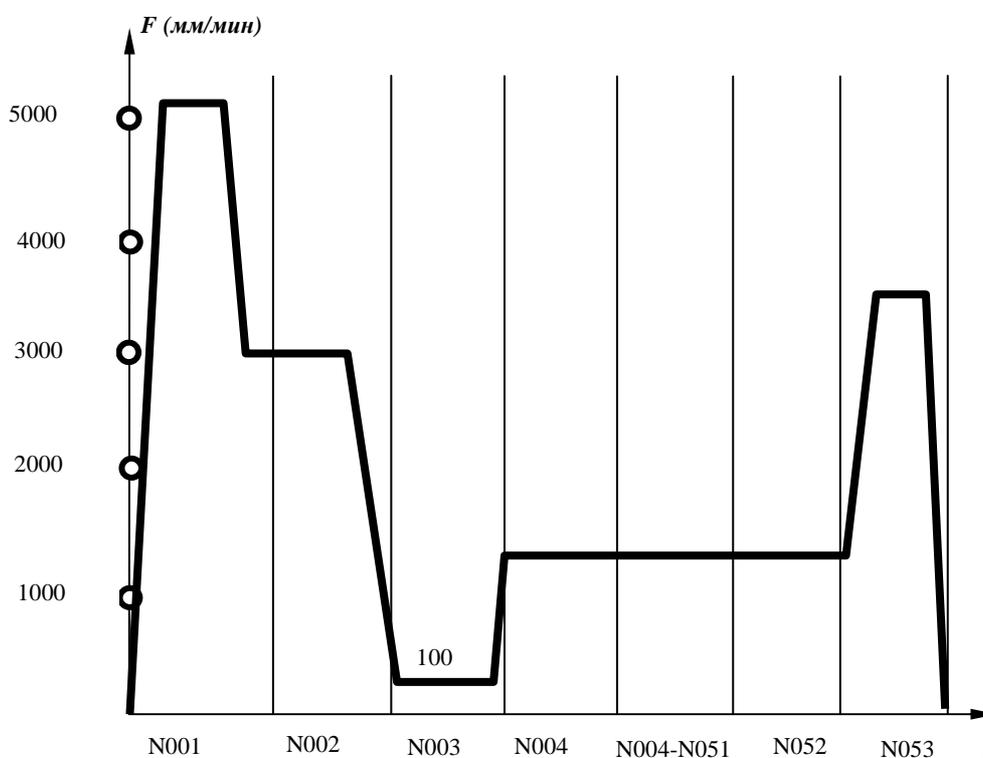


Рис. 18.7. Последовательность изменения скорости

Торможение до фиксированной скорости используется в случае резкого изменения направления движения. Этот режим действует только в том кадре, в котором он задан, и при смене кадра осуществляет предварительное торможение от скорости данного кадра до фиксированной скорости 240 мм/мин.

Режим с торможением до фиксированной скорости применяется при резком изменении направления движения.

### **18.2.7. Смешанные функции**

Смешанная функция задается словом, содержащим адрес М, и выражена двузначным десятичным кодовым числом. Возможно задание 100 различных функций от M00 до M99.

Смешанным функциям M00÷M02 присвоены постоянные значения:

M00 – безусловный останов отработки программы с дальнейшим пуском от кнопки РАБОТА на пульте оператора или станка. Кадр, в котором задана функция M00, полностью отрабатывается, и ответа не требуется;

M01 – условный останов отработки программы при включенной кнопке ТЕХН. ОСТАН. действует аналогично M00;

M02 – конец программы. Действует аналогично M00 и включает табло КП на пульте оператора.

В кадре может задаваться только одна команда «смешанная функция». Выполнение команды, заданной словом М (кроме M00÷M02), должно быть подтверждено сигналом «ОТВЕТ» от станка. До получения этого сигнала продолжается выполнение данного кадра, но следующий кадр не вводится, даже если данный кадр отработан.

### **18.2.8. Пример расчета управляющей программы**

Требуется обработать по контуру плиту, чертеж которой представлен на рис. 18.8.

Обработка производится концевой фрезой диаметром 8 мм. Для получения возможности использования блока «эквидистанта» подход к обрабатываемому контуру должен осуществляться по нормали.

Узловые точки эквидистанты имеют следующие координаты: 1(0,0); 2(15,94; 4,27); 3(54,9; 138,02); 4(77,3; 154,0); 5(112,88; 154); 6(140,658; 125,68); 7(173,1; 133,92); 8(198,18; 103,79); 9(190,7; 75,0); 10(235,66; 26,00); 11(0,00; 26,00).

Рассмотрим этапы разработки программы. Каждая программа должна начинаться символом %.

Если в программе будет осуществляться круговая интерполяция, то в первом кадре программы должна быть задана плоскость обработки. Таким образом, кадр N001 G17 LF задает Ху в качестве плоскости обработки.

Далее необходимо осуществить перемещение центра фрезы из точки 1 в точку 2. Вычислим координатные приращения:

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 15,94 - 0 = 15,94;$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 = -4,27 - 0 = -4,27.$$

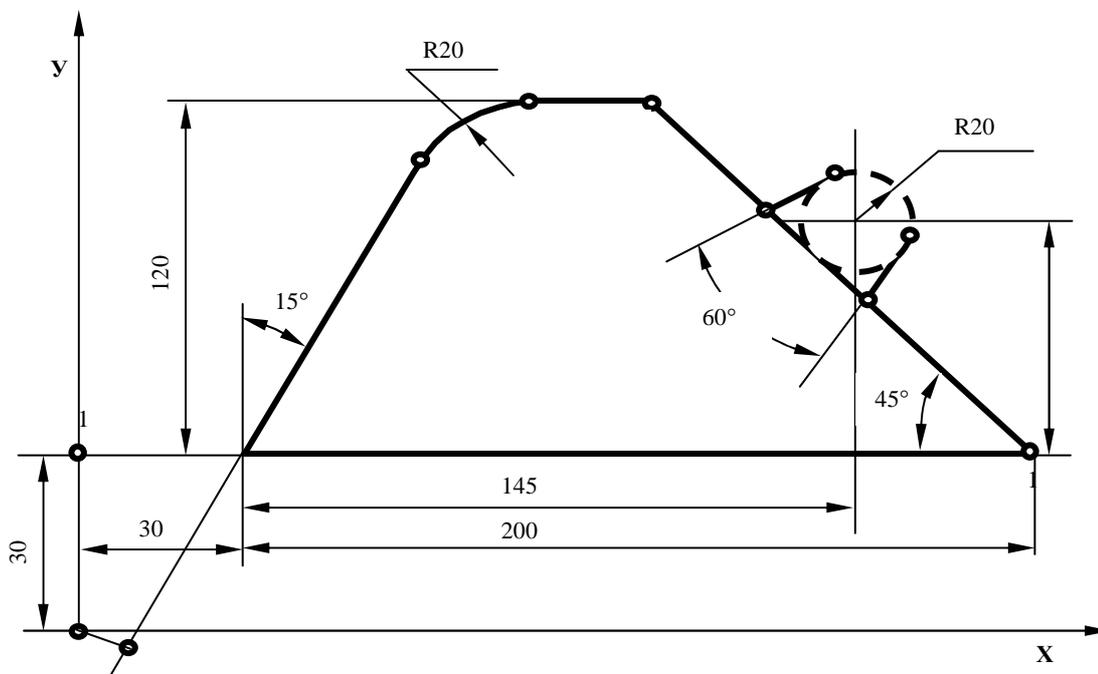


Рис. 18.8. Чертеж плиты

Зададим скорость подачи равной 5000 м/мин. Слово, определяющее эту подачу, – F0750 задает нормальный режим торможения ( $A_1 = 0$ ) и функцию подачи ( $A_2 A_3 A_4 = 750$ ).

Для коррекции траектории инструмента используем блок «эквидистанта». Так как на этом участке осуществляется подход к внутреннему контуру (координатные приращения с увеличением радиуса инструмента уменьшаются), то первой цифрой кода коррекции будет 8. Величину коррекции зададим корректором № 10.

Тогда N002 x+001594 y-000427 F0750 L810 LF. На участке 23 осуществлять коррекцию не требуется, но необходимо изменить скорость подачи на рабочую, например, 60 мм/мин. Тогда кадр, определяющий обработку участка 23, имеет следующий вид:

N003 x+003896 y+0014235 F0560 LF

В следующем кадре необходимо задать перемещение инструмента по дуге окружности, лежащей во втором квадранте. Движение осуществляется по часовой стрелке, следовательно, необходимо применить подготовительную функцию G02. Вычислим координатные приращения:

$$\Delta x = x_4 - x_3 = 77,3 - 54,9 = 22,4$$

$$\Delta y = y_4 - y_3 = 154,0 - 138,08 = 15,92$$

По адресам I и Y указываются координаты начальной точки дуги окружности относительно ее центра. Центр окружности имеет следующие координаты:  $X_{Ц} - 77,5$ ;  $Y_{Ц} - 130,00$ , следовательно, координаты точки 3 относительно центра будут равны:

$$x_0 = x_3 - x_{Ц} = 54,9 - 77,5 = -22,6 \text{ мм};$$

$$y_0 = y_3 - y_{Ц} = 138,08 - 130,00 = 8,08 \text{ мм}.$$

Для коррекции траектории используем слово L010. Таким образом имеем кадр

```
N04 G02 x+002240 y+001592 I+002260 J+000808 L010 LF
```

Заметим, что несмотря на то, что координата X точки 3 относительно центра окружности отрицательна, числовая информация, адресованная символами I и Y, берется всегда положительной.

Учитывая вышеизложенное, для участка 4 – 5 – 6 – 7 можно записать

```
N005 G01 x+003553 L F
```

```
N006 x+002755 y-000829 L010 LF
```

```
N007 x+003272 y+008829 L010 LF
```

Далее необходимо перемещать инструмент по окружности, лежащей в трех квадрантах. Такое перемещение можно задать следующими тремя кадрами:

```
N008 G02 x+001190 y+000008 I+000190 J+002392 L010 LF
```

```
N009 x+002400 y-002400 J+002400 L010 LF
```

```
N010 x-000082 y-000621 I+002400 L010 LF
```

Зададим движение на участке 8 – 9 – 10 – 11:

```
N01 G01 x-000744 y-002879 L010 LF
```

```
N012 x+004492 y-004900 L010 LF
```

```
N013 x-023566 LF
```

```
N014 y-003000 F0750 LF
```

```
N015 F0000 M01 LF
```

Последний кадр определяет торможение подачи до нуля и смешанной функцией M01 определяется конец программы

### **18.3. Лабораторная работа № 1**

#### **«Изучение режима ввода управляющей программы с пульта оператора УЧПУ НЗЗ-1М»**

Целью работы является изучение методики разработки управляющих программ и режимов ее ввода с пульта оператора устройства НЗЗ-1М.

Управляющая программа разрабатывается в соответствии с указаниями, изложенными в разделах 18.1 и 18.2.

### **18.3.1. Описание пульта оператора**

Пульт оператора предназначен для задания режимов работы вычислителя ручного ввода информации с блока декадных переключателей, коррекции скорости подачи, а также для индикации работы устройства. На панели пульта оператора (рис. 18.9) размещены следующие органы управления и индикации работы устройства:

- переключатель режимов работы устройства;
- переключатель коррекции скорости подачи;
- кнопки АДРЕС;
- кнопки РАБОТА, СБРОС, ПРИВОД, СБРОС ЧПУ;
- клавиша ТЕХН. ОСТАН;
- переключатель ручного ввода;
- световое табло с индикаторными лампами РАБОТА, ХУ, ХZ, YZ, ОХ, ОУ, ОZ, М, Т, КВ, ТО, КП, СБОЙ СТАНКА, СБОЙ ЧПУ, АВТОМ.

Переключатель режимов работы предназначен для установки одного из следующих режимов работы (рис. 18.10):

**РУЧНОЙ ВВОД, СБРОС, ОБРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ, ПОИСК КАДРА, ПОКАДРОВАЯ РАБОТА, УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.**

В режиме РУЧНОЙ ВВОД осуществляется ручной ввод геометрической и технологической информации с декадных переключателей преднабора по адресам, выбранных кнопками АДРЕС.

При установке переключателя в положение СБРОС происходит сброс устройства ввода и установки УЧПУ в исходное состояние при нажатии кнопки СБРОС ЧПУ, при нажатии кнопки СБРОС ПРИВОДА – установка в исходное состояние привода станка.

В режиме ПОИСК КАДРА осуществляется поиск кадра и останов по кадру, номер которого набран на трех младших разрядах декадных переключателей, при этом предыдущие кадры не обрабатываются. При совпадении номера набранного кадра с вводимым происходит останов фотосчитывающего устройства ФСУ.

В режиме ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ осуществляется поиск кадра и останов по кадру, номер которого набран, аналогично режиму ПОИСК КАДРА, только при этом происходит обработка всех технологических команд.

Режим УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА предусматривает автоматическую работу устройства с управлением как с пульта оператора устройства, так и с пульта управления станка.

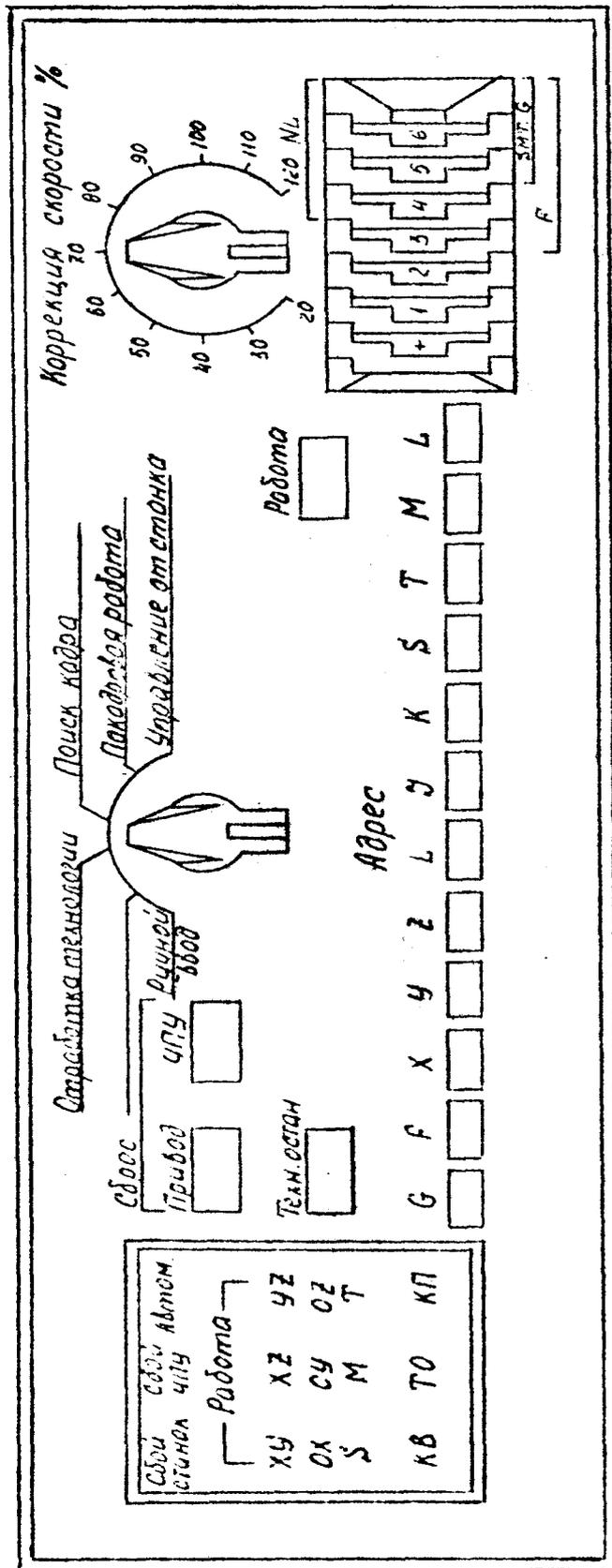


Рис. 18.9. Пульт оператора УЧПУ H33-1M

В режиме работы РУЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ с помощью соответствующих органов управления станка можно осуществлять перемещение по любой координате X, Y, Z, а также выполнять необходимые технологические команды.

В режиме ПОКАДРОВАЯ РАБОТА после отработки каждого кадра программа останавливается, и для отработки следующего кадра надо нажать кнопку РАБОТА на пульте оператора или кнопку ПУСК на пульте станка.

В режимах АВТОМАТ, ПОКАДРОВАЯ РАБОТА, ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ отработка технологических команд фиксируется на световом табло. Лампы S, T, M загораются при наличии в кадре технологических команд и гаснут по мере поступления ответов от станка о выполнении этих команд.

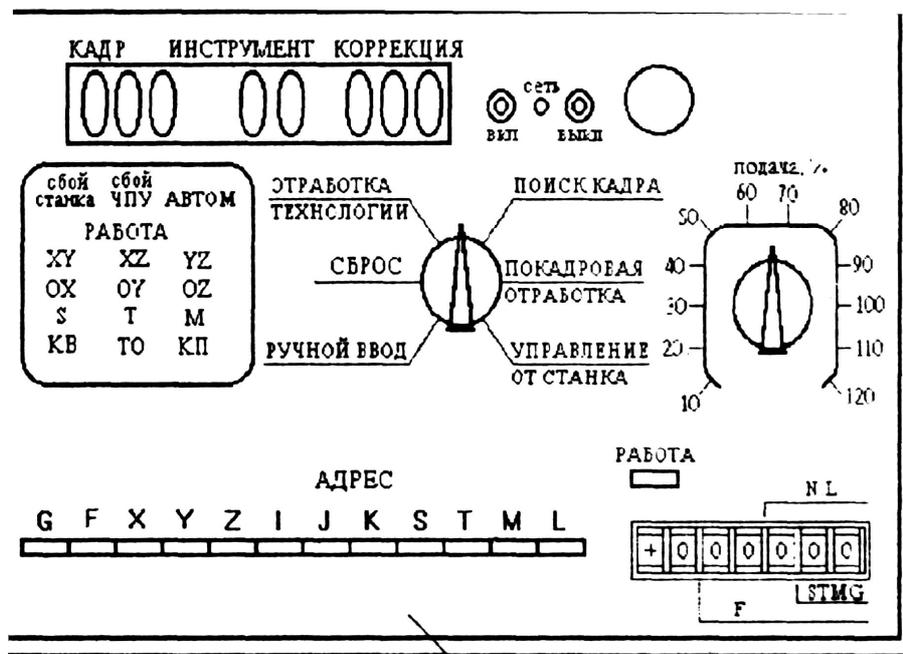


Рис. 18.10. Пульт переключения режимов работы

### 18.3.2. Порядок выполнения работы

- Получите у преподавателя чертеж детали, подлежащей обработке.
- Разработайте эскиз эквидистанты.
- Рассчитайте координаты опорных точек эквидистант.
- Рассчитайте координатные приращения.
- Составьте программу обработки детали.
- Подготовьте управляющую перфоленту на устройстве подготовки данных на ленте (УПДЛ).

- Используя режим РУЧНОЙ ВВОД, введите и отработайте подготовленную программу.
- Заправьте управляющую перфоленту в ФСУ устройства НЗЗ-1М.
- Исследуйте режим ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ.
- Исследуйте режим ПОИСК КАДРА.
- Исследуйте режим ПОКАДРОВАЯ РАБОТА.
- Исследуйте режим УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.

### **18.3.3. Содержание отчета**

- Эскиз обрабатываемой детали.
- Эскиз эквидистанты с обозначением опорных точек и их координат.
- Расчет координат опорных точек эквидистанты.
- Рукопись управляющей программы.
- Распечатка управляющей программы.
- Эквидистанта, полученная на координатографе.

### **18.3.4. Контрольные вопросы**

1. Назовите подготовительные функции линейной (круговой) интерполяции.
2. Запишите структуру слова, задающего перемещение по координатам X, Y, Z.
3. Как задается геометрическая информация при обработке дуги окружности?
4. Запишите структуру слова «ПОДАЧА» и объясните значение отдельных компонентов.
5. В каких случаях при программировании подачи применяется режим ТОРМОЖЕНИЕ ДО ФИКСИРОВАННОЙ СКОРОСТИ?

## **18.4. Лабораторная работа № 2**

### **«Программирование обработки сложной детали без коррекции траектории инструмента»**

Целью работы является изучение методики и получение практических навыков разработки управляющих программ сложных деталей обработки на станках, оснащенных устройствами числового программного управления УЧПУ НЗЗ-1М.

#### **18.4.1. Порядок выполнения работы**

- Получите чертеж детали, подлежащей обработке, у преподавателя.
- Составьте эскиз траектории движения инструмента. Обозначьте опорные точки.

- Рассчитайте координаты опорных точек, используя аппарат тригонометрии и аналитической геометрии.
- Рассчитайте координатные приращения. Составьте рукопись программы.
- Подготовьте управляющую программу па УПДЛ.
- Заправьте перфоленту в ФСУ.
- Проверьте управляющую программу в режиме ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ.
- Проверьте управляющую перфоленту на координатографе в режиме УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.

#### **18.4.2. Содержание отчета**

- Чертеж детали.
- Эскиз траектории инструмента с опорными точками и их координатами.
- Расчет координат опорных точек.
- Рукопись управляющей программы.
- Распечатка управляющей программы.
- Эскиз траектории инструмента, полученный на координатографе.

#### **18.4.3. Контрольные вопросы**

1. Что такое эквидистанта?
2. По каким адресам записывается геометрическая информация?  
Дайте определение каждого адреса.
3. Назовите подготовительные функции. Определите их назначение.
4. Назовите вспомогательные функции.
5. На какую часть дуги распространяется кадр программы с круговой интерполяции?

### **18.5. Лабораторная работа № 3**

#### **«Коррекция траектории инструмента при обработке негладких контуров»**

Целью работы является изучение методики разработки управляющих программ с коррекцией траектории инструмента. Работа является дальнейшим развитием работы № 2, так как коррекция траектории инструмента позволяет технологу и оператору в процессе работы производить его корректировку в зависимости от возникших технологических ситуаций.

##### **18.5.1. Порядок выполнения работы**

- В программу обработки детали, разработанную в лабораторной работе № 1, включите слова, задающие коррекцию инструмента.

- Подготовьте управляющую программу на УПДЛ.
- Заправьте перфоленту в ФСУ.
- Проверьте управляющую программу в режиме ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ.
- Установите на соответствующих корректорах значение величины коррекции, равное нулю, и получите эскиз траектории инструмента в режиме УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.
- Установите на соответствующих корректорах значение величины коррекции, заданное преподавателем, и получите эскиз траектории инструмента в режиме УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.

### **18.5.2. Содержание отчета**

- Рукопись программы.
- Распечатка программы.
- Совмещенные эскизы траектории инструмента без коррекции и с коррекцией, полученные на координатографе.

### **18.5.3. Контрольные вопросы**

1. По какому адресу записывается слово – «коррекция».
2. Запишите структуру слова коррекция.
3. Укажите диапазон изменения величины коррекции.
4. Какие значения приобретает цифра  $A_1$  при линейной (круговой) интерполяции.

## **18.6. Лабораторная работа № 4**

### **«Коррекция траектории с использованием блока ЭКВИДИСТАНТА»**

Целью работы является изучение методики коррекции траектории инструмента при обработке «гладких» контуров с помощью блока «экви-дистанта».

#### **18.6.1. Порядок выполнения работы**

- Получите чертеж детали, подлежащей обработке, у преподавателя.
- Составьте эскиз траектории движения инструмента. Обозначьте опорные точки.
- Рассчитайте координаты опорных точек, используя аппарат тригонометрии и аналитической геометрии.
- Рассчитайте координатные приращения.
- Составьте рукопись программы, включив в соответствующие кадры слова, задающие коррекцию траектории с помощью блока «экви-дистанта».

- Подготовьте управляющую программу на УПДЛ.
- Заправьте перфоленту в ФСУ.
- Проверьте управляющую программу в режиме ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ.
- Установите на соответствующих корректорах значение величины коррекции, равное нулю, и получите эскиз траектории инструмента в режиме УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.
- Измените на корректорах значение величины коррекции и получите эскиз скорректированной траектории в режиме УПРАВЛЕНИЕ ОТ СТАНКА.

### **18.6.2. Содержание отчета**

- Эскиз обрабатываемой детали.
- Эскиз траектории инструмента.
- Рукопись программы.
- Распечатка программы.
- Совмещенные эскизы траектории инструмента без коррекции и с коррекцией, полученные на координатографе.

### **18.6.3. Контрольные вопросы**

1. Запишите структуру слова «коррекция» с использованием блока «эквидистанта».
2. Укажите диапазон коррекции при использовании блока «эквидистанта».
3. Укажите минимальный радиус скруглений.
4. Дайте объяснения понятиям внешнего и внутреннего контуров.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ

1. Классификация и характеристика станков и систем ЧПУ по технологическим признакам: характеру управления рабочими органами; числу потоков информации; числу управляемых координат; степени интеграции с ЭВМ.
2. Системы координат станков с ЧПУ: система координат станка; система координат детали; система координат инструмента.
3. Системно-информационный анализ УЧПУ разных классов.
4. Основные функции технологической подготовки производства. Характеристика технологического обеспечения станков с ЧПУ.
5. Определение номенклатуры и анализ технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Требования к заготовкам.
6. Особенности и состав технологической оснастки и обеспечения станков. Способы настройки инструментов.
7. Экономическая и организационная эффективность применения станков с ЧПУ.
8. Маршрутные и технологические процессы обработки на станках с ЧПУ. Методы проектирования маршрутных технологических процессов: методы адресации; методы синтеза.
9. Операционные технологические процессы обработки на станках с ЧПУ. Этапы проектирования операций. Типовые схемы переходов. Выбор режимов резания. Последовательности обхода контура.
10. Особенности процессов обработки на многоцелевых станках.
11. Состав и порядок оформления технологической документации при обработке на станках с ЧПУ.
12. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ токарной группы. Составление расчетно-технологической карты.
13. Подготовка управляющих программ для устройств ЧПУ класса NC (SNC): обработка винтовых поверхностей и тел вращения.
14. Подготовка управляющих программ для токарных станков, оснащенных устройствами ЧПУ класса CNC: формируемые подпрограммы; стандартные подпрограммы.
15. Способы коррекции при токарной обработке. Параметрическое программирование.
16. Программирование токарной обработки с сокращенным описанием контура (SINUMERIK). Оперативное программирование.
17. Общая методика программирования сверлильных операций: выбор типовых переходов.
18. Реализация постоянных циклов при обработке на станках с ЧПУ сверлильно-расточной группы. Способы коррекции вылета инструмента.

19. Программирование расточных операций. Выбор оборудования и технологической оснастки.
20. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ фрезерной группы: схемы обработки контуров; плоских и объёмных поверхностей.
21. Виды и способы настройки на размер и коррекции инструмента при фрезеровании.
22. Программирование обработки на многоцелевых станках с ЧПУ. Особенности кодирования информации.
23. Формирование управляющей программы при обработке на многоцелевых станках: формат кадра; коррекция при программировании; сокращенное описание контура.
24. Диалоговые методы программирования на устройствах ЧПУ многоцелевых станков.
25. Уровни автоматизации подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ. Структура и классификация систем автоматизированного программирования (САП).
26. Технологическая схема систем автоматизированного проектирования, назначение ее структурных компонентов. Языки САП.
27. Средства подготовки и контроля управляющих программ для станков с ЧПУ.
28. Наладка станков с ЧПУ. Задачи наладки. Базирование и закрепление заготовок. Наладка и установка режущего инструмента.
29. Подготовка информации для составления управляющих программ. Кодирование информации.
30. Особенности технологической оснастки для станков с ЧПУ: классификация приспособлений, вспомогательного и режущего инструмента. Настройка режущего инструмента на размер вне станка.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование технологии: учеб. для студентов машиностроительных спец. вузов / И.М. Баранчукова [и др.]; под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. – М.: Машиностроение, 1990. – 416 с.
2. Тимирязев, В.А. Управление точностью гибких технологических систем / В.А. Тимирязев. – М.: НИИМАШ, 1983. – 65 с.
3. Воронин, Н.М. Автоматические линии из агрегатных станков / Н.М. Воронин, В.Б. Геннин, Ж.Э. Тартаковский. – М.: Машиностроение, 1982. – 552 с.
4. Ковшов, А.Н. Технология машиностроения / А.Н. Ковшов. – М.: Машиностроение, 1987. – 318 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. Том 1 / под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещеракова. – М.: «Машиностроение», 1985.
6. Применение адаптивных систем на станках с ЧПУ. – М.: НИИМАШ, 1974. – 123 с.
7. Михеев, Ю.Е. Система автоматического управления станками / Ю.Е. Михеев, В.Л. Сосонкин. – М.: Машиностроение, 1978. – 261 с.
8. Программное управление станками и промышленными роботами / В.Л. Косовский [и др.]. – М.: Высш. шк., 1986. – 287 с.
9. Ратмиров, В.А. Программное управление зубообрабатывающими станками / В.А. Ратмиров, П.М. Рашкович. – М.: НИИМАШ, 1983. – 46 с.
10. Гусев, И.Т. Устройство числового программного управления / И.Т. Гусев, В.Г. Елисеев, А.А. Маслов. – М.: Высш. шк., 1986. – 295 с.
11. Пуш, В.Э. Автоматические станочные системы / В.Э. Пуш, Р. Пигерт, В.Л. Сосонкин; под ред. В.Э. Пуша. – М.: Машиностроение, 1982. – 318 с.
12. Сборник задач и упражнений по технологии машиностроения: учеб. пособие для машиностроит. вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металлорежущие станки и инструменты» / В.И. Аверченков [и др.]; под общ. ред. В.И. Аверченкова. – Брянск: БГТУ, 2000. – 259 с.
13. Махаринский, Е.И. Основы технологии машиностроения: учеб. / Е.И. Махаринский, В.А. Горохов. – Минск: Выш. шк., 1997.
14. Фельдштейн, Б.Э. Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ: справ. пособие / Б.Э. Фельдштейн. – Минск: Выш. шк., 1988.
15. Шарин, Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ / Ю.С. Шарин. – М.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
16. Шарин, Ю.С. Методические указания по подбору деталей для обработки на станках с ЧПУ / Ю.С. Шарин, Т.И. Тишенина. – Свердловск: Изд. УПИ, 1983. – 42 с.
17. Ящерицын, П.И. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов / П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн. – Минск: Выш. шк., 1990. – 512 с.
18. Маталин, А.А. Технология машиностроения / А.А. Маталин. – Л.: «Машиностроение», 1985
19. Шрайбман, С.М. Обработка корпусных деталей на станках с ЧПУ / С.М. Шрайбман, Л.И. Терехова // Станки и инструмент. – 1974. – № 10. – с. 37 – 40.
20. Жданович, Ю.Ф. Комплексная механизация и автоматизация в механических цехах / Ю.Ф. Жданович, Л.Б. Гай. – М.: Машиностроение, 1976.
21. Зазерский, В.И. Технология обработки на станках с программным управлением / В.И. Зазерский, С.И. Жолнерчик. – Л.: Машиностроение, 1975.
22. Дерябин, А.Л. Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ: учеб. пособие для техникумов / А.Л. Дерябин. – М.: Машиностроение, 1984.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВЕДЕНИЕ .....	3
ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ .....	4
ТЕРМИНЫ И ПОНЯТИЯ.....	6
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ .....	13
1. Автоматизация операций механической обработки деталей резанием .....	13
1.1. Способы автоматизации рабочего цикла на станках в единичном, серийном и массовом производстве.....	13
1.2. Разработка технологии и управляющих программ для изготовления деталей на станках с ЧПУ. Основы программного обеспечения на станках с ЧПУ.....	33
2. Классификация и характеристика станков и систем ЧПУ по технологическим признакам: характер управления рабочими органами; числу потоков информации; числу управляемых координат; степени интеграции с ЭВМ.....	56
2.1. Классификация систем программного управления.....	57
3. Определение номенклатуры и анализ технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ. Требования к заготовкам .....	63
3.1. Определение границ эффективного использования станков с ЧПУ в зависимости от номенклатуры деталей .....	64
3.2. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ.....	66
3.3. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ .....	68
3.4. Основные предпосылки выбора деталей для обработки на станках с ЧПУ .....	70
3.5. Технические условия на поставку заготовок и деталей .....	70
4. Маршрутные и технологические процессы обработки на станках с ЧПУ. Методы проектирования маршрутных технологических процессов: методы адресации; методы синтеза.....	72
4.1. Метод адресации .....	72
4.2. Метод синтеза .....	75
5. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ токарной группы .....	77
5.1. Этапы программирования. Составление расчетно-технологической карты .....	77
6. Подготовка управляющих программ для станков с ЧПУ фрезерной группы. Схемы обработки контуров, плоских и объемных поверхностей .....	82
7. Реализация постоянных циклов при обработке на станках с ЧПУ сверлильно-расточной группы. Способы коррекции вылета инструмента.....	91
8. Операционные технологические процессы обработки на станках с ЧПУ. Этапы проектирования операций. Типовые схемы переходов. Выбор режимов резания. Последовательность обхода контура .....	95
9. Подготовка управляющих программ для токарных станков, оснащенных устройствами УЧПУ класса CNC. Формирующие подпрограммы. Стандартные подпрограммы .....	99
10. Программирование токарной обработки с сокращенным описанием контура (SINUMERIK). Оперативное программирование.....	104
11. Особенности технологической оснастки для станков с ЧПУ. Классификация приспособлений, вспомогательного и режущего инструмента, настройка инструмента по размеру вне станка .....	110
11.1. Классификация приспособлений для станков с ЧПУ .....	112
11.2. Общие особенности режущего инструмента для станков с ЧПУ.....	115
12. Системно-информационный анализ УЧПУ различных классов .....	118
12.1. Системы классов NC и SNC .....	118

12.2. Системы классов CNC, DNC, HNC.....	122
12.3. Системы класса HNC .....	125
12.4. Аппаратные системы ЧПУ .....	126
12.5. Системы класса VNC .....	127
13. Особенности процессов обработки на многоцелевых станках .....	128
14. Особенности проектирования технологических операций обработки деталей на агрегатных станках и автоматических линиях .....	133
14.1. Анализ технологичности конструкции деталей при обработке на агрегатных станках .....	134
14.2. Особенности построения операций при обработке деталей на агрегатных станках .....	135
14.3. Выбор компоновок агрегатных станков .....	135
14.4. Выбор приспособлений и инструментов .....	138
14.5. Особенности определения режимов резания и нормирования операций.....	139
14.6. Циклограмма работы станка .....	142
14.7. Классификация автоматических линий и особенности их компоновки .....	144
14.8. Требования к технологичности конструкции.....	149
14.9. Выбор типа и структуры автоматической линии .....	150
14.10. Выбор приспособлений и инструмента.....	152
14.11. Особенности определения режимов резания и нормирования .....	153
15. Гибкие производственные системы. Принципы создания.....	155
15.1. Уровни автоматизации ГАУ.....	159
<b>МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ И ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....</b>	<b>166</b>
16. Методические указания к практическим работам .....	166
16.1. Программирование обработки на фрезерных станках с системами ЧПУ типа CNC .....	166
16.2. Параметрическое программирование систем ЧПУ.....	177
16.3. Разработка управляющих программ для сверлильных станков с ЧПУ .....	185
16.4. Подготовка управляющих программ для токарных станков с ЧПУ .....	191
16.5. Автоматизация программирования обработки.....	201
17. Методические указания к проведению лабораторных работ (токарная обработка).....	215
17.1. Лабораторная работа «Разработка технологии на токарном станке модели 16К20Ф3 с системой ЧПУ 2Р22» .....	215
17.2. Технические характеристики и порядок работы системы управления 2Р22....	215
17.3. Порядок работы УЧПУ .....	216
17.4. Привязка системы отсчета к станку.....	216
17.5. Полуавтоматический ввод исходного положения в УЧПУ и выход инструмента в это положение.....	220
17.6. Привязка инструмента к системе отсчета .....	220
17.7. Привязка системы отсчета к детали .....	222
17.8. Режим «ВВОД».....	222
17.9. Система кодирования и порядок построения кадра.....	224
17.10. Программирование фасок, дуг, галтелей .....	227
17.11. Программирование постоянных циклов .....	229
17.12. Составление программы при вводе с перфоленты.....	237
17.13. Порядок выполнения работы .....	238
17.14. Содержание отчета .....	239

18. Методические указания к проведению лабораторных работ (Фрезерная обработка) .....	240
18.1. Расчет координат узловых точек в координатных приращениях .....	240
18.2. Программирование обработки на фрезерных станках с линейно-круговыми интерполяторами (НЗЗ-1М, НЗЗ-2М) .....	244
18.3. Лабораторная работа № 1 «Изучение режима ввода управляющей программы с пульта оператора УЧПУ НЗЗ-1М» .....	259
18.4. Лабораторная работа № 2 «Программирование обработки сложной детали без коррекции траектории инструмента» .....	263
18.5. Лабораторная работа № 3 «Коррекция траектории инструмента при обработке негладких контуров» .....	264
18.6. Лабораторная работа № 4 «Коррекция траектории с использованием блока ЭКВИДИСТАНТА» .....	265
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ .....	267
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	269

*Учебное издание*

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ  
(ПРОИЗВОДСТВО МАШИН)

Учебно-методический комплекс  
для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения»,  
1-36 01 03 «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

В 3-х частях

Часть 2

Составители:

ЛЫСОВ Александр Аркадьевич  
АРШИКОВ Александр Сергеевич

Редактор *А. Э. Цибульская*  
Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

---

Подписано в печать 29.04.09. Формат 60x84. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Ризография. Усл. печ. л. 15,78. Уч.-изд. л. 15,24. Тираж 125 экз. Заказ 686.

---

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

ЛИ № 02330/0133020 от 30.04.2004

ЛП № 02330/0133128 от 27.05.2004

211440 г. Новополоцк, ул. Блохина, 29