R. GJIROV, P. SEREBRENITSKY

PROGRAMMING OF PROCESSING FOR NC-MACHINES

Leningrad
«Mashinostrojenie»
1990

Р. И. ГЖИРОВ ; П. П. СЕРЕБРЕНИЦКИЙ

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

СПРАВОЧНИК

Ленинград
„Машиностроение"
Ленинградское отделение
1990

ББК 34.630.2-08-1
Г45
УДК [621.9.06-52:658.527:681.3.06] (035)

Рецензент д-р техн. наук проф. **В. Н. Подураев; МГТУ им. Н. Э. Баумана; кафедра «Оборудование и автоматизация производства» Тульского политехнического института**

Краматорский индустриальный институт
БИБЛИОТЕКА

334432

Гжиров Р. И., Серебреницкий П. П.

Г45 Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник.— Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990.— 588 с.: ил.

ISBN 5-217-00909-8

В справочнике изложены методики и приемы ручной и автоматизированной подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ различных групп, рассмотрены вопросы отладки и редактирования программ. Приведены методы разработки маршрутных и операционных технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ, рассмотрены особенности таких станков и их технологическая оснастка. Приведены рекомендации по наладке и организации работ на станках с ЧПУ различных типов, в том числе в условиях ГАП.

Издание «допущено Государственным комитетом СССР по народному образованию в качестве учебника для студентов машиностроительных специальностей вузов».

Справочник предназначен для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий.

Г $\frac{2405000000-168}{038\ (01)-90}$ 168—90

ББК 34.630.2-08-1

ISBN 5-217-00909-8

© Р. И. Гжиров, П. П. Серебреницкий, 1990

ПРЕДИСЛОВИЕ

Важнейшим достижением научно-технического прогресса является комплексная автоматизация промышленного производства. В своей высшей форме — гибком автоматизированном производстве (ГАП) — автоматизация предполагает функционирование многочисленных взаимосвязанных технических средств на основе программного управления и групповой организации производства.

В связи с созданием и использованием гибких производственных комплексов механической обработки резанием особое значение приобретают станки с числовым программным управлением (ЧПУ), выпуск которых в нашей стране постоянно возрастает.

В результате замены универсального неавтоматизированного оборудования станками с ЧПУ трудоемкость изготовления деталей оказалось возможным сократить в несколько раз (до пяти — в зависимости от вида обработки и конструктивных особенностей обрабатываемых заготовок).

Внедрение ЧПУ в технологию машиностроения обусловило необходимость построения числовых моделей технологического процесса, а следовательно, широкое использование математических методов и числовой вычислительной техники. Это привело к революционным изменениям в технологии машиностроения. Технология машиностроения из науки, носившей по преимуществу качественный характер, стала превращаться в науку точную. При этом программирование обработки на станках с ЧПУ, возникшее на стыке ряда дисциплин (технологии машиностроения, математики, кибернетики), со временем приобрело самостоятельное значение.

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. Появилась новая специальность — технолог-программист. На предприятиях сформировались бюро программного управления (БПУ) для технологического обеспечения станков с ЧПУ. В помощь заводским бюро в масштабах страны созданы кустовые центры подготовки программ (КЦПП), оснащенные современными средствами вычислительной техники.

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. Так, действия квалифицированного рабочего, обрабатывающего заготовку на обычном станке, заменяются на станке с ЧПУ обработкой по управляющей программе, содержащей подробную информацию о последовательности и характере функционирования его исполнительных механизмов. Требования к квалификации оператора станка снижаются, так как задачи фор-

мообразования теперь решает технолог-программист в процессе подготовки УП.

При подготовке УП перерабатывается большой объем технологической информации, и в ряде случаев поиск и нахождение оптимальных решений возможны лишь при широком использовании в процессе программирования электронно-вычислительных машин. Методы и организация подготовки УП на предприятиях зависят от доступа к ЭВМ, наличия и совершенства специального программно-математического обеспечения (ПМО), типизации технологических процессов, серийности изделий, профессионального уровня работников технологических служб. 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.

Однако недостаточный на сегодняшний день уровень формализации технологических задач, незавершенность теоретических основ процессов обработки, неполнота экспериментальных данных не позволяют полностью автоматизировать процессы подготовки технологий и УП для станков с ЧПУ. Поэтому в большинстве случаев при подготовке УП оптимальной является работа в так называемом диалоговом режиме. В этом режиме наиболее формализованная часть технологических задач решается программно с использованием средств вычислительной техники, а дальнейшие пути решений на узловых участках проектирования выбирает технолог-программист. Это позволяет преодолеть недостаточную формализацию технологических задач, значительно сокращает время проектирования, однако требует творческого участия опытного и знающего технолога.

Настоящая книга содержит справочные данные по основным аспектам процесса подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ различных типов и классов. Она может быть в то же время с успехом использована для самостоятельного изучения вопросов по теме как учебник и является базовой работой для использования серии книг по практическому программированию. Особое внимание отведено решению актуальных задач программирования, рассмотрены типовые методики, приведены типовые примеры.

Приведенные в тексте программы имеют в основном учебный характер. Они не всегда оптимальны с точки зрения технологии. В ряде случаев программы упрощены. В них могут отсутствовать команды на замену инструмента, его коррекцию, на вывод инструмента с позиций замены, на смещение нуля и т. д. Но все они хорошо иллюстрируют текст и помогают усвоить рассматриваемый материал, методическое построение которого отвечает современному уровню учебной литературы.

Книга может быть использована для повышения квалификации и переподготовки инженерно-технических работников.

Работа с предлагаемой книгой выявит как позитивные ее стороны, так и негативные. Авторы с благодарностью примут все замечания и пожелания, которые читатель может направить по адресу издательства: 191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10.

ОСНОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

АРМ — автоматизированное рабочее место;
АСИ — автоматическая смена инструмента;
АСПДЛ — автоматизированная система подготовки данных на перфоленте;
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;
ЭЛТ — электронно-лучевая трубка.

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

1.1. ТЕРМИНЫ И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Ниже приведены применяемые в науке, технике и производстве термины и основные понятия в области систем числового программного управления металлорежущими станками, установленные ГОСТ 20523—80*. 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 всей книги.

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, распределяемых по запросам от станков.

Ручная подготовка УП — подготовка и контроль УП в основном без применения 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 отрабатываемая 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 отработка УП происходит с автоматической сменой кадров УП.

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

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

Покадровая работа — функционирование СЧПУ (УЧПУ), при котором отработка 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 отработка — 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 программоносителя 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 отработке УП и хранящиеся в памяти УЧПУ, например константы и т. п.

Поиск кадра в УП (поиск кадра) — функционирование УЧПУ, при котором на программоносителе 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 точка 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 информация (программа управления) — информация, известная до начала технологического процесса и зафиксированная тем или иным способом на материальном носителе, называемом программоносителем. 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 технологических процесс. К этой информации относятся 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, разме-

ры 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 центра 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 кординат, 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 переме-

щения рабочих органов станка 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. Наиболее распространены дисплеи телевизионного типа.

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).

1.2. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Основная особенность станков с ЧПУ (рис. 1.1) состоит в том, что программа, т. е. данные о величине, скорости и направлении перемещений рабочих органов, задается в виде символов, нанесенных на специальный программоноситель. Процесс подготовки программ для станков с ЧПУ отделен от процесса обработ-

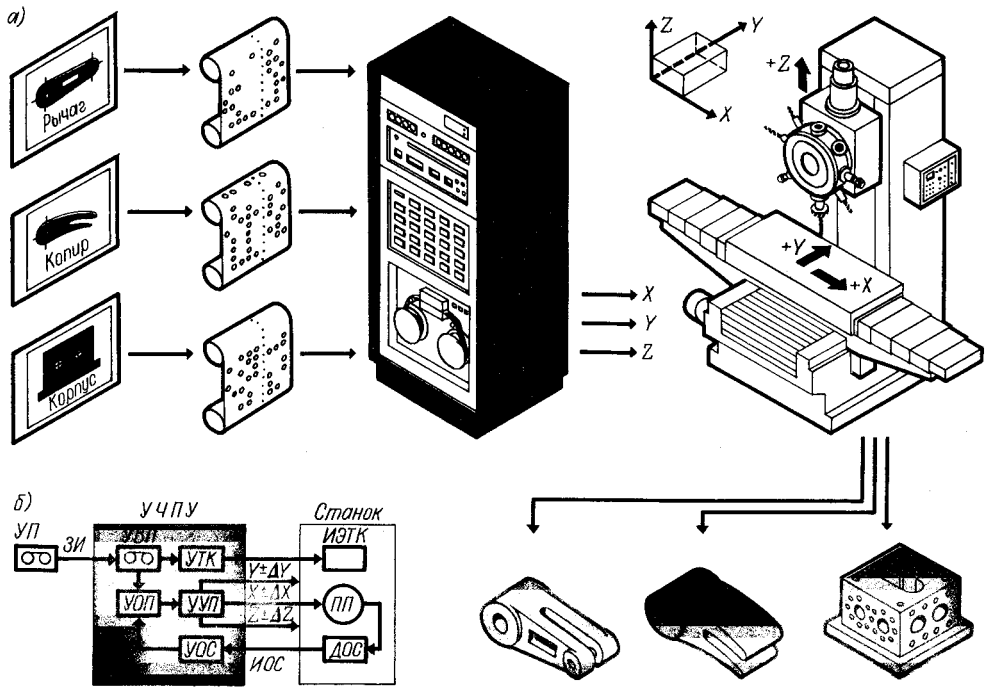


Рис. 1.1. Станок с ЧПУ: *а* **— схема изготовления детали;** *б* **— функциональная схема системы ЧПУ станком**

ки детали во времени и пространстве. На станке с ЧПУ для того, чтобы обработать деталь новой конфигурации, часто достаточно установить в УЧПУ (рис. 1.1, *б*) новую УП, которая содержит определенную задающую информацию (ЗИ). Устройством ввода программы (УВП) программа считывается, т. е. преобразуется в электрические сигналы, и направляется в устройство отработки программы (УОП), которое через устройство управления приводом (УУП) воздействует на объект регулирования — привод подач (ПП) станка. Заданное перемещение (например, по осям X, Y, Z) подвижных узлов станка, связанных с приводом подач, контролируют датчики обратной связи (ДОС). Информация обратной связи (ИОС) с датчика через устройства обратной связи (УОС) поступает в УОП, где происходит сравнение фактического перемещения узла подачи с заданным по программе для внесения корректив ($\pm\Delta$) в произведенные перемещения. Для исполнения дополнительных функций электрические сигналы поступают с УВП в устройство технологических команд (УТК), которое воздействует на исполнительные элементы технологических команд (ИЭТК). Происходит включение (выключение) различных двигателей, электромагнитных муфт, электромагнитов и др.

Основные преимущества станков с ЧПУ. Применение станков с ЧПУ взамен универсального оборудования имеет существенные особенности и создает определенные преимущества, в частности следующие: сокращение сроков подготовки производства на 50—75 %; сокращение общей продолжительности цикла изготовления продукции на 50—60 %; экономию средств на проектирование и изготовление технологической оснастки на 30—85 %; повышение производительности труда за счет сокращения вспомогательного [1] и основного времени обработки на станке и многое другое [35—37].

Особенность технологической подготовки производства. Виды и характер работ по технологической подготовке производства с использованием станков с ЧПУ, в том числе и специализированных, существенно отличаются от работ, производимых с помощью обычного универсального оборудования. Значительно возрастают сложность задач и трудоемкость проектирования технологического процесса. Специальные знания (в том числе и математические), необходимые для составления программы, резко повышают требуемый уровень квалификации технологов, а применение технических средств для расчета и составления программ обусловливает появление в системе подготовки производства новых специальностей (программистов, математиков, электронщиков) и требует решения ряда организационных вопросов. Технологические работы, общие по названию с работами, выполняемыми для оборудования с ручным управлением, имеют иное содержание при применении станков с ЧПУ и требуют иного подхода. К таким работам относятся, например, проработка рабочих чертежей на технологичность, выбор инструмента и оснастки, выработка требований к заготовке.

В общем случае составление программ для станков с ЧПУ начинается с разработки технологического процесса на деталь и выделения операций программируемой обработки. В выбранных операциях после уточнения оборудования выявляют необходимые траектории движения инструментов, скорости рабочих и холостых ходов и др. Направления и величины перемещений устанавливают исходя из конфигурации обрабатываемых поверхностей детали, скорости рабочих ходов, скорости холостых ходов. Установленная последовательность обработки кодируется и записывается на программоноситель. Полученная в итоге УП представляет собой сумму указаний рабочим органам станка на выполнение в определенной последовательности действий, из которых складывается весь процесс обработки детали. Получением УП завершается первый этап процесса изготовления детали на станках с ЧПУ, начатый с предварительной подготовки данных, необходимых для программирования.

[1] Производительность труда благодаря автоматической установке координат возрастает в среднем на 15—20 %.

На втором этапе в соответствии с программой, записанной на программоносителе, деталь обрабатывается на станке.

Из всех работ в процессе программирования решающими являются сбор, упорядочение и обработка информации, перед тем как она будет нанесена на программоноситель. Подготовленная информация должна быть представлена в форме чисел, т. е. в форме, пригодной для записи программы данному станку. Однако не всякие числа могут выражать информацию для управления станками с ЧПУ.

1.3. СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

Некоторые сведения из теории кодирования

Теория кодирования — раздел теории информации, изучающей способы отождествления сообщений с отображающими их сигналами. Кодирование применяют при передаче, хранении и преобразовании информации. Для кодирования сообщений используют набор символов. Множество символов называют *алфавитом кода*: $\{a_1, a_2, \ldots, a_m\}$.

Количество символов в алфавите обозначают буквой m и называют *основанием кода*. Десятичная система счисления является кодом с основанием $m=10$ (т. е. количество значащих цифр равно десяти). При этом значащие цифры (их форма, вид) составляют алфавит: 0, 1, 2, 3, ..., 9. С помощью алфавита (значащих цифр) в системе счисления можно выразить (закодировать) любую числовую величину.

Код Морзе имеет основание $m=2$; следовательно, его алфавит состоит из двух символов — точки и тире {. —}. Выражение звуков языка тоже осуществляется определенным кодом. Так, для русского языка основание кода $m=33$, а алфавит состоит из букв а, б, в, г, ..., я.

Любую упорядоченную выборку символов из алфавита называют *кодовым словом* или *кодовой комбинацией*: $B=\{a_{i1}, a_{i2}, \ldots, a_{in}\}$.

Количество (число) символов в кодовой комбинации обозначают буквой n и называют *длиной кодовой комбинации*.

Кодом называют любое упорядоченное множество кодовых комбинаций: $\{B_1, B_2, \ldots, B_N\}$.

Количество (число) кодовых комбинаций в коде называют *мощностью* или *объемом кода*. Максимальная мощность кода $N=m^n$.

Представление информации кодом. Элементы, положения, события и т. д., для которых характерны два устойчивых и противоположных состояния, удобно описывать кодом с основанием $m=2$. Например, контакты реле могут быть замкнуты или разомкнуты, триод открыт или закрыт, деталь на станке установлена или снята, привод включен или выключен, самолет обнаружен или не обнаружен и т. п. Если одному состоянию элемента (положения, события) приписать значение 1 (единица), а другому 0 (нуль), то алфавит кода будет содержать всего два символа (знака) — 0 и 1, а кодовая комбинация — набор символов из этого алфавита. Например, режим включения шести реле (P_i), определенный кодовой комбинацией 110111 (рис. 1.2, *а*), будет означать, что в заданный момент времени лишь контакты реле *P4* не будут замкнуты. Комбинации 110000, 010001 и 111111 означают, что сработали соответственно шестое и пятое, первое и пятое, все реле и т. д.

Рассмотренную информацию можно записать на бумаге символами 1, 0 (рис. 1.2, *б*) или представить на бумажной ленте комбинацией отверстий (рис. 1.2, *в*), считая пробитое на ленте отверстие за 1, а отсутствие за 0. Расположение отверстий в строке на соответствующих дорожках определит состояние рассматриваемых элементов. При этом полагают, что первая дорожка (счет справа налево) определяет состояние первого реле, вторая — второго, третья — третьего и т. д.

В данном случае длина всех рассмотренных комбинаций (110111, 110000 и т. д.) равна шести ($n=6$).

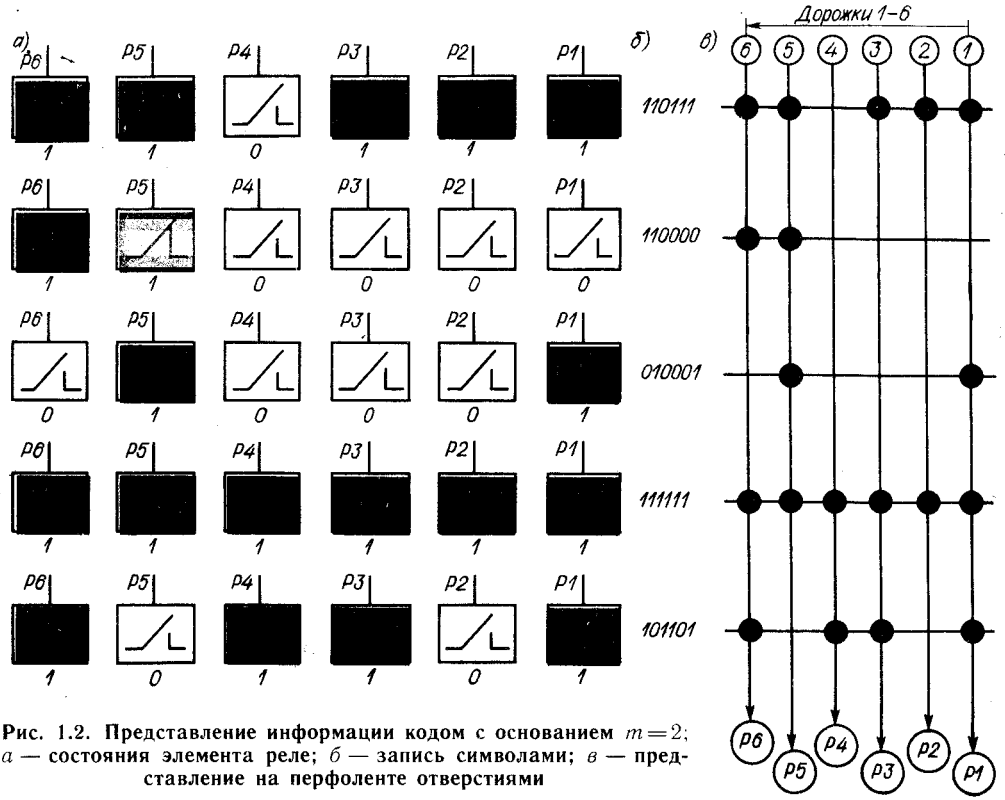


Рис. 1.2. Представление информации кодом с основанием $m=2$; *а* — состояния элемента реле; *б* — запись символами; *в* — представление на перфоленте отверстиями

Количество единичных символов в комбинации называют ее *весом* и обозначают l. Комбинация 11001 имеет вес $l=3$, комбинация 11111 — вес $l=5$, комбинация 00010 — вес $l=1$.

Кодовым расстоянием d между двумя комбинациями называют количество несовпадений их разрядов. Например, кодовое расстояние между комбинациями 10000 и 11000 будет $d=1$, между комбинациями 11100 и 00011 — $d=5$. В первом случае все разряды одинаковы, кроме одного, во втором случае различны все пять разрядов.

Классификация кодов. Имеется большое число признаков классификации кодов. Назовем основные из них.

1. По основанию: коды с основанием $m=2$ называют *двухпозиционными*, с основанием $m>2$ — *многопозиционными*.

2. По длине кодовых комбинаций: коды *равномерные*, если $n=\text{const}$, и *неравномерные*, если $n\neq\text{const}$.

3. По весу комбинаций: коды *равновесные* (или коды *на одно сочетание*), если $l=\text{const}$, и *неравновесные* (или коды *на сумму сочетаний*), если $l\neq\text{const}$.

Равновесный код называют также кодом l из n. Число комбинаций кода равно числу сочетаний из n по l и обозначается символом $\binom{n}{l}$. Из комбинаторики известно, что

$$\binom{n}{l}=\frac{n(n-1)(n-2)\ \ldots\ (n-l+1)}{l!}.$$

В технике широкое применение имеет код 2 из 5, число комбинаций этого кода

$$N=\binom{5}{2}=\frac{5\cdot 4}{2}=10.$$

Все комбинации кода имеют одинаковый вес $l=2$.

Код на сумму сочетаний содержит комбинации различного веса. В общем случае вес n членной комбинации изменяется от 0 до n, сумма комбинаций равновесных кодов (формула бинома

Ньютона)

$$N=\binom{n}{0}+\binom{n}{1}+\binom{n}{2}+\ \dots\ +\binom{n}{n}=2^n.$$

Для $n=5$ общее число комбинаций

$$N=2^5=\binom{5}{0}+\binom{5}{1}+\binom{5}{2}+\binom{5}{3}+\binom{5}{4}+$$

$$+\binom{5}{5}=1+5+10+10+5+1=32.$$

4. По способу упорядочения комбинаций. Число вариантов упорядочения равно числу перестановок из N, равному $N!$. Таким образом, имеется 10! кодов 2 из 5.

Пример одного из вариантов комбинаций:

0) 11000; 1) 10100; 2) 01100; 3) 01010; 4) 00110; 5) 00101; 6) 00011; 7) 10010; 8) 10001; 9) 01001. (1.1)

5. По четности или нечетности веса комбинаций. Если все комбинации кода имеют четный вес, то код называют четным, если нечетный вес — *нечетным*.

Пример четного кода:

0) 0000; 1) 0011; 2) 0101; 3) 0110; 4) 1001; 5) 1010; 6) 1100; 7) 1111. (1.2)

6. По числу комбинаций заданной длины. Если код содержит все возможные комбинации заданной длины ($N=2^n$), то его называют *полным* или кодом *безызбыточности*. Если код содержит только часть этих комбинаций, то его называют *неполным* или кодом *с избыточностью*. Избыточность необходима для придания коду каких-либо особых свойств, в частности помехозащищенности.

Код (1.2) будет неполным, поскольку при его формировании использовали только восемь комбинаций (четного веса) из возможных 16. Из оставшихся восьми нечетных комбинаций можно, в свою очередь, образовать также неполный нечетный код.

7. По кодовому расстоянию. Код с постоянным кодовым расстоянием ($d=\text{const}$) между смежными комбинациями называют *переменным*.

Код 2 из 5 [см. (1.1)] является двухпеременным. Кодовое расстояние между смежными комбинациями этого кода всюду равно двум. Те же десять комбинаций можно расположить по-другому и получить четырехпеременный код:

0) 00011; 1) 11000; 2) 00110; 3) 10001; 4) 01100; 5) 10010; 6) 01001; 7) 10100; 8) 01010; 9) 00101. (1.3)

8. По арифметическим свойствам кода. С помощью различных кодов записывают числа. Код, обладающий арифметическими свойствами, называют *арифметическим*. Комбинации такого кода можно рассматривать как числа и производить с ними различные арифметические операции.

Если код не обладает арифметическими свойствами, его называют *комбинаторным*. Комбинаторные коды формируют по законам теории соединений (сочетаний, размещений, перестановок), изучаемой в разделе математики, называемом комбинаторикой. Из рассмотренных кодов к комбинаторным относят равновесные, четные, нечетные.

Характеристики основных систем счисления

Коды, используемые для представления чисел посредством числовых знаков (цифр), определяются как системы счисления. Наиболее употребимы позиционные [1] системы, запись произвольного числа A в которых при основании m базируется на представлении этого числа в виде полинома:

$$A=a_nm^n+a_{n-1}m^{n-1}+\ \dots\ +a_0m^0+$$

$$+a_{-1}m^{-1}+a_{-2}m^{-2}+\dots, \qquad (1.4)$$

где a_i — коэффициент — один из символов (цифр) системы; m — основание системы; n — номер разряда [2].

При использовании системы счисления основание, как правило, не пишут, а число записывают путем перечисления всех коэффициентов (символов) полинома: $A=a_na_{n-1}a_{n-2}\dots a_0,\ a_{-1}a_{-2}\dots$. При этом запятая, отделяя целую часть числа от дробной, служит для фиксации значения каждой позиции (разряда) в последовательности цифр.

Десятичная система счисления. Это

[1] К непозиционным относится римская система счисления.

[2] За основной (нулевой) принимают разряд, в котором основание системы представлено в нулевой степени.

Таблица 1.1. Характеристики систем счисления

Десятичное число	Изображение числа	Выражение числа полиномом вида (1.4)	Данные различных систем счисления		
			Наименование	Основание m	Алфавит (цифры)
4	$1111_{/1}$	1111	Унитарная	1	1
3704,6	$3704{,}6_{/10}$	$3\cdot10^3+7\cdot10^2+0\cdot10^1+4\cdot10^0+6\cdot10^{-1}$	Десятичная	10	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
1988,75	$3704{,}6_{/8}$	$3\cdot8^3+7\cdot8^2+0\cdot8^1+4\cdot8^0+6\cdot8^{-1}$	Восьмеричная	8	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7
211,6	$1320{,}3_{/5}$	$1\cdot5^3+3\cdot5^2+2\cdot5^1+0\cdot5^0+3\cdot5^{-1}$	Пятеричная	5	0, 1, 2, 3, 4
120,75	$1320{,}3_{/4}$	$1\cdot4^3+3\cdot4^2+2\cdot4^1+0\cdot4^0+3\cdot4^{-1}$	Четверичная	4	0, 1, 2, 3
58,66	$2011{,}2_{/3}$	$2\cdot3^3+0\cdot3^2+1\cdot3^1+1\cdot3^0+2\cdot3^{-1}$	Троичная	3	0, 1, 2
11,5	$1011{,}1_{/2}$	$1\cdot2^3+0\cdot2^2+1\cdot2^1+1\cdot2^0+1\cdot2^{-1}$	Двоичная	2	0, 1
6777,5	$1\bar{0}79{,}8_{/16}$	$1\cdot16^3+\bar{0}\cdot16^2+7\cdot16^1+9\cdot16^0+8\cdot16^{-1}$	Шестнадцатеричная	16	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, $\bar{0}$, $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{3}$, $\bar{4}$, $\bar{5}$

система — наиболее употребляемая. Основание системы — 10. В ней используют десять символов — десятичные цифры 0, 1, 2, 3, ... 9. В системе 10 единиц каждого разряда объединяют в одну единицу соседнего старшего разряда (выбор числа 10 в качестве основания общепринятой системы счисления исторически связан с числом пальцев на руках).

В десятичной системе последовательность цифр 3807,45 представляет собой сокращенную запись следующего полинома: $3\cdot10^3+8\cdot10^2+0\cdot10^1+7\cdot10^0+4\times\times10^{-1}+5\cdot10^{-2}$. В десятичной системе при обычной записи указывают только коэффициенты; при этом предполагают, что их значимость (вес) различна и определяется разрядом, занимаемым данным коэффициентом (цифрой). Система является емкой, но для реализации в устройствах вычислительной техники мало пригодна, так как выполнение элемента с десятью четко различимыми состояниями представляет собой сложную техническую задачу.

Унитарная (единая) система счисления. Такая система имеет один цифровой знак (символ) — 1. Любое и только целое число в этой системе выражается набором единиц, например число 4 десятичной системы [1] представляется в виде 1111, число 12 — в виде 111111111111 и т. д. Система простая и легко реализуется (она используется, в частности, для записи заданного количества импульсов на магнитных лентах, барабанах), но является очень громоздкой. Чтобы записать, например, число десятичной системы $3586_{/10}$, нужно последовательно записать три тысячи пятьсот восемьдесят шесть единичных символов: 1111...111... 1111... 111...

Другие позиционные системы счисления. По принципу десятичной системы строят все другие позиционные системы счисления. В восьмеричной системе используют восемь цифр и полином строят на основании $m=8$, в пятиричной $m=5$, в четверичной $m=4$ и т. д. (табл. 1.1). Если основание системы счисления больше десяти, то приходится конструировать новые цифры. Так, в вычислительной технике применяют шестнадцатеричную систему счисления с алфавитом {0, 1, 2, ..., 9, $\bar{0}$, $\bar{1}$, $\bar{2}$, $\bar{3}$, $\bar{4}$, $\bar{5}$} или {0, 1, 2, ..., 9, a, b, c, d, e, f}. Наличие черты над цифрой свидетельствует о том, что численное значение символа равно численному значению данной цифры плюс десять. Так, десятичное число $175{,}5_{/10}$ в шестнадцатеричной системе запишется в виде

$$\bar{0}\cdot16^1+\bar{5}\cdot16^0+8\cdot16^{-1}=\overline{05{,}8}_{/16}.$$

Двоичная система счисления. В двоичной системе счисления с основанием $m=2$ используют два символа — цифры

[1] При необходимости выделить систему счисления за написанной последовательностью цифр указывают основание системы, например $^{4}/_{10}$ $^{14}/_{5}$ $^{1111}/_{1}$ $^{1011}/_{2}$ и т. д.

Краматорский индустриальный институт
БИБЛИОТЕКА

334432

1 и 0. Произвольное число в двоичной системе записывается полиномом, коэффициенты которого a_i могут иметь только одно из двух значений (0 или 1).

Например, десятичное число $69{,}5_{/10}$ в двоичной системе может быть представлено полиномом

$$1\cdot 2^6+0\cdot 2^5+0\cdot 2^4+0\cdot 2^3+1\cdot 2^2+0\cdot 2^1+$$
$$+1\cdot 2^{-1}=1\cdot 64+0\cdot 32+0\cdot 16+0\cdot 8+1\times$$
$$\times 4+0\cdot 2+1\cdot 1+1\cdot\frac{1}{2}=69{,}5_{/10},$$

т. е. числом $1000101{,}1_{/2}$.

Система позволяет использовать приборы и устройства с двумя устойчивыми состояниями, обеспечивает простоту выполнения арифметических операций и экономичность и поэтому широко используется в вычислительной технике и автоматике.

При необходимости в двоичной системе можно представить число, записанное в любой другой системе [6].

Перевод чисел из одной системы счисления в другую. Наиболее прост перевод чисел в двоичную систему и обратно из восьмеричной системы, что находит применение в устройствах вычислительной техники. Чтобы восьмеричное число перевести в двоичное, надо каждую восьмеричную цифру заменить эквивалентным ей трехразрядным двоичным числом — триадой:

Восьмеричная цифра . .	0	1	2	3
Двоичное число	000	001	010	011
Восьмеричная цифра . .	4	5	6	7
Двоичное число	100	101	110	111

Соответственно для перевода из двоичной системы в восьмеричную число нужно разделить на триады влево и вправо от запятой и заменить триады восьмеричными цифрами. Если самая левая или самая правая триада окажется неполной, к ней надо приписать нули.

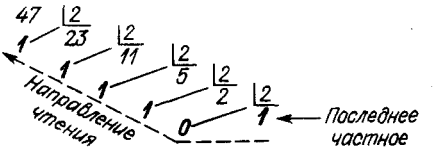
Пример 1. Восьмеричное число $34{,}5_{/8}$ перевести в двоичное. Восьмеричные цифры 3, 4, 5 в двоичной системе соответственно запишутся в виде 011, 100, 101, тогда все число будет $11100{,}101_{/2}$. Нуль впереди можно опустить.

Пример 2. Двоичное число $11010111{,}110101_{/2}$ перевести в восьмеричное:

$$\frac{011}{3}\ \frac{010}{2}\ \frac{111}{7},\ \frac{110}{6}\ \frac{101}{5}=327{,}65_{/8}.$$

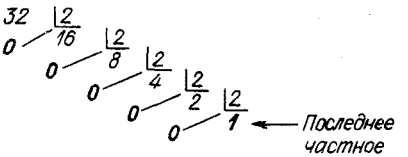
Целые числа, записанные в одной системе счисления, в новую систему счисления переводятся последовательным делением числа и получаемых частных на основании той системы, в которую оно переводится, до тех пор, пока не получится частное меньше основания системы. Результатом будут остатки от деления, прочитанные в порядке, обратном их получению, и последнее частное.

Пример 1. Перевести число $47_{/10}$ в двоичное:



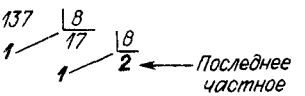
Таким образом, $47_{/10}=101111_{/2}$.

Пример 2. Перевести число $32_{/10}$ в двоичное:



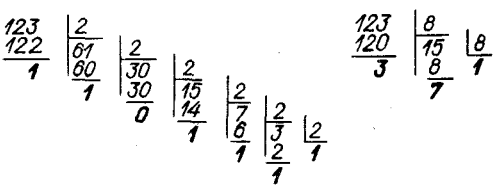
т. е. $32_{/10}=100000_{/2}$.

Пример 3. Перевести число $137_{/10}$ в восьмеричное:



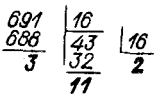
т. е. $137_{/10}=211_{/8}$.

Пример 4. Перевести целое десятичное число 123 в двоичное и восьмеричное:



т. е. $123_{/10}=1111011_{/2}$; $123_{/10}=173_{/8}$.

Пример 5. Перевести целое десятичное число 691 в шестнадцатеричное:



т. е. $691_{/10}=2\overline{13}_{/16}$.

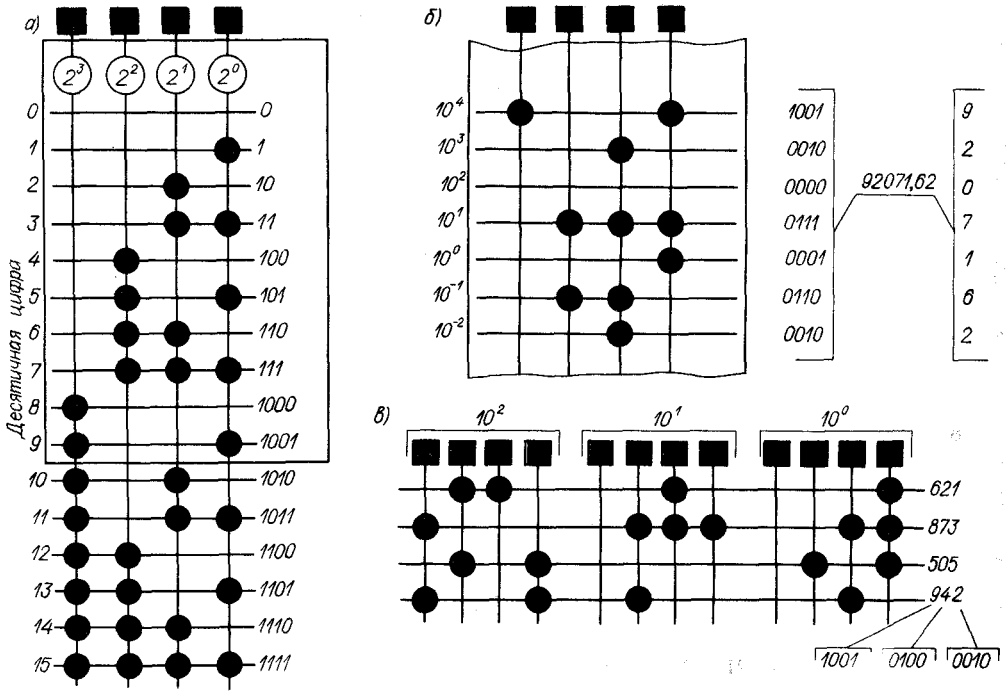


Рис. 1.3. Двоично-кодированные системы счисления в представлении на перфоленте: *а* **— код 8421;** *б, в* **— представление десятичных чисел в коде 8421**

Двоично-кодированные системы счисления. Некоторое неудобство двоичной системы счисления заключается в громоздкости записи чисел. Количество цифр двоичного изображения числа примерно в 13,3 раза больше количества цифр в десятичном изображении того же числа. Поэтому в технике наиболее часто используют смешанные системы счисления, в частности двоично-восьмеричную, двоично-шестнадцатеричную и двоично-десятичную. В этих системах объединяются достоинства двух систем: емкость (восьмеричной, шестнадцатеричной или десятичной систем) и двоичное изображение цифр двоичной системы.

В двоично-десятичной системе каждая цифра десятичного числа (0, 1, 2, ..., 9) записывается двоичным кодом. Для этого достаточно четырех двоичных разрядов — тетрады (рис. 1.3). Если в системе используется нормальное значение (вес) каждого разряда двоичной системы, то значимость разрядов в тетраде (начиная со старшего левого) составит $2^3-2^2-2^1-2^0$, или 8421. В соответствии с этим десятичные цифры будут иметь двоичный код: 1—0001; 2—0010; ...; 9—1001 (табл. 1.2). Для записи любого десятичного числа (более 9) на каждый разряд числа выделяется тетрада.

Так, для записи десятичных чисел от 0 до 999 необходимы три двоичные тетрады. Первая (справа) определяет десятичный разряд 10^0, вторая — 10^1, третья (слева) — 10^2. При этом десятичное число, например 942, будет иметь вид 1001 0100 0010 (рис. 1.3, *в*).

Таким образом, двоично-десятичный код является десятичным по существу и двоичным по форме представления цифр. В практике наиболее часто десятичные цифры в двоично-десятичном коде записывают на перфоленте строчками, определив для каждой из строчек определенный десятичный разряд (рис. 1.3, *б*).

Двоично-десятичную систему с указанным выше весом разрядов называют двоично-десятичным взвешенным кодом 8421. Код этот очень удобен, но имеет недостаток: с его помощью могут быть

Таблица 1.2. Изображение десятичных чисел в системах счисления с различным основанием

Десятичное число	Система с основанием				Двоично-десятичная система (код 8421)	
	2	3	8	16		
0	0	0	0	0		0000
1	1	1	1	1		0001
2	10	2	2	2		0010
3	11	10	3	3		0011
4	100	11	4	4		0100
5	101	12	5	5		0101
6	110	20	6	6		0110
7	111	21	7	7		0111
8	1000	22	10	8		1000
9	1001	100	11	9		1001
10	1010	101	12	$\overline{0}$	0001	0000
11	1011	102	13	$\overline{1}$	0001	0001
12	1100	110	14	$\overline{2}$	0001	0010
13	1101	111	15	$\overline{3}$	0001	0011
14	1110	112	16	$\overline{4}$	0001	0100
15	1111	120	17	$\overline{5}$	0001	0101
16	10000	121	20	10	0001	0110
17	10001	122	21	11	0001	0111
18	10010	200	22	12	0001	1000
19	10011	201	23	13	0001	1001
20	10100	202	24	14	0010	0000

образованы не только цифры от 0 до 9, но и числа от 10 до 15, которые не всегда используются, и их приходится исключать.

Разработано значительное число кодов с другими наборами весов по разрядам: 2421; 5211; 7421 и т. д. Имеются также коды, у которых некоторые разряды имеют отрицательное значение веса: (6) (4) (−2) (−1); (7) (2) (−4) (−1) и др. [6, 73].

Для изображения десятичных цифр в двоично-кодированных системах счисления используют и комбинаторные коды: такие как 2 из 5, 3 из 5, одноперемённый код Грея, двоично-десятичный одноперемённый код и др. Особенно большую роль в автоматике играют одноперемённые коды, у которых кодовое расстояние d между смежными комбинациями всюду равно 1.

Логические элементы

При использовании двоичной системы счисления с помощью логических элементов достаточно просто реализуются функции алгебры логики, на основе которой строится большинство вычислительных машин и устройств автоматики. Физическая природа логических элементов может быть различной. Используют элементы релейные, диодные, пневматические, на интегральных схемах и др.

Зависимость между переменными величинами называется функциональной и обозначается $y=f(x)$ для одной переменной и $y=f(x_1, x_2)$ для двух переменных. Величина x называется аргументом (независимой переменной); y — зависимая переменная, т. е. функция, ее значение определяется значением аргумента.

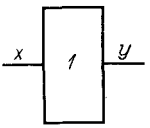
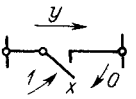
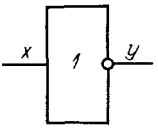
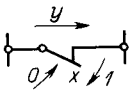
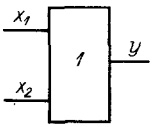
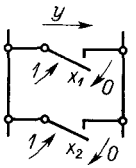
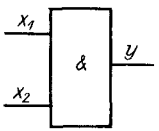
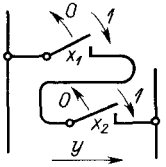
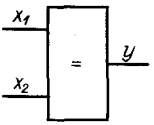
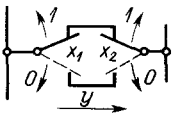
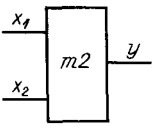
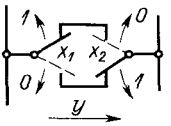
Функция повторения реализуется логическим элементом — повторителем. Входная величина x — состояние контактов реле: 1 — контакты замкнуты; 0 — контакты разомкнуты. Выходная величина y — проводимость электрической цепи: 1 — цепь замкнута; 0 — цепь разомкнута. При замкнутых контактах, т. е. при наличии сигнала на входе ($x=1$), проводимость цепи существует ($y=1$), при разомкнутых контактах ($x=0$) проводимость равна нулю ($y=0$). Выходная величина повторяет значение входной (табл. 1.3, п. 1).

Функция отрицания реализуется логическим элементом инвертором (табл. 1.3, п. 2), или элементом НЕ. Нормально замкнутые (нет сигнала) контакты x ($x=0$) обеспечивают проводимость цепи ($y=1$); сигнал x ($x=1$), приводящий к размыканию контактов, не обеспечивает проводимости цепи ($y=0$).

При двух переменных (x_1 и x_2) на входе в логический элемент возможны четыре различные комбинации: 00, 01, 10, 11, каждой из которых может соответствовать значение y (выход), равное или 1, или 0. Релейным эквивалентом функции $y=f(x_1, x_2)$ (проводимости цепи) будет состояние контактов x_1 и x_2 (независимые переменные).

Функция логического сложения (функция ИЛИ, функция дизъюнкции) реализуется логическим элементом дизъюнктором. Сигнал на выходе элемента в зависимости от комбинации сигналов x_1 и x_2 на входе описывается следующим образом ($x_1+x_2=y$): $0+0=0$; $0+1=1$; $1+0=1$; $1+1=1$,

Таблица 1.3. Логические элементы и их релейные эквиваленты

№ п/п	Логический элемент	Релейный эквивалент	Кодовое обозначение сигналов
1	Повторитель	Повторение	x...0 1 y...0 1
			
2	Инвертор	НЕ (отрицание)	x...0 1 y...1 0
			
3	Дизъюнктор	ИЛИ (логическое сложение)	x_1...0 0 1 1 x_2...0 1 0 1 y... 0 1 1 1
			
4	Конъюнктор	И (логическое умножение)	x_1...0 0 1 1 x_2...0 1 0 1 y ...0 0 0 1
			
5	Равнозначность	Эквивалентность	x_1...0 0 1 1 x_2...0 1 0 1 y ...1 0 0 1
			
6	Неравнозначность	Сложение по модулю $m2$	x_1...0 0 1 1 x_2...0 1 0 1 y ...0 1 1 0
			

т. е. нулевое значение функция y принимает лишь в том случае, если $x_1=0$ и $x_2=0$. Релейным эквивалентом функции сложения будут два нормально разомкнутых контакта x_1 и x_2, соединенных параллельно (табл. 1.3, п. 3) и обеспечивающих проводимость цепи ($y=1$ при проводимости цепи).

Функция логического умножения (функция И, функция конъюнкции) реализуется логическим элементом конъюнктором. Функция описывается следующим образом ($x_1 \cdot x_2 = y$): $0 \cdot 0 = 0$; $0 \cdot 1 = 0$; $1 \cdot 0 = 0$; $1 \cdot 1 = 1$, т. е. значение выходной величины y равно 1 только в случае, если на входе имеются два сиг-

нала одновременно ($x_1=1$ и $x_2=1$). Релейным эквивалентом функции являются два нормально разомкнутых контакта, соединенных последовательно (табл. 1.3, п. 4).

Функция равнозначности описывается таким образом:

$$x_1 \equiv x_2 = y: 0 \equiv 0 = 1;\ 0 \equiv 1 = 0;\ 1 \equiv 0 = 0;\ 1 \equiv 1 = 1.$$

Значение функции равно 1, если $x_1 = x_2$. Релейным эквивалентом логического элемента (называется эквивалентностью) являются два переключающихся контакта, включенных последовательно (табл. 1.3, п. 5).

Функция неравнозначности противоположна функции равнозначности и часто называется функцией сложения по модулю $m2$ (табл. 1.3, п. 6):

$$x_1 \oplus x_2 = y;\ 0 \oplus 0 = 0;\ 0 \oplus 1 = 1;\ 1 \oplus 1 = 0.$$

Особые свойства кодов

Возникновение различных систем счисления (кодов) связано со стремлением придать коду какие-либо дополнительные свойства: обеспечить бóльшую равномерность ввода информации в управляющие устройства станком, упростить преобразование чисел из одной системы счисления в другую (из одного кода в другой), упростить вычислительные операции, придать коду свойства обнаружения или исправления ошибок и др.

Принцип самодополнения. Двоично-десятичные коды 2421, 4221 и 8421 с избытком 3 (табл. 1.4) называются *самодополняющимися*. В этих кодах двоичное обозначение десятичной цифры A может быть получено из кодового обозначения цифры, равной $9-A$ (девять минус A) путем простой инверсии знаков, т. е. заменой всех нулей единицами и наоборот. Так, в коде 2421, например, цифра 7 — 1101 — получается инверсией цифры 2 — 0010, цифра 4 — 0100 — инверсией цифры 5 — 1011 и т. д.

Пример:

1101 — 7	0100 — 4	0001 — 1	0011 — 3
0010 — 2	1011 — 5	1110 — 8	1100 — 6
1111 — 9	1111 — 9	1111 — 9	1111 — 9

Этим же свойством обладает код 8421 с избытком 3 (8421 + 3), в котором каждая десятичная цифра представляется суммой десятичного числа n_i и числа 3, выраженного в двоичном коде. Например, изображение цифры 5 в коде 8421 + 3 — — 1000 соответствует изображению цифры 8 (5 + 3) в коде 8421 и т. д.

Указанное свойство кодов позволяет достаточно просто строить реверсивные двоично-десятичные счетчики управляющих систем станков и вычислительных устройств и вводить информацию в дополнительном коде, т. е. вместо числа A записывать число $9-A$. В ряде случаев это свойство может быть использовано для построения схем контроля.

Из приведенных самодополняющихся кодов код 2421 при прочих равных условиях имеет преимущество благодаря более простому преобразованию в двоичный код. В этом коде двоичные обозначения первых пяти цифр (от 0 до 4) совпадают с обозначениями этих цифр в нормальном двоичном коде 8421. Обо-

Таблица 1.4. Изображение десятичных цифр в двоично-десятичных кодах

$N_{/10}$	8421	8421 + 3	2421	4221	5211	(6) (4) (−2) (−1)	8421 + 3 с проверочной позицией
0	0000	0011	0000	0000	0000	0000	10011
1	0001	0100	0001	0001	0001	0111	00100
2	0010	0101	0010	0010	0011	0110	10101
3	0011	0110	0011	0101	0110	0101	10110
4	0100	0111	0100	1000	0111	0100	00111
5	0101	1000	1011	0111	1000	1001	01000
6	0110	1001	1100	1010	1001	1000	11001
7	0111	1010	1101	1101	1011	1111	11010
8	1000	1011	1110	1110	1110	1110	01011
9	1001	1100	1111	1111	1111	1101	11100

значения же цифр от 5 до 9 в коде 2421 соответствуют обозначению в коде 8421 той же цифры (числа), но с избытком 6. Например, цифра 5 в коде 2421 обозначена 1011. Такое же обозначение в коде 8421 имеет число 11, т. е. число, равное 5+6. Цифра 7 в коде 2421 обозначается 1101. Это же обозначение в коде 8421 имеет число 13 (7+6) и т. д.

Помехозащищенность кодов. Особым свойством ряда кодов является помехозащищенность. Это позволяет уже на этапе кодирования информации предусмотреть возможность обнаружения или исправления разнообразных ошибок (или то и другое вместе): ошибки программиста, ошибки оператора, сбоев перфорирующих и считывающих устройств и т. д.

Коды, построенные в соответствии с принципами помехоустойчивого кодирования, называют *помехоустойчивыми*. Кратностью ошибки называют число искаженных символов в комбинации. Различают коды, обнаруживающие ошибки, и коды, исправляющие ошибки. В зависимости от кратности ошибки в том и другом случае различают коды, обнаруживающие или исправляющие единичные ошибки, двойные ошибки и т. д.

Во всех случаях помехоустойчивость достигается ценой избыточности кода. Общая длина кодовой комбинации помехоустойчивого кода, равная n, представлена из двух частей. Одна часть содержит k комбинаций и служит для передачи необходимого сообщения. Такие комбинации называют информационными. Вторая часть содержит оставшиеся $n-k$ комбинаций и служит для обнаружения или исправления ошибок. Эти комбинации называют контрольными. Таким образом, для передачи сообщения используют 2^k комбинаций, которые называют разрешенными. Остальные (2^n-2^k) комбинации для передачи сообщения не используются и при нормальной работе устройства появляться не должны, их называют запрещенными.

При формировании кодов чаще всего деление всех кодовых комбинаций на информационные (разрешенные) и контрольные (запрещенные) осуществляется по четности или нечетности комбинаций

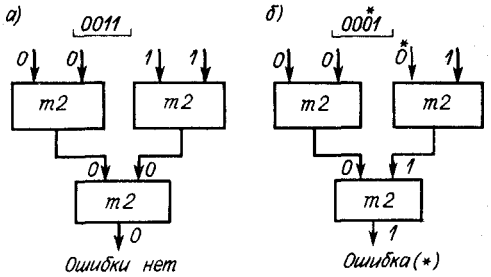


Рис. 1.4. Помехозащищенность кодов по четности: *а* **— передача разрешенной комбинации (четная);** *б* **— неразрешенная комбинация (нечетная — ошибка в передаваемом сигнале)**

из символов кода. При этом назначение комбинаций двух видов может быть различным, хотя чаще всего разрешенными принимаются четные комбинации, так как при этом более просты контрольные устройства, обнаруживающие ошибки [6, 73]. Например, если для кодирования информации принята четная группа комбинаций (группа А), то нечетная группа комбинаций (группа Б) будет контрольной — запрещенной.

Четные комбинации (группа А): 0000; 0101; 0110; 1001; 1010; 1100; 1111.

Нечетные комбинации (группа Б): 0001; 0010; 0100; 0111; 1011; 1101; 1110.

Четные комбинации используют для передачи сообщений. Все нечетные комбинации являются запрещенными и при нормальной работе появляться не должны. Появление нечетной комбинации обнаруживает однократную ошибку (искажение одного разряда четной комбинации дает нечетную комбинацию). Это просто обнаруживается системой контроля, построенной, например, на логических элементах с функцией сложения по модулю $m2$ (рис. 1.4).

С контролем по нечетности составлен код 8421+3 с проверочной позицией (см. табл. 1.4). Левая (пятая) дорожка кода, являясь контрольной, служит для дополнения знаком 1 кодовой комбинации в том случае, если число единичных символов (отверстий) основной тетрады — четное. Таким образом, в коде разрешенными комбинациями являются нечетные. Появление комбинации с четным количеством единичных символов, например 00101, 01111 и др., ука-

зывает на ошибку. Для сравнения укажем, что в незащищенном коде 8421 искажение одной позиции в какой-либо комбинации — например, вместо 0111 (десятичная цифра 7) передана информация 0110 (десятичная цифра 6) — приводит к переходу одной комбинации в другую и не позволяет достаточно просто обнаружить ошибку.

Метод контроля по четности или по нечетности комбинаций может осуществляться не только по каждой комбинации кода, но и по всему коду в целом. Таким свойством обладают некоторые равновесные комбинаторные коды, в частности 2 из 5 и 3 из 5. Десятичные цифры в этих кодах выражаются или двумя символами 1 (код 2 из 5) или тремя (код 3 из 5), которые своим положением на разных позициях определяют ту или иную цифру. Так, в коде 2 из 5 нуль кодируется 11000, единица — 00011, двойка — 00101 и т. д., т. е. в каждой комбинации, определяющей десятичную цифру, обязательно находится два символа 1. Поэтому, если используется этот код, при появлении сигналов 01101, 01000 и других с количеством единиц менее или более двух сразу фиксируется ошибка. Однако код, как и многие другие имеющие помехозащищенность по поперечной четности, не позволяет найти ошибку, если смещены единицы в пределах одной кодовой комбинации (например, вместо 01001 передана комбинация 00101), т. е. совершена двойная ошибка (0 вместо 1 на четвертой дорожке и 1 вместо 0 на третьей). Для определения двойных ошибок существуют соответствующие коды и методы контроля [6, 73].

Большой класс корректирующих кодов составляют систематические коды, у которых значение контрольных разрядов получается в результате проведения операций над информационными разрядами. Так, в коде AEG для металлорежущих станков для передачи информации используют кодовые комбинации с длиной $l=8$. На дорожках *1* — *4* (рис. 1.5, *а*) перфоленты записываются цифры в двоично-десятичном коде 8421, дорожки *5* и *6* служат для индексации чисел или букв, а дорожки *7* и *8* являются контрольными. На дорожке *7* указывается (пробивается) символ 1, если число единиц на дорожках *1—3*, *5* четное. Аналогично пробивкой на дорожке *8* символа 1 дополняется до нечетного значения число единиц, записанных на дорожках *1*, *2*, *4*, *6*. Такой контроль по нечетности одновременно по двум группам одной кодовой комбинации дает возмож-

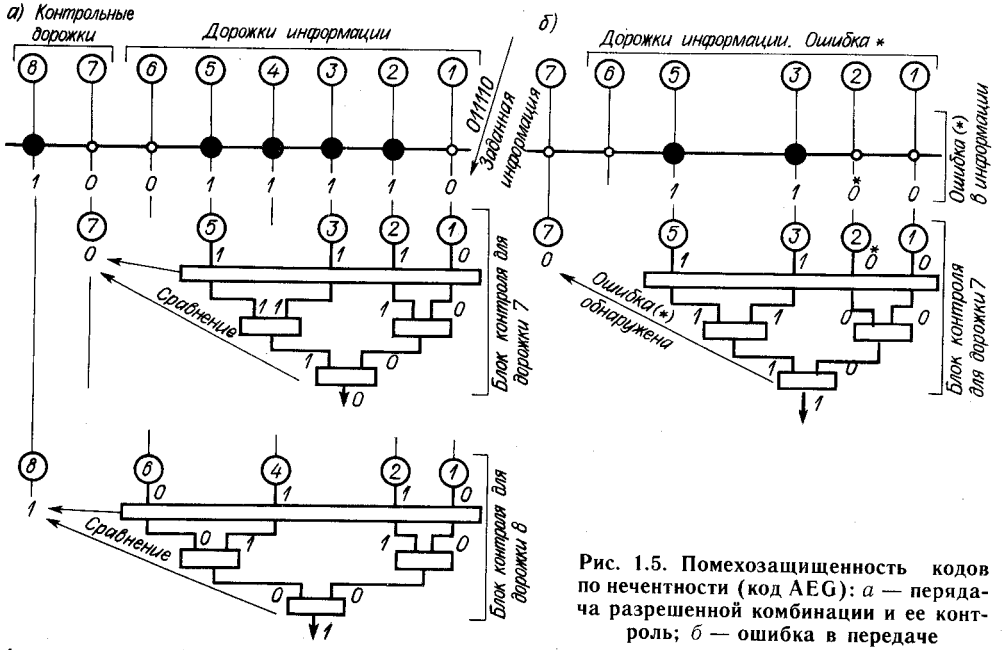


Рис. 1.5. Помехозащищенность кодов по нечентности (код AEG): *а* **— передача разрешенной комбинации и ее контроль;** *б* **— ошибка в передаче**

ность обнаруживать 100 % одиночных ошибок и до 70 % всех возможных двойных.

Например, при записи на дорожках *6—1* (рис. 1.5, *а*) кодовой комбинации 011110 на дорожках *7* и *8* будет соответственно 0 и 1. Кодовые комбинации по группам дорожек будут нечетные: дорожки *7, 5, 3, 2, 1* — 01110; дорожки *8, 6, 4, 2, 1* — 10110. Таким образом, для информации данной строки разрешенным будет сигнал 0 на дорожке *7* и сигнал 1 на дорожке *8*, что и служит основой контроля передаваемой закодированной информации, построенной, например, на равнозначности (см. логические элементы в табл. 1.3, п. 5).

При появлении ошибки (например, на дорожке *2* вместо 1 будет прочитан 0 — рис. 1.5, *б*) сигнал контроля не будет соответствовать записанному на контрольной дорожке. В данном случае на выходе контрольного блока будет 1, а на дорожке *7* будет 0. Это и укажет на наличие ошибки.

Надежная помехозащищенность осуществляется в семиразрядном коде, именуемом кодом 7,3. В нем для передачи информации из семи разрядов (условно обозначим их $a_1 - a_7$) используются четыре разряда: $a_4 - a_7$. Три разряда — $a_1 - a_3$ — являются контрольными, их значения вычисляются по формулам:

$$a_1 = a_7 \oplus a_5 \oplus a_4;\ a_2 = a_7 \oplus a_6 \oplus a_4;\ a_3 = a_7 \oplus a_6 \oplus a_5.$$

При записи информации вычисленные значения $a_1 - a_3$ наносят на соответствующие контрольные дорожки. Например, задаваемой информации 1010 (дорожки *4—7* на рис. 1.6) соответствуют знаки 010 на контрольных дорожках *1—3*. Эти знаки получены расчетом.

В системе управления при считывании передаваемой информации для обнаружения возможной ошибки используется блок контроля. С помощью его логических элементов (сложение по модулю *m*2) решаются уравнения обозревателя:

$$\Delta_1 = a_7 \oplus a_5 + a_4 + a_1;\quad \Delta_2 = a_7 \oplus a_6 + a_4 \oplus a_2;\ \Delta_3 = a_7 \oplus a_6 \oplus a_5 \oplus a_3.$$

Если при решении уравнений величины $\Delta_1 - \Delta_3$ равны нулю, то ошибка отсутствует, в противном случае число на дорожках *1—3* укажет номер разряда, в котором допущена ошибка, и это даст возможность ее исправить. Как видно из уравнений обозревателя, при значениях

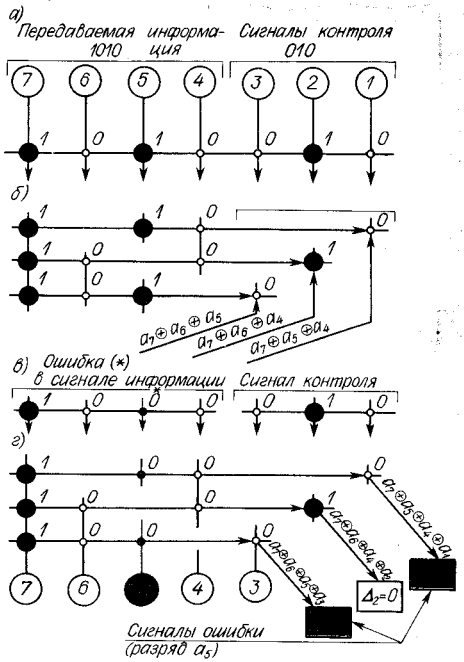


Рис. 1.6. Схема контроля информации в коде 7, 3: *а* — передаваемая информация и сигналы контроля; *б* — схема организации (расчета) контроля; *в* — передача информации с ошибкой; *г* — схема контроля информации

$\Delta_1 = 1$ и $\Delta_2 = 1$ ошибка — в разряде a_4, при $\Delta_1 = 1$ и $\Delta_3 = 1$ — в разряде a_5, при $\Delta_2 = 1$ и $\Delta_3 = 1$ — в разряде a_6, при $\Delta_1 = 1$, $\Delta_2 = 1$ и $\Delta_3 = 1$ — ошибка в разряде a_7.

Рассмотренные коды, осуществляющие контроль по поперечной четности, достаточно надежны. Но используют и другие виды контроля кодируемой информации: по продольной четности, по модулю, контроль кадра на кратность 3, 9 или 10 и т. д.

Контроль по модулю основан на проверке кратности суммы чисел, записанных на нескольких строчках в пределах некоторого завершенного объема комбинаций (например, в объеме кадра программы), некоторому числу m (модулю). В общем случае

$$\sum_{1}^{l} x_i = g \pmod{m},$$

где x_i — числовое значение кодовой комбинации, записанной в i-й строке; l — число строк в контролируемом объеме

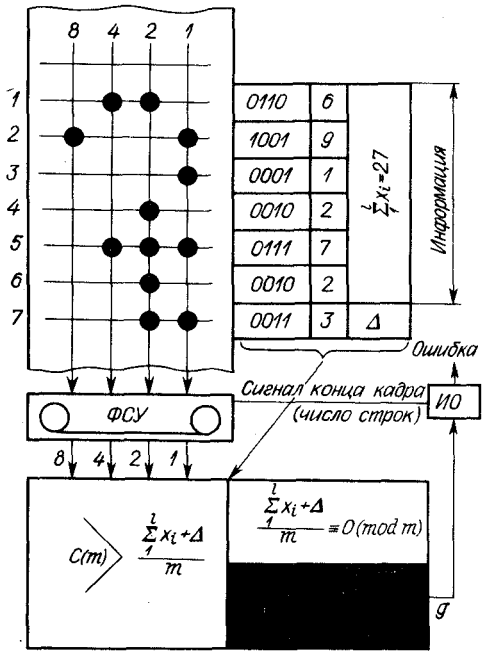


Рис. 1.7. Схема контроля по модулю m

записанной информации; g — остаток от деления суммы $\sum_1^l x_i$ на m.

Для того чтобы при любых значениях суммы по модулю $C\ (m)$ сумма числовых значений, записанных в контролируемом блоке строк, была кратна величине m, она дополняется некоторым числом Δ, которое определяется при расчете информационных данных и записывается в том же коде на контрольной строке в пределах блока контролируемых строк: $\Delta = m - g$. При этом

$$\sum_1^l x_i + \Delta = [\Delta + g] \pmod m. \qquad (1.5)$$

Если $\Delta + g = m$, то

$$\sum_1^l x_i + \Delta = 0 \pmod m.$$

Соотношение (1.5) является алгоритмом контроля записанной информации по модулю m.

Пример. Шесть последовательно записанных строк информации (рис. 1.7) контролируются по модулю, например по $m = 10$. Для расчета контрольного числа последовательно суммируются числовые значения записанных на всех шести строках комбинаций (например, в коде 8421): 0110, 1001, 0001, 0010, 0111, 0010, т. е. определяется сумма написанных в коде десятичных цифр. Следовательно,

$$\sum_1^6 x_i = 6+9+1+2+7+2 = 27.$$

Дополнением суммарного числа 27 до числа, кратного модулю 10, будет число 3, которое и является контрольным и записывается на седьмой строке данного контролируемого объема информации. Естественно, что информация, записанная на последующих шести строках, будет контролироваться по другому контрольному числу, рассчитанному для этих последующих строк, и т. д. по всему общему объему информации, которая программируется.

В настоящем примере используется одна из возможных схем контроля, когда записанная информация с помощью читающего блока ФСУ последовательно (построчно) подается в специальный счетчик по модулю $C\ (m)$. В счетчике информация суммируется. При получении количества сигналов, численно равного модулю, счетчик автоматически начинает отсчет с нуля. Если прочитанная информация не имеет ошибок или прочитана без ошибок, то, получив количество сигналов (сумму числовых значений строк + контрольное число), кратное модулю, счетчик будет в нулевом состоянии. Состояние счетчика обычно опрашивается сигналом от читающего устройства, который выдается после прочтения заданного для контроля количества строк. Если заданное количество строк равно семи (включая строку с контрольным числом), то проверка правильности информации будет выполняться после прочтения каждых семи строк в данном объеме всей информации. Если состояние счетчика отлично от нуля в момент контроля, то через индикатор ошибки (ИО) выдается сигнал о наличии ошибки.

Рассмотренный метод контроля достаточно надежен. Так, если контролю подлежит объем информации, записанной на 15 строках, то вероятность появления однократной ошибки составляет $0{,}9 \cdot 10^{-2}$, двукратной — $0{,}4 \cdot 10^{-4}$, трехкратной — $0{,}2 \cdot 10^{-6}$. Как показывает анализ [6], одиночная ошибка при использовании рассматриваемого метода не обнаруживается, если ее числовое значение равно или кратно модулю m. Двойные ошибки не обнаруживаются контролем, если сумма числовых значений одиночных ошибок равна или кратна модулю или равна нулю.

1.4. ПРОГРАММОНОСИТЕЛИ

Материальные носители информации для станков с ЧПУ — программоносители — можно условно разделить на внешние и внутренние.

К *внешним* программоносителям относят: перфокарты, перфоленты, кинопленки, магнитные ленты, магнитную проволоку, магнитные барабаны и диски. *Внутренние* программоносители — это штекерные панели и коммутаторы, панели с переключателями или кнопками, электронно-лучевые трубки и др. Внешние программоносители можно быстро заменять, записывать на них программу и хранить отдельно от устройств ЧПУ, достаточно просто дублировать путем выполнения копий, использовать в однотипных устройствах и т. п. Внутренние программоносители обычно являются неотъемлемым элементом конкретного УЧПУ, конструктивно с ним связанным.

Все программоносители характеризуются по емкости, скорости записи информации на них и скорости считывания этой информации, по быстроте замены, долговечности, удобству хранения, стоимости.

Внешние программоносители

Перфокарты. Стандартная перфокарта обычно выполняется из плотного картона толщиной 0,18 мм. Срезанный угол перфокарты определяет начало записи информации. Запись осуществляется в соответствии с определенным кодом путем нанесения (перфорирования) кодовых отверстий прямоугольной формы ($3\times1{,}5$ мм) или круглой формы (диаметр 3 мм).

Перфокарты имеют невысокую стоимость, их легко исправить, но они громоздки в использовании при кодировании большого объема непрерывной информации. Перфокарты широко применяют в бухгалтерском учете, для кодирования информации в системах библиотечного поиска и др.

Перфоленты. В системах программного управления станками наиболее широко применяют перфоленты. Их изготовляют из бумаги толщиной 0,1 мм и шириной 17,5; 22,5 и 25,4 мм. Информация на перфолентах записывается пробивкой кодовых отверстий диаметром 1,83 мм с расстоянием между строками ($2{,}54\pm\pm0{,}05$) мм. С соответствующим шагом на перфолентах наносят транспортную (ведущую) дорожку, диаметр отверстий которой равен 1,17 мм.

Стандартную перфоленту шириной 17,5 мм используют для записи информации на пяти дорожках, ленту шириной 22,5 мм применяют для записи информации на шести или семи дорожках, а лента шириной 25,4 мм позволяет перфорировать восемь дорожек. Ленты шириной 25,4 мм наиболее распространены в настоящее время (рис. 1.8).

Малая стоимость, удобство хранения, простота исправления, сравнительно высокая скорость записи и считывания пока обеспечивают достаточно широкое применение бумажных перфолент в системах с ЧПУ и устройствах вычислительной техники.

Информацию на перфолентах записывают с помощью перфораторов различных типов [67]. В подобном устройстве при нажатии клавиш пульта набора информации срабатывают (под действием электромагнитов) пуансоны в соответствии с кодовым значением символа клавиши. Заходя в отверстия матрицы, эти пуансоны пробивают отверстия в ленте. Например, при перфорировании пяти-

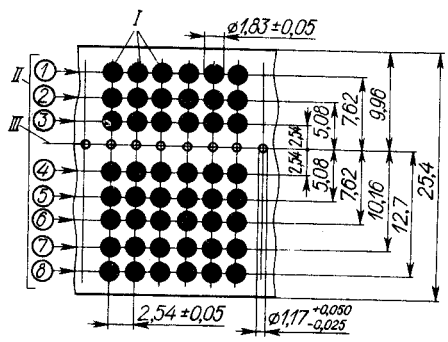


Рис. 1.8. Восьмидорожечная перфолента:
I — строчки; *II* — дорожки кодовых отверстий; *III* — транспортная дорожка

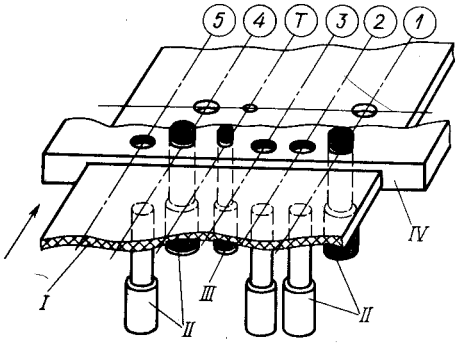


Рис. 1.9. Схема перфорирования отверстий

дорожечной ленты *I* (рис. 1.9) при нажатии клавиши пульта с символом 9 в отверстия матрицы *IV* заходят пуансоны *II* дорожек *1* и *4*, пробивая два отверстия на строке. Одновременно с пробивкой кодовых отверстий специальный пуансон *III* пробивает отверстие транспортной дорожки *T*, которая используется для перемещения (подачи) перфоленты в устройствах для считывания записанной на ленте информации.

Магнитные носители. Магнитная лента, магнитная проволока, магнитные барабаны и диски экономичны, компактны, имеют большую емкость и надежность, их можно многократно использовать для записи и перезаписи информации.

Магнитная лента — лента двухслойной композиции с эластичной подложкой *3* (рис. 1.10, *а*) из полимерного материала (ацетилцеллюлозы и др.). На подложку нанесен рабочий ферромагнитный слой *2* — порошок из окислов железа, который закреплен на поверхности ленты с помощью специального связующего вещества. Размер зерен порошка 0,3—0,9 мкм, толщина подложки 60—120 мкм, ферромагнитного слоя — 5—20 мкм. Для станков с ЧПУ наибольшее применение получила лента шириной 35 мм. Она обладает высокой механической прочностью и, кроме того, при случайной размотке рулона не образует узлов, повреждающих ленту, как это имеет место при использовании узкой ленты. Лента выдерживает высокие скорости протягивания и перемотки (до 200 мм/с), позволяет осуществлять многоканальную запись с числом дорожек до 15.

Информацию на магнитную ленту на каждой из дорожек записывают с помощью магнитных головок (рис. 1.10, *а*). Магнитная головка — электромагнит специальной конструкции, который состоит из двух полуколец *4*, изготовленных из листового пермоллоя. Сердечник магнитной головки имеет два зазора: верхний, заполняемый латунной прокладкой для уменьшения остаточного намагничивания самого сердечника и устранения паразитных токов, и нижний — воздушный (20—50 мкм), взаимодействующий с рабочим слоем магнитной ленты или другого носителя при протягивании с постоянной скоростью v около головки. Сердечник имеет одну или две обмотки с общей заземленной точкой. При прохождении импульса тока по обмотке головки в сердечнике возникает магнитное поле, которое замыкается в зоне воздушного зазора через ферромагнитный слой *2* ленты (рис. 1.10, *а*). Участок поверхности *1*, оказавшийся под сердечником, намагничивается в строго

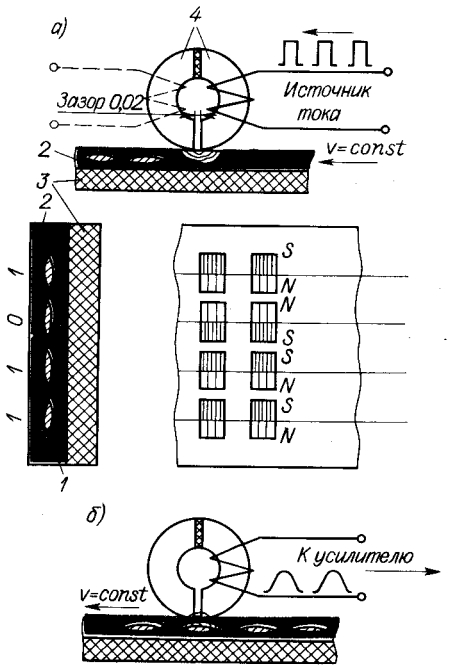


Рис. 1.10. Схемы записи (*а*) и считывания (*б*) информации при использовании магнитной ленты

определенном направлении. Этот участок имеет размеры порядка 10 мкм и носит название диполя, магнитного штриха, магнитного импульса. Диполь имеет собственное магнитное поле, и его можно рассматривать как элементарный постоянный магнит. Поле диполя сохраняется неограниченно долго, если его не подвергать действию внешних магнитных полей.

Расположение полюсов магнитного поля диполя зависит от того, на какую из двух обмоток подан импульс (если у головки две обмотки). Это позволяет кодировать подаваемые импульсы символами 1 и 0 и записывать информацию на магнитную ленту или другой магнитный носитель в кодированном виде. Например, если принять за 1 положение диполя с полюсом N слева (рис. 1.10, *а*), а за 0 — противоположное его положение, то, располагая диполи на разных дорожках, соответственно можно записать любую кодовую комбинацию.

Обычно кодированную форму представления информации на магнитных носителях применяют при их использовании в устройствах долговременной памяти ЭВМ. В станках с ЧПУ используют декодированную форму записи информации, выраженную с помощью унитарной системы счисления количеством записываемых импульсов (магнитных штрихов).

Считывается информация с носителя такой же головкой, что и запись. Когда перемещающийся вместе с носителем (лентой) диполь оказывается под неподвижной магнитной головкой в зоне воздушного зазора, то его силовые линии замыкаются через сердечник, изменяя в нем магнитный поток (рис. 1.10, *б*). Изменяющийся по величине магнитный поток, пересекая витки обмотки, индуцирует в ней ЭДС, воспринимаемую как полезный сигнал. Последовательное прохождение магнитных импульсов перед головкой, таким образом, обеспечивает соответствующее количество индуцированных импульсов тока. Естественно, что каждой дорожке магнитного носителя должна соответствовать отдельная магнитная головка.

Конструктивно отдельные магнитные головки объединены в считывающие блоки. Каждая головка экранируется для устранения влияния соседних головок и внешних магнитных полей. В отдельных конструкциях зазор между головками может составлять 1 мм.

Магнитные проволоки, барабаны, диски более долговечны по сравнению с лентой и позволяют за счет большей прочности повысить скорость записи и считывания. Это особенно относится к барабанам и дискам.

Магнитные барабаны (рис. 1.11, *а*) конструктивно выполняются как полые цилиндры из немагнитного материала: алюминиевого сплава Д16, латуни Л62 и ЛС59-1 и др. Шероховатость поверхности барабана, на которую наносят металлическое или ферритовое покрытие, должна быть исключительно малой ($R_a < 0{,}05$). Информация записывается и считывается магнитными головками (МГ), которым задают определенное положение вдоль образующей цилиндра. Барабан вращается, например от встроенного электродвигателя. Таким образом, информация записывается или считывается (при данном положении магнитной головки) с кольцевой магнитной дорожки. Если для записи и считывания применяют блок головок, например из 8, 16, 32 или 80 штук, то этим обеспечивается одновременное считывание (запись) соответствующего числа магнитных дорожек, каждая из которых может определять один разряд системы кодирования информации. После считывания (записи) информации с одного кольцевого участка происходит смещение блока магнитных головок на другой участок.

Имеются конструкции магнитных барабанов с системой фиксированных магнитных головок, когда каждой кольцевой дорожке соответствует своя магнитная головка.

Типы, основные параметры и технические требования к магнитным барабанам регламентирует ГОСТ 14128—73. Установлены ряд диаметров барабанов (от 60 до 630 мм), ряд длин (от 300 до 700 мм) и ряд частот вращения (от 750 до 1200 об/мин), а также требования по числу сбоев (не более одного на 10^{12} бит).

Емкость магнитных барабанов может

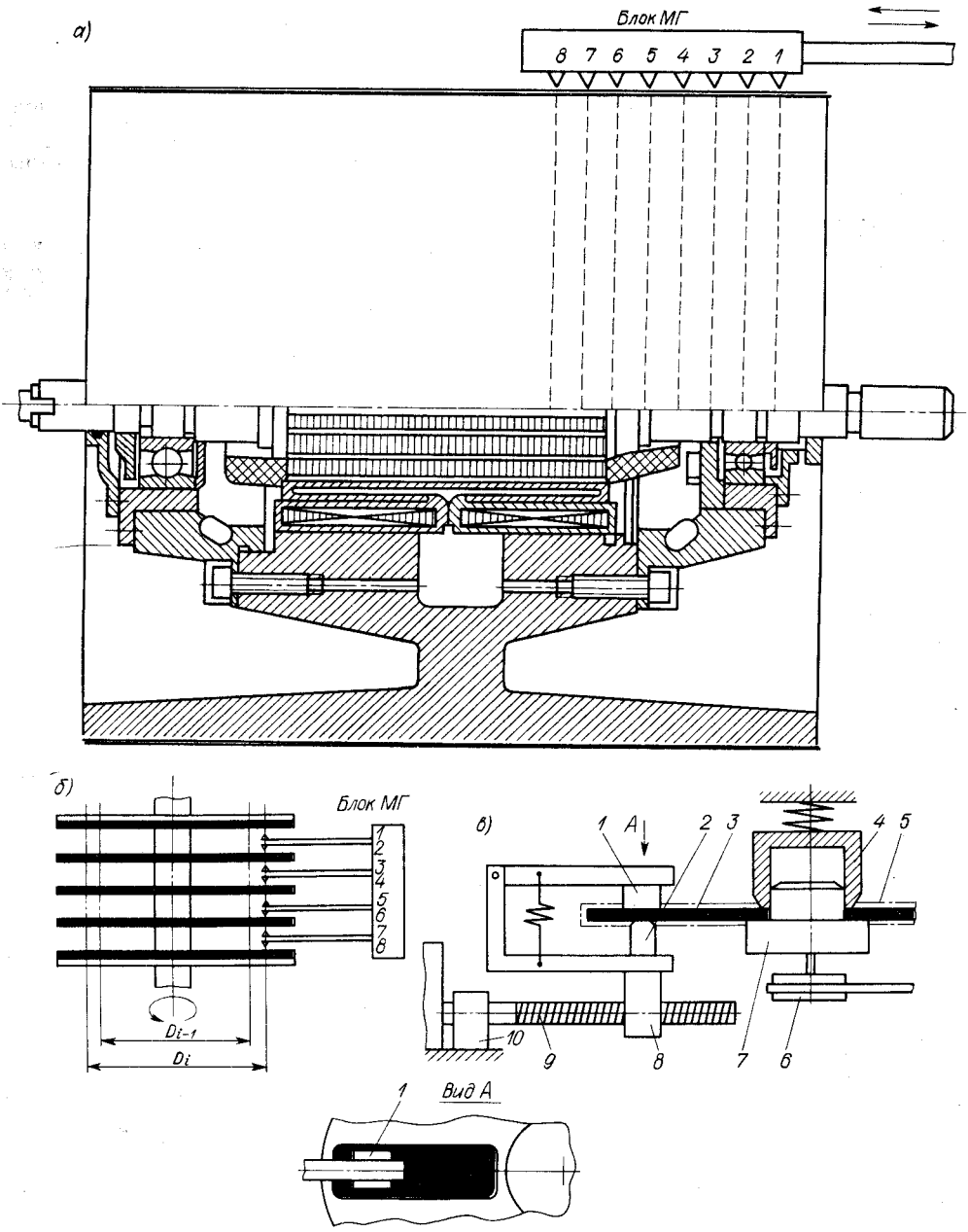


Рис. 1.11. Схемы внешних магнитных запоминающих устройств: *а* **— магнитного барабана;** *б* **— пятидискового съемного пакета;** *в* **— накопителя с гибким диском**

составлять (в зависимости от размера) 1—25 Мбайт и более. На 1 мм длины образующей барабана может размещаться не менее четырех дорожек при плотности записи вдоль дорожки 30—40 бит и более. Магнитные барабаны обеспечивают большие скорости записи и считывания информации (не менее 1,25 Мбайт/с), в ряде случаев соизмеримые со скоростью работы блоков (например, оперативного запоминающего устройства) ЭВМ.

Магнитные диски (МД) как носители (накопители) информации получили в настоящее время широкое распространение, особенно как элементы внешних запоминающих устройств ЭВМ. Главные преимущества накопителей на магнитных дисках (НМД): относительно небольшое время обращения при большом объеме хранимой информации; простота смены и хранения носителей; относительно невысокая стоимость носителя.

НМД подразделяют по ряду признаков: по числу дисков в накопителе — *однодисковые* и *многодисковые* (с пакетом МД); по материалу основы диска — *на жестких* и *гибких дисках*; по возможности смены носителя — *со стационарными* и *сменными пакетами дисков* (НСМД); по организации доступа к информации — накопители *с фиксированными* и *позиционируемыми магнитными головками*. В СССР широкое распространение получили НСМД, особенно однодисковые кассетные накопители емкостью около 1 Мбайт и многодисковые с пакетом из 6, 11 или 12 дисков и емкостью соответственно 7, 25, 29, 100, 200 Мбайт.

Основные технические характеристики современных НМД: время поиска (время доступа) информации (среднее) 10—90 мс; количество дорожек на одной стороне диска 77—410; частота вращения дисков 360—3600 об/мин; достоверность (для жестких МД) до 10^{12}.

Наибольшее распространение получили НМД с позиционируемыми магнитными головками (одна или несколько на рабочую поверхность). При нескольких МД, соединенных в пакет (рис. 1.11, *б*), все головки блока МГ совмещены с линией, проходящей через центры одноименных дорожек на дисках, перемещаются одновременно вдоль радиуса дисков и останавливаются в фиксированных положениях, число которых равно числу дорожек на диске. Воображаемая поверхность, объединяющая центры всех одноименных дорожек пакета МД, называется *цилиндром*. Количество и наименование (номер) цилиндров совпадают с количеством и наименованием дорожек. Выбор дорожки сводится к выбору цилиндра и выбору (включению в работу) одной из головок. В пакете НМД в качестве рабочих используются только внутренние поверхности МД. Сверху пакет имеет защитный диск, а снизу — секторный диск. Это обеспечивает высокую жесткость крайних дисков, испытывающих одностороннее воздействие магнитных головок. Головки обычно размещены на плоских пружинах и своими плоскими башмаками прижимаются к поверхности дисков. Благодаря большой линейной скорости дисков при их вращении между ними и головками образуется воздушный клин, поэтому головки «плавают» над поверхностью дисков с зазором около 5 мкм, что обеспечивает их долговечность.

Внешний диаметр большинства жестких МД, основой которых является кольцо из немагнитного листового материала, например алюминиевого сплава Д16МП, не превышает 400 мм. Толщина диска может быть 1,27—1,9 мм, поверхность покрывается ферролаковыми или металлическими покрытиями толщиной от 0,9—1,2 до 4—6 мкм. Плотность записи у дисков в зависимости от типа составляет 40—160 бит/мм. Существуют диски, имеющие продольную плотность информации 300—500 бит/мм и поперечную до 40 дорожек/мм.

Существуют различные способы записи (считывания) информации на МД. При последовательном способе запись информации начинается с верхней дорожки внешнего цилиндра. Последовательно, сверху вниз подключая магнитные головки к источнику информации, записывают все дорожки одного цилиндра, затем блок магнитных головок перемещают на следующий цилиндр, дорожки которого опять записывают по очереди, например опять сверху вниз. Так последовательно записывают все цилиндры блока МД.

Накопители на гибких сменных дисках отличаются относительно простой конструкцией. Диски, изготовляемые из полимерных материалов, сравнительно недороги, удобны, компактны. На ступицу *7* приводного механизма вращения *6* (рис. 1.11, *в*) диск *3* устанавливают вместе с кассетой *5* и крепят прижимом *4*.

В кассете *5* имеется радиальная прорезь определенной ширины на всю длину рабочей зоны диска. В прорези располагается магнитная головка *2*, которая поджимается к диску прижимом *1*, размещаемым над диском напротив головки. Магнитная головка вместе с прижимом перемещается вдоль прорези с помощью механизма позиционирования (привод *10*, винт *9*, гайка *8*), устанавливающего магнитную головку на заданной дорожке. Замена диска (с кассетой) проста и не занимает много времени.

Общие недостатки всех магнитных программоносителей: невозможность визуального контроля записанной информации и ее корректировки; более высокая стоимость по сравнению с перфокартами и перфолентами.

Внутренние программоносители

По сравнению с внешними внутренние программоносители имеют следующие достоинства: возможность ввода информации (набора программы) непосредственно на рабочем месте; наглядность введенной информации; возможность корректировки введенной информации в процессе ее использования для управления оборудованием.

Недостатки внутренних программоносителей: малая емкость; невозможность хранения информации (программы) после ее использования и переналадки оборудования.

В штекерных панелях (рис. 1.12) информация вводится путем установки в соответствующие гнезда специальных элементов — штекеров. На лицевой части *2* указаны адреса *1* и номера строк. Штекеры *3* устанавливаются в соответствующие гнезда *4* панели и замыкают верхние *6* и нижние *5* шины, определяя конкретную схему включения исполнительных реле. Таким образом, каждой строке соответствует определенный набор исполнительных команд, которые задаются установкой штекеров. В процессе обработки заданной программы последовательно считываются строки. В некоторых конструкциях панелей предусмотрено использование специальных штекеров со встроенными диодами [11].

Если штекерная панель выполнена в форме барабана, то информация считывается при повороте барабана путем воздействия набора штекеров на головки микровыключателей в определенной комбинации.

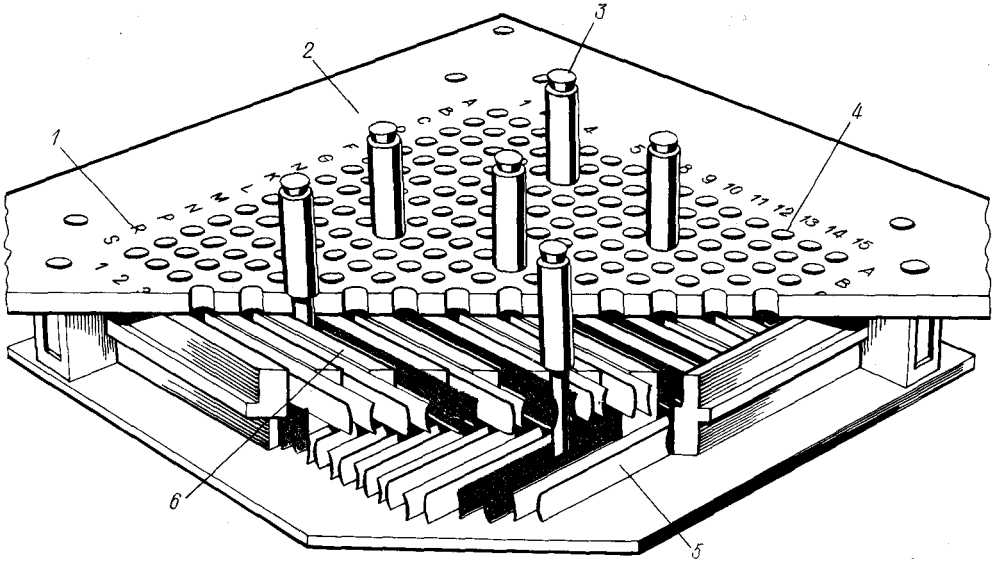


Рис. 1.12. Штекерная двухслойная панель

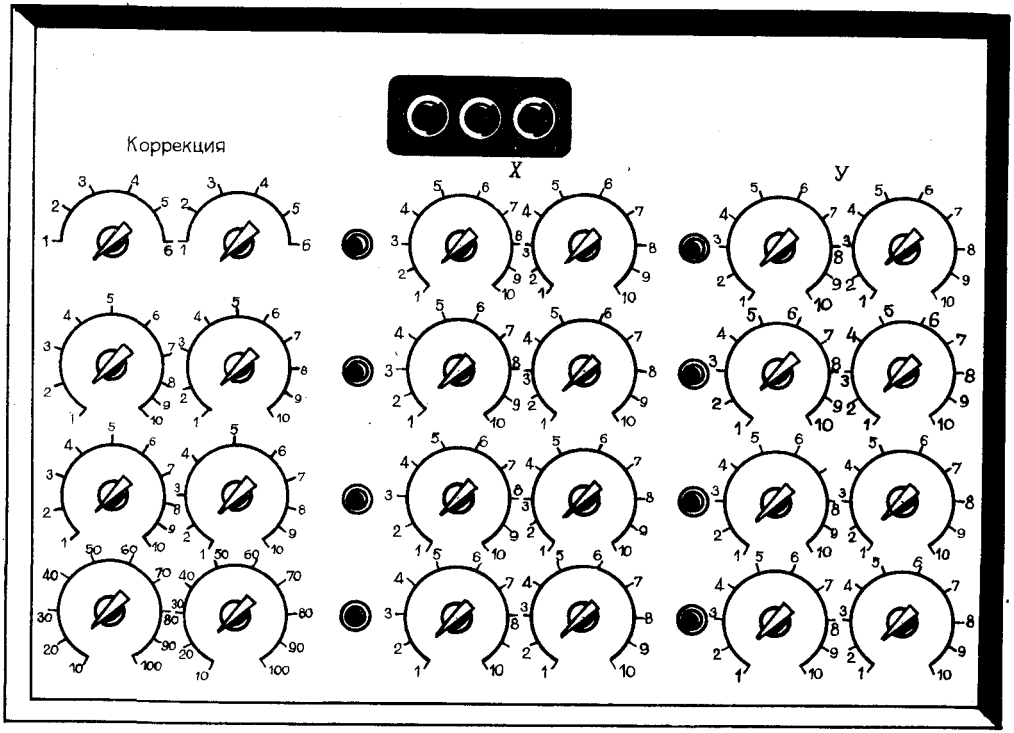


Рис. 1.13. Панель с секторными переключателями

В панелях с переключателями (рис. 1.13) информация вводится установкой переключателей в нужную позицию. Подобная схема задания программ очень проста и удобна. Она широко используется в станках с ЧПУ для ввода различных команд.

Для введения цифровой информации (например, коррекций) используют пульты, состоящие из набора небольших панелей с дисковыми декадными переключателями (рис. 1.14).

Электронно-лучевые трубки являются наиболее скоростными программоносителями. Запись и считывание информации в ячейках трубки осуществляются электронным лучом со скоростью до $200 \cdot 10^3$ имп./с.

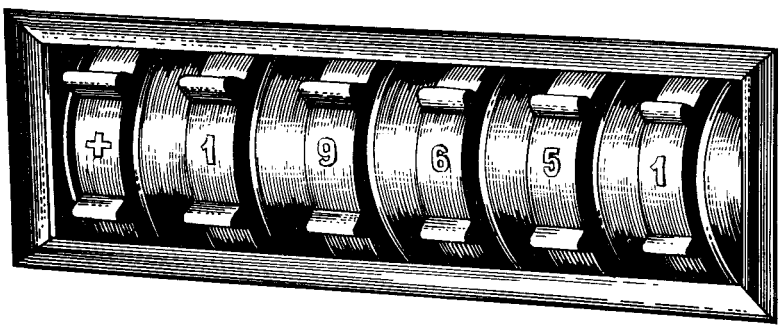


Рис. 1.14. Дисковый декадный переключатель

1.5. ПОДГОТОВКА ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

Представление траектории обработки. Детали, обрабатываемые на станках с ЧПУ, можно рассматривать как геометрические объекты. При обработке детали инструмент и заготовка перемещаются относительно друг друга по определенной траектории. Программа обработки детали задает (описывает) движение определенной точки инструмента — его центра (P). Для концевой фрезы со сферическим торцом это центр полусферы, для концевой цилиндрической, сверла, зенкера, развертки — центр основания, для резцов — центр дуги окружности при вершине и т. д. (рис. 1.15). Если принять, что радиус инструмента во время обработки детали по контуру остается постоянным, то траектория центра инструмента при контурной обработке является эквидистантной контуру детали (рис. 1.15, *а — е*). Однако это встречается не всегда. Траектория движения центра инструмента может существенно отличаться от линий контура детали (рис. 1.15, *ж — л*), так как в противном случае эквидистантное перемещение инструмента или перемещение инструмента точно по контуру привело бы к погрешности обработки. Поэтому в ряде случаев под эквидистантой понимают такую траекторию движения центра инструмента, при которой обеспечивается обработка заданного контура.

Движение по эквидистанте относится только к траектории рабочих ходов. Перемещения центра инструмента при обработке детали могут быть также подготовительными и вспомогательными. Характер этих движений во многом зависит от задаваемого в начале программирования положения исходной (нулевой) точки, от расположения приспособления и т. д.

Из сказанного ясно, что для обработки детали по программе прежде всего необходимо определить рабочие, подготовительные и вспомогательные траектории перемещения центра принятого для работы инструмента.

Относительно контура обрабатываемой детали траектория движения центра инструмента при обработке может располагаться по-разному: совпадать с контуром, быть эквидистантной контуру, изменять положение относительно контура по определенному закону. Для полной обра-

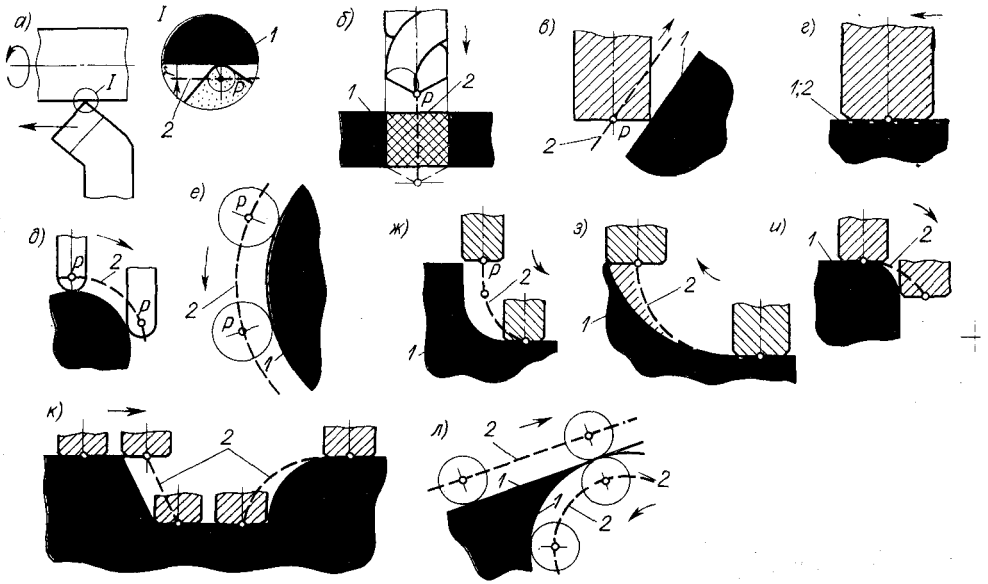


Рис. 1.15. Схемы траекторий центра инструмента:
1 — контур детали; *2* — траектория движения центра инструмента

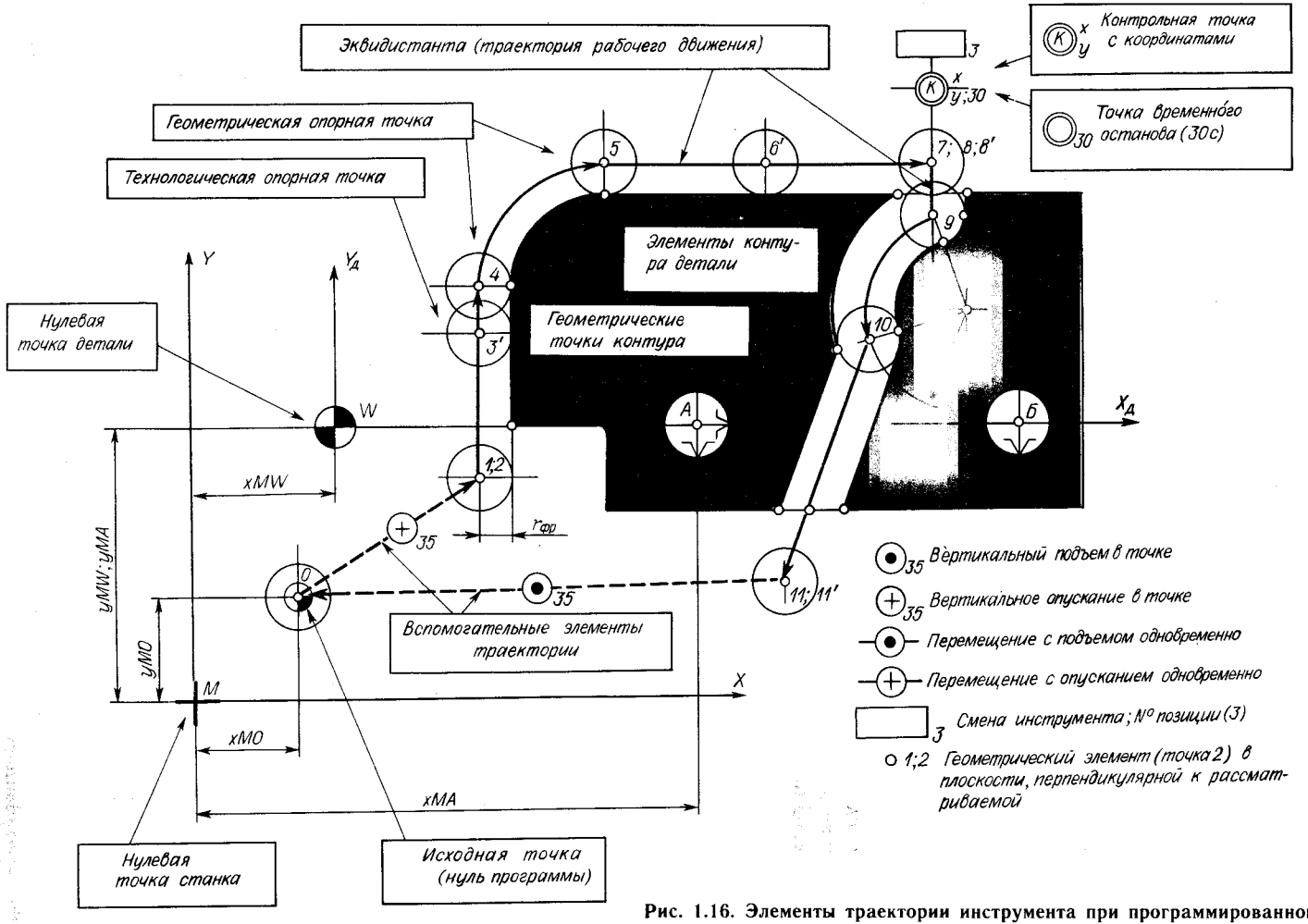


Рис. 1.16. Элементы траектории инструмента при программированной обработке

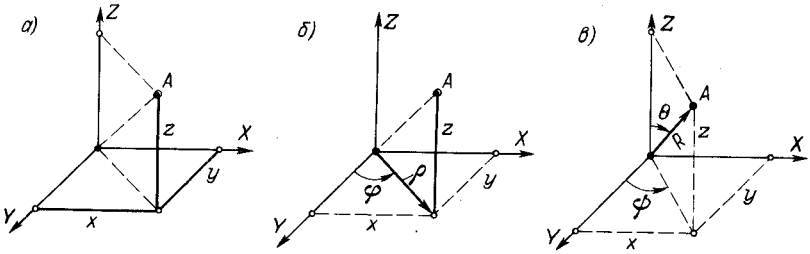


Рис. 1.17. Системы координат: *а* **— прямоугольная;** *б* **— цилиндрическая;** *в* **— сферическая**

ботки детали (для выполнения заданной операции) траектория движения центра инструмента должна быть непрерывной. Разработать (определить) ее сразу как единое целое практически очень трудно, поскольку в общем случае программируемая траектория является достаточно сложной, определяющей перемещения центра инструмента в пространстве. Поэтому в практике программирования траекторию инструмента представляют состоящей из отдельных, последовательно переходящих друг в друга участков, причем эти участки могут быть или участками контура детали, или участками эквидистанты.

В общем случае участки траектории движения центра инструмента и траекторию в целом удобно представить графически, исходя из зафиксированного определенным образом положения контура обрабатываемой детали (рис. 1.16).

Отдельные участки контура детали и эквидистанты называются геометрическими элементами. К ним относятся отрезки прямых, дуги окружностей, кривые второго и высших порядков. Точки пересечения элементов или перехода одного элемента в другой находят как геометрические опорные (узловые) точки. Эти точки в большинстве случаев являются определяющими при задании положения элементов контура (эквидистанты) в пространстве. Это положение, так же как и величина и направление движения инструмента, задается в системе координат с определенной заданной нулевой точкой. Такая точка может быть у станка — нулевая точка станка (нуль станка) или у детали — нулевая точка детали (нуль детали). Она является началом системы координат данной детали.

Нуль детали W (см. рис. 1.16) может быть задан относительно нуля станка M соответствующими координатами xMW, yMW [1]. Свою систему координат имеет инструмент, приспособление. Естественно, что при программировании следует учитывать взаимосвязь всех систем координат (см. гл. 2).

В системе координат станка координатами xMO и yMO может быть задана исходная точка O, которая используется для начала работы по программе. Обычно с этой точкой перед началом работы совмещают центр инструмента.

В станках с ЧПУ наиболее употребительны прямоугольные (декартовы), цилиндрические и сферические системы координат (рис. 1.17).

В *прямоугольной системе* координатами некоторой точки A называются взятые с определенным знаком расстояния x, y и z от этой точки до трех взаимно перпендикулярных координатных плоскостей. Точка пересечения координатных плоскостей называется началом координат, а координаты x, y, z — соответственно абсциссой, ординатой и аппликатой.

В *цилиндрической системе* координат положение точки в пространстве задается полярными координатами: радиусом ρ и центральным углом φ (положение проекции точки на основной плоскости), а также аппликатой z — расстоянием от точки до основной плоскости.

В *сферической системе* координат точка задается длиной радиус-вектора R, долготой ψ и полярным углом θ.

Переход из одной системы координат

[1] Координаты в общем виде задаются совокупностью трех символов: символа оси (например, x), обозначения исходной точки (например, M) и обозначения конечной точки (например, W).

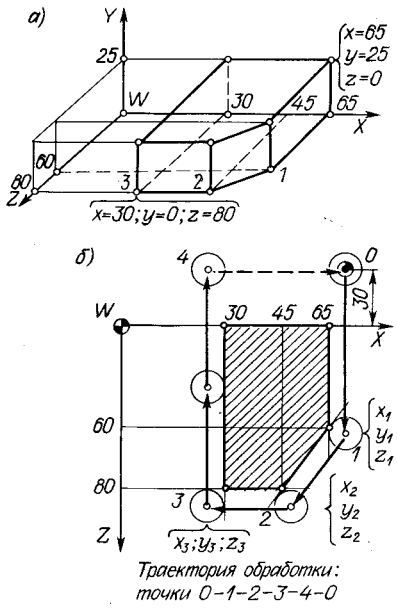


Рис. 1.18. Схема определения координат опорных точек контура детали (*а*) и траектории движения центра инструмента (*б*)

в другую осуществляется путем несложного пересчета.

Таким образом, в определенной системе координат контур детали и траектория перемещения центра инструмента относительно этого контура могут быть представлены геометрическими элементами с опорными точками, заданными координатами или в пространстве, или на плоскости (рис. 1.18).

На траектории движения центра инструмента могут быть назначены также технологические опорные точки, т. е. точки, где изменяются какие-то технологические параметры, например подача инструмента и др., точки временного останова с указанием времени останова и т. д. (см. рис. 1.16).

При обработке детали инструмент может перемещаться или в одной плоскости — плоская обработка, при которой используются две управляемые координаты, или иметь сложное перемещение в пространстве — объемная обработка. Однако чаще всего объемные поверхности деталей обрабатывают строчками, каждая из которых является плоской кривой.

Опорные точки на траектории движения инструмента позволяют представить эту траекторию как определенную последовательность точек, проходимых центром инструмента (см. рис. 1.16) при обработке детали. Каждое из положений (каждая опорная точка) в выбранной системе координат может быть определено числами, например координатами. Сочетание таких чисел, определяющих ряд последовательных положений инструмента, или, иначе, ряд опорных точек траектории, и будет представлять основную часть программы работы станка, выраженную в числовом виде (см. рис. 1.18).

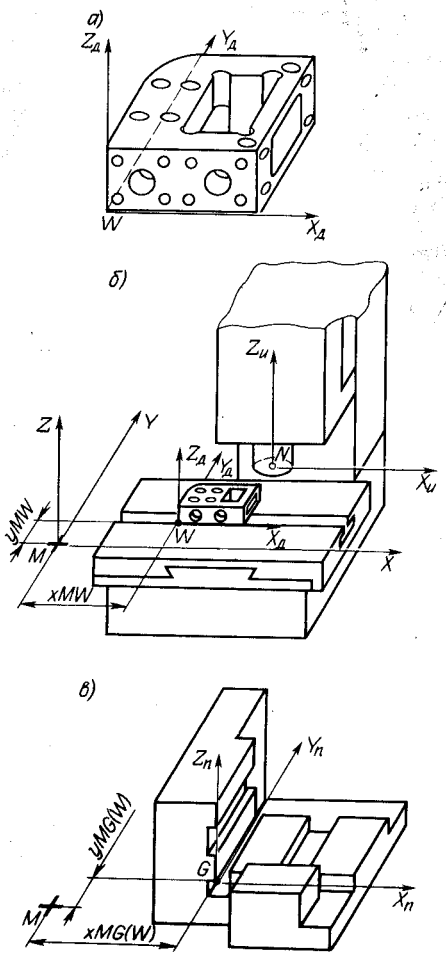


Рис. 1.19. Схема расположения детали на станке: *а* — деталь в системе координат детали; *б* — размещение детали на станке; *в* — система координат приспособления

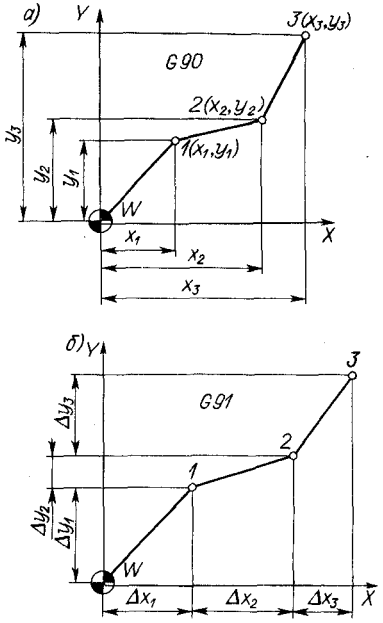


Рис. 1.20. Схемы задания координат опорных точек *1—3*: *а* — абсолютные размеры; *б* — размеры в приращениях

В начале программирования в системе координат детали $X_д Y_д Z_д$ задают положение базовых элементов заготовки (рис. 1.19, *а*). Относительно нуля детали (точка W) задаются при программировании все опорные точки, определяющие траекторию движения центра инструмента при обработке.

При установке детали на станок (рис. 1.19, *б*) положение нуля детали (точки W) будет зафиксировано относительно координатной системы станка XYZ координатами xMW, yMW, zMW.

Если при обработке детали используют приспособление (рис. 1.19, *в*), то оно должно быть закоординировано на станке относительно нуля станка (точки M).

Система $Z_и N X_и$ определяет координатную систему инструмента (см. рис. 1.19, *б*).

Естественно, что при установке детали в приспособлении координатная система детали $X_д W Y_д$ должна совпадать с координатной системой приспособления $X_п G Y_п$.

При обработке детали при движении по элементам траекторий (прямым, дугам, кривым) в промежутках между опорными точками инструмент в определенных случаях может перемещаться по траектории, несколько отличающейся от заданной. Однако можно задать такое число опорных точек, при котором отклонения фактической траектории от требуемой будут меньше некоторой наперед заданной величины и деталь будет обработана в пределах заданной точности.

Таким образом, начальный этап представления траектории обработки детали связан прежде всего с получением координат опорных точек траектории. Эти координаты могут быть выражены абсолютными размерами, т. е. для каждой опорной точки заданными относительно нулевой точки станка или детали (рис. 1.20, *а*), или задаваться в виде приращений в направлении движения инструмента от одной опорной точки к другой (рис. 1.20, *б*). При записи УП способ задания кодируется буквенно-цифровыми символами $G90$ (абсолютные координаты) и $G91$ (размеры в приращениях). Так, при перемещении центра инструмента (рис. 1.20, *б*) из точки W в точку *1* координата x изменится на величину Δx_1, а координата y — на величину Δy_1; при дальнейшем движении из точки *1* в точку *2* приращение по оси X составит Δx_2, по оси Y — Δy_2 и т. д. Задание координатами точек траектории движения центра инструмента зависит во многом от способа задания размеров детали (рис. 1.21).

В большинстве систем ЧПУ работой станка управляют дискретно, с помощью импульсов. Цена одного импульса (наименьшее программируемое перемещение), или дискретность системы, отражает разрешающую способность комплекса, включающего систему ЧПУ, механизм подач и датчики обратной связи. Исходя из дискретности системы приращения координат между опорными точками траектории можно выразить не в мм, а количеством импульсов. Например, если дискретность по оси X составляет 0,01 мм/имп., а по оси Y — 0,02 мм/имп., то значения Δx и Δy, равные, например, соответственно 12,85 мм и 8,6 мм, в импульсах будут выражены следующим образом: $\Delta x = 1285$ имп., $\Delta y = 430$ имп.

Задание приращений по двум осям координат, однако, еще не определит

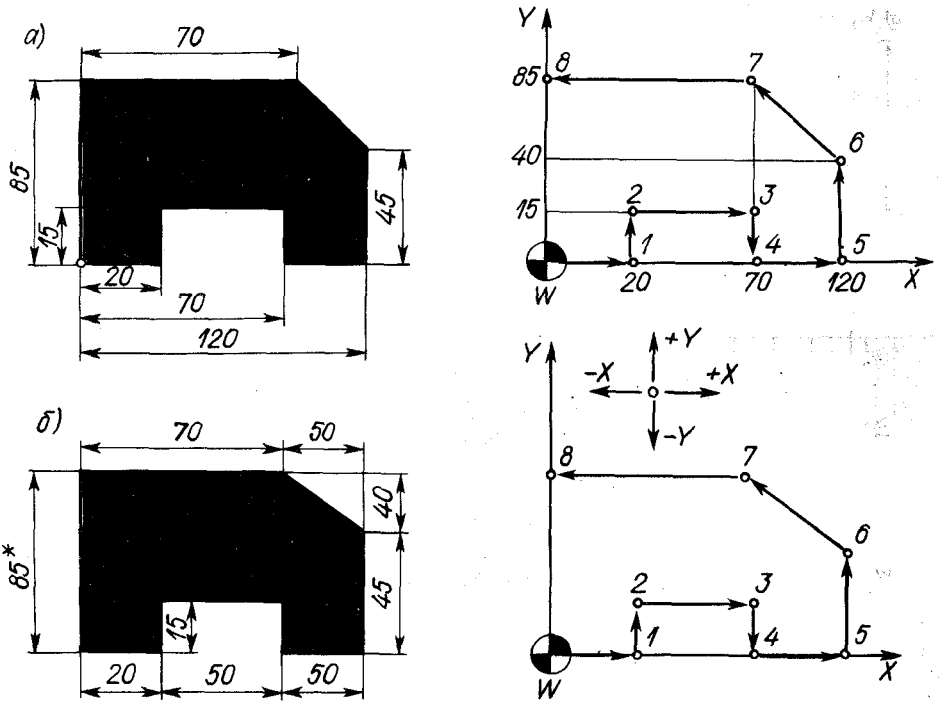


Рис. 1.21. Схемы задания размеров деталей: *а* — абсолютные размеры (x, y); *б* — относительные размеры (Δx, Δy):

Точка	x	y	Δx	Δy	Точка	x	y	Δx	Δy
	мм					мм			
W	0	0	0	0	*5*	120	0	+50	0
1	20	0	+20	0	*6*	120	40	0	+45
2	20	15	0	+15	*7*	70	85	−50	+40
3	70	15	+50	0	*8*	0	85	−70	0
4	70	0	0	−15					

заданного прямолинейного движения инструмента между точками. Даже при постоянной скорости подачи по осям вследствие неравенства координат заданной точки ($\Delta x_1 \neq \Delta y_1$) время движения по оси X не будет равно времени движения по оси Y и заданная траектория будет искаженной (на рис. 1.22, *а* показано штрихами). Как уже говорилось, приблизить фактическую траекторию к заданной можно введением дополнительных (промежуточных) опорных точек (точки *2*—*5* на рис. 1.22, *б*) и заданием соответствующей последовательности перемещений инструменту между этими точками, например: (Δx, Δy); ($2\Delta x$); ($2\Delta x$, $2\Delta y$); (Δx); (Δx, Δy), т. е. траекторию по сравнению с ранее определенной (см. рис. 1.22, *а*) приходится разбивать на более мелкие участки. Величина δ определит ошибку в отработке.

При программировании введение дополнительных опорных точек приводит к резкому увеличению расчетов и объема программы. Поэтому в практике детальное представление заданной траектории движения инструмента между двумя опорными точками (с выдачей команд на соответствующие перемещения по осям) осуществляется с помощью специального вычислительного устройства — элемента УЧПУ — интерполятора. Интерполятор непрерывно, т. е. в каждый данный момент, в процессе перемещения

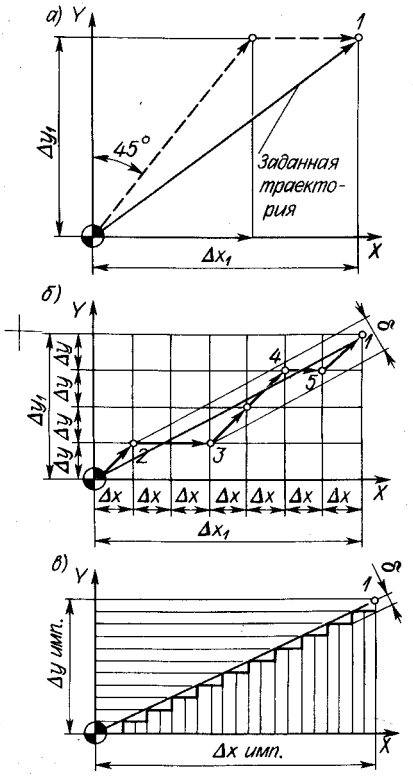


Рис. 1.22. Линейные траектории перемещения центра инструмента

(в соответствии с заданными приращениями) инструмента от одной опорной точки к другой поддерживает функциональную связь между координатами опорных точек, т. е. обеспечивает отработку траектории в зависимости от вида функции. Если функция выражает прямую линию, то отрабатываемая траектория будет линейной, а интерполятор называется линейным. В процессе работы такой интерполятор при исходных заданных приращениях Δx_1 и Δy_1 (см. рис. 1.22, *а*) непрерывно должен поддерживать такое соотношение скоростей движения инструмента по осям, при котором инструмент будет перемещаться по заданной линейной траектории.

Обеспечить точно функциональную связь между движениями по осям координат в каждой данной точке траектории очень сложно. В большинстве существующих станков перемещение инструмента по заданной траектории осуществляется приближенно, путем включения подачи попеременно то вдоль одной, то вдоль другой оси. При этом интерполятор системы управления непрерывно оценивает отклонения от заданной траектории и стремится свести эти отклонения к минимуму. Скачки ступенчатой траектории при формировании заданной незначительны. Они равны или кратны цене одного управляющего импульса, поступающего из интерполятора, или импульса, формируемого датчиком обратной связи. Например, прямая наклонная линия может формироваться попеременной подачей на приводы импульсов в такой последовательности: один импульс по оси Y и два импульса по оси X (рис. 1.22, *в*). Поскольку в современных станках наиболее часто цена импульса принимается равной 0,001 мм, то перемещение между двумя соседними опорными точками практически можно рассматривать как плавное. Интерполяция может быть также круговой, с помощью полиномов второй и высших степеней и др.

Работа интерполятора как вычислительной машины основана на решении определенных задач. Известно несколько методов интерполяции, среди которых наиболее распространен метод оценочной функций, основанный на решении алгебраических уравнений [15, 73].

При линейной интерполяции отрезок прямой рассматривается в системе координат, начало которой совмещено с начальной точкой T_0 интерполируемого отрезка T_0T_k (рис. 1.23, *а*). Оценочную функцию для любой из промежуточных точек T_i траектории вдоль прямой можно выразить формулой

$$F_{ij} = y_j x_k - x_i y_k, \qquad (1.6)$$

где x_k, y_k — координаты конечной точки T_k интерполируемого отрезка; координаты начальной точки при интерполяции отрезка прямой равны нулю; x_i, y_j — текущие координаты точки T_i траектории, определяемые числом элементарных дискретных перемещений i вдоль оси X и j вдоль оси Y.

Логическая сущность оценочной функции состоит в том, что для всех точек заданной прямой справедливо (рис. 1.23, *а*) соотношение $y_k/x_k = y_j/x_i$, или

$$y_k x_i = y_j x_k. \qquad (1.7)$$

Разность произведений $y_j x_k - y_k x_i = F_{ij}$ определит зону, где расположена точка. Естественно, что при $F_{ij}=0$ точка находится на прямой, т. е. справедливо соотношение (1.7). Если $F_{ij}>0$, то точка находится выше прямой (например, y_j больше, чем требуется, или x_i меньше); при $F_{ij}<0$ точка находится (рис. 1.23, *б*) ниже прямой (например, y_j меньше, чем требуется, или x_i больше). Таким образом, можно считать, что интерполируемая прямая делит плоскость на две части: область $F>0$, где оценочная функция после подстановки в нее координат точек этой области принимает положительные значения, и область $F<0$, где значения оценочной функции отрицательны. Интерполятор определяет последовательность элементарных дискретных перемещений в зависимости от квадранта, в котором расположен интерполируемый отрезок. Для случая, когда отрезок находится в первом квадранте системы координат, направление элементарного дискретного перемещения определяется в зависимости от расположения предыдущей точки: если она находится в области $F \geqslant 0$, то дискретное перемещение осуществляется вдоль оси X, если в области $F<0$, то вдоль оси Y. И так до тех пор, пока текущая точка траектории не совпадет с точкой конца интерполируемого отрезка.

В соответствии с принятым характером перемещений интерполятор выдает попеременно импульсы управления то по одной, то по другой координате. Например (рис. 1.24, *а*), если из начальной точки T_0 согласно поданному импульсу управления центр инструмента переместился по траектории T_0-1, то интерполятор, определив для координат точки *1* значение функции $F_{ij}=y_1x_k-y_kx_1<0$, следующие импульсы будет подавать в цепь управления приводом подач станка по оси Y. После подачи каждого импульса интерполятор определяет значение оценочной функции. Как только после подачи очередного импульса оценочная функция ($F_{ij}=y_2x_k-y_kx_1$) изменится, т. е. станет либо равна нулю, либо больше нуля (в точке *2*, рис. 1.24, *а*), интерполятор опять начнет выдавать импульсы для управления приводом перемещения

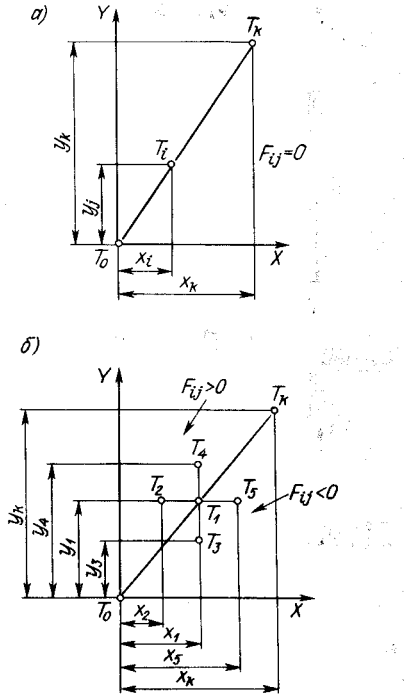


Рис. 1.23. Схемы к определению оценочной функции:

Точка	Оценочная функция
T_1	$y_1x_k-y_kx_1=F_{11}=0$
T_3	$y_3x_k-y_kx_1=F_{13}<0$
T_4	$y_4x_k-y_kx_1=F_{14}>0$
T_2	$y_1x_k-y_kx_2=F_{21}>0$
T_5	$y_1x_k-y_kx_5=F_{51}<0$

по оси X, прекратив подачу импульсов в привод управления перемещением по оси Y (рис. 1.24, *б*). В точке *3* значение $F_{ij}=y_2x_k-y_kx_3$ станет меньше нуля и интерполятор обеспечит движение к точке *4*, выдавая импульсы в привод перемещения по Y. И так далее для всего отрезка от точки T_0 до точки T_k. Следует иметь в виду, что количество импульсов на отрезке перемещения от точки к точке зависит от дискретности системы УЧПУ.

При круговой интерполяции начало системы координат совмещается с центром окружности радиуса R (рис. 1.25, *а*). Оценочная функция для любой из промежуточных точек траектории вдоль окружности выражается формулой $F_{ij}=x_i^2+y_j^2-R^2$. Формула получена из соотношения $x_i^2+y_j^2=R^2$, справедливого для точек, лежащих на дуге.

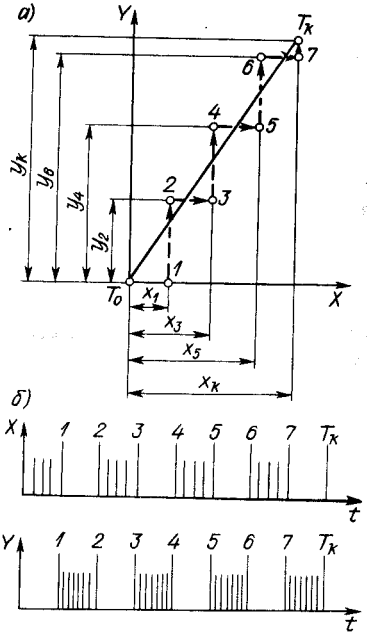


Рис. 1.24. Линейная интерполяция по методу оценочной функции: *а* **— схема траектории;** *б* **— схема подачи импульсов по осям** *X* **и** *Y*

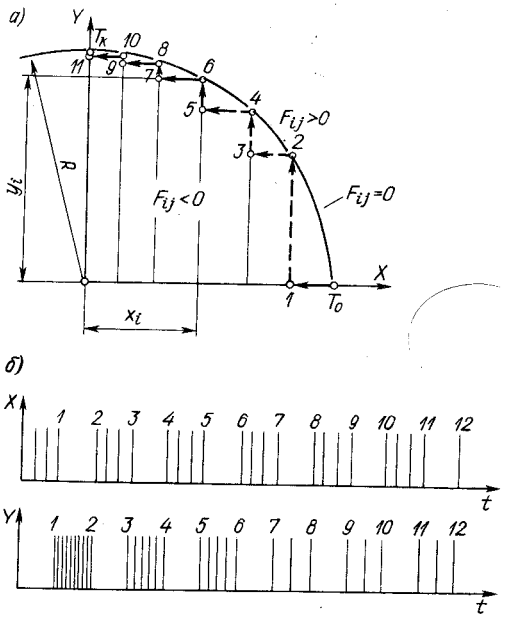


Рис. 1.25. Круговая интерполяция: *а* **— схема траектории;** *б* **— схема подачи импульсов по осям** *X* **и** *Y*

Окружность делит плоскость на две части: область $F>0$, расположенную вне окружности, и область $F<0$, находящуюся внутри нее. В зависимости от направления движения вдоль окружности (по или против часовой стрелки) и квадранта расположения интерполируемой дуги выбирается правило определения последовательности элементарных дискретных перемещений. Для иллюстрируемого случая проверяется положение текущей точки: если $F\geqslant 0$, дискретное перемещение осуществляется в отрицательном направлении оси X, а если $F<0$ — в положительном направлении оси Y. Интерполяция начинается в точке T_0 и продолжается до тех пор, пока не будет достигнута точка T_k дуги окружности или граница квадранта. Выполняя работу, интерполятор соответственно направляет импульсы в привод подач то по X, то по Y (рис. 1.25, *б*).

Помимо расчета необходимого количества импульсов для подачи в систему привода той или иной оси интерполятор обеспечивает и выдачу этого количества для управления. Поскольку в УЧПУ большое распространение получили интерполяторы, построенные по схеме импульсных умножителей, кратко рассмотрим работу такого интерполятора (рис. 1.26). Задающим элементом УЧПУ является генератор импульсов (ГИ), который формирует импульсы и подает их с определенной частотой на счетчик интерполятора. Как правило, частота подавае-

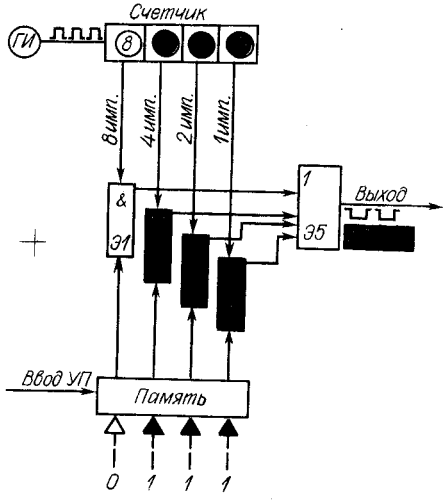


Рис. 1.26. Функциональная схема линейного интерполятора

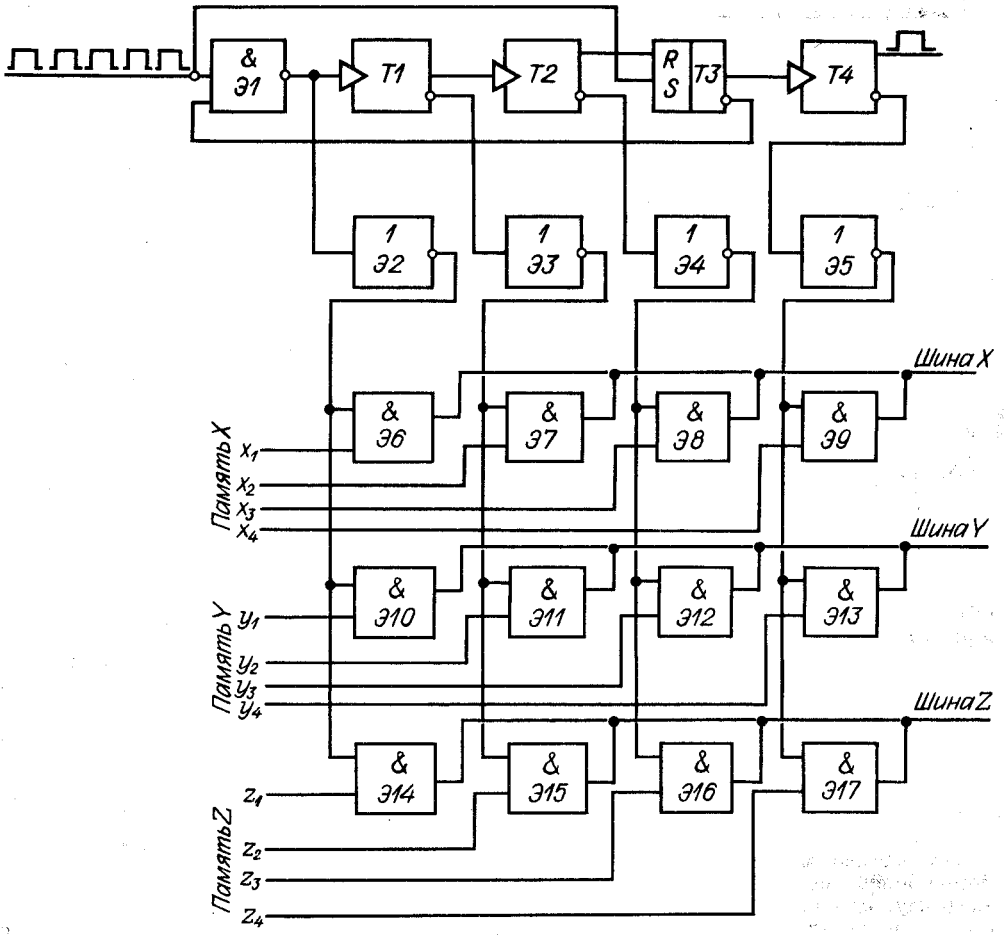


Рис. 1.27. Функциональная схема блока декад линейного интерполятора:
Э1—Э17 — логические элементы; *Т1—Т4* — счетчики

мых импульсов определяется в зависимости от программируемой подачи. Для ряда систем ЧПУ частота рассчитывается и записывается в УП. Сделать это нетрудно [6]. Счетчик построен таким образом, что на каждые десять входящих в него импульсов (от генератора) с первого его выхода на вход в логический элемент И (*Э1*) поступает восемь импульсов; со второго — четыре (*Э2*); с третьего — два (*Э3*) и с четвертого — один (*Э4*), т. е. в системе имеется возможность получения импульсов со счетчика в соответствии с разрядами двоичной системы счисления (8421). Вторые входы элементов И (*Э1 — Э4*) соединены с разрядами регистра памяти интерполятора, в которой в каждый данный момент находится кодированная (в двоично-десятичном коде) информация о задаваемом перемещении (указано количество импульсов). Следовательно, на вторые входы элементов И с соответствующих разрядов регистра памяти будут поступать нули или единицы, т. е. данные управляющей программы. Так как на вход элементов *Э1—Э4* непрерывно подаются импульсы от генератора в соотношении 8421, то возможность их прохождения через эти элементы к выходному (суммирующему) элементу *Э5* определят сигналы на элементы *Э1—Э4* от регистра памяти. Если на элементы *Э1—Э4* с регистра памяти поступят единицы, то эти элементы пропустят импульсы от счетчика, а если нули — то

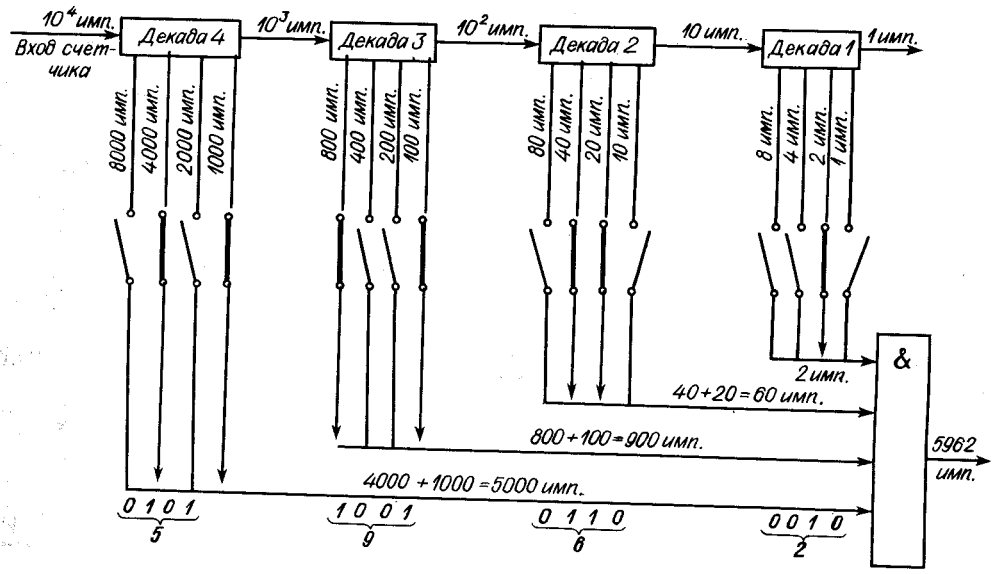


Рис. 1.28. Структурная схема отбора импульсов со счетчика

нет. Итак, на выходе рассмотренного блока линейного интерполятора формируется число импульсов, соответствующих коду, записанному в регистре памяти.

Например, программой задано и введено в регистр памяти число семь; в двоично-десятичном коде оно имеет вид 0111 (см. рис. 1.26). Восемь импульсов с первого выхода счетчика не пройдут элемент И (*Э1*), так как на второй вход *Э1* из регистра памяти поступает нуль. Следовательно, с выходов счетчика пройдут на элемент ИЛИ (*Э5*) соответственно четыре, два и один импульс. В результате на выходе блока интерполятора (элемента *Э5*) будет сформировано семь импульсов, что соответствует коду в регистре памяти в данный момент.

В целом линейный интерполятор построен из нескольких блоков, подобных рассмотренному. Интерполятор может быть выполнен с четырьмя блоками декад: тысяч, сотен, десятков и единиц динат (X, Y, Z). При этом двоично-десятичный счетчик представляет собой последовательное соединение четырех декад; тысяч, сотен, десятков и единиц (рис. 1.28). Импульсы переполнения младших декад служат входными импульсами для последующих, старших. Выходы счетчика по одной координате во всех декадах объединены и представляют одну шину отбора (X, Y или Z), на которую поступает столько импульсов, сколько закодировано в программе и записано в память по данной координате в данном кадре.

Таким образом, как видно из сказанного, объем работ по программированию во многом зависит от системы интерполяции, заложенной в системе управления станком.

Аппроксимация дуг окружностей. На станках с ЧПУ, снабженных лишь линейными интерполяторами, программирование обработки деталей затруднено, если траектории выражены дугами окружностей и кривыми другого порядка. Дуги окружностей для ввода информации в УЧПУ с линейным интерполятором аппроксимируют ломаными линиями с введением по дуге определенного числа опорных точек (рис. 1.29). Величина элементарных участков между точками — участков аппроксимации — зависит от углового шага $\Delta\varphi$ — центрального угла дуги, которую заменяют хордой, секущей или касательной.

Угловой шаг $\Delta\varphi$, а следовательно, и число опорных точек на дуге зависят при заданном радиусе R от принимаемого значения стрелки прогиба δ, определяющей точность аппроксимации, т. е. степень приближения ломаной линии к дуге окружности. Естественно, что чем меньше

значение принятого углового шага, тем ближе обработанный контур будет по форме приближаться к круговому (заданному). Но при программировании следует учитывать также, что уменьшение δ приводит к увеличению расчетных работ и объема программы из-за увеличения числа опорных точек.

Угловой шаг для заданного радиуса и назначенной величины δ можно определить или расчетом, или по таблицам, или ориентировочно по графикам. При выборе углового шага следует учитывать характер траектории инструмента. Для облегчения расчетов при аппроксимировании следует использовать специальные таблицы [48].

В современных условиях большинство станков с ЧПУ оснащены УЧПУ с линейно-круговыми интерполяторами, поэтому заниматься вопросами аппроксимации дуг окружностей технологу-программисту приходится сравнительно редко. Эти задачи встречаются в настоящее время лишь при расчетах по аппроксимации кривых второго порядка [28].

При программировании обработки кроме определения величины перемещения центра инструмента по траектории необходимо указать скорости перемещения инструмента между отдельными

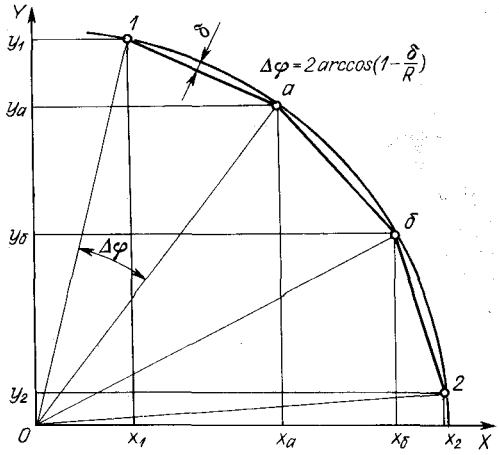


Рис. 1.29. Линейная аппроксимация дуги окружности

опорными точками, целый ряд вспомогательных технологических команд и др. Все это оформляется в виде расчетно-технологической карты (РТК) на обработку данной детали и карты кодирования программы.

В общем случае для составления УП необходимо иметь операционный эскиз детали, чертеж заготовки и РТК, дополненную таблицей координат опорных точек или расстояний между точками (приращений).

1.6. КОДИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Подготовленная исходная информация по обработке детали, т. е. программа, записывается на программоноситель (обычно на перфоленту) по определенной форме и состоит из набора кадров. Каждый кадр содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного участка детали, чаще всего между двумя соседними опорными точками. Кадры состоят из слов — информации, определяющей программу работы отдельных исполнительных органов: перемещения по координатам X, Y, Z, скорость подачи, работу механизмов смены инструмента и др. Каждое из слов записывается обычно на нескольких поперечных строчках перфоленты.

Способ записи информации. Различают два способа записи управляющей информации на перфолентах: с постоянной и переменной длиной кадра.

При *постоянной длине кадра* его объем остается постоянным по всей программе и занимает при записи постоянное число строк перфоленты. В постоянном кадре отводится место для записи всех слов (всех команд) вне зависимости от их повторяемости и числовых значений. Информация в каждом кадре строго распределена между различными строками и записывается в определенной последовательности. Если какая-либо информация в данном кадре отсутствует, то строки кадра, предназначенные для этой информации, сохраняются и фиксируются в кадре с нулевым значением.

При записи программы кадрами постоянной длины считывание информации получается наиболее простым, так как

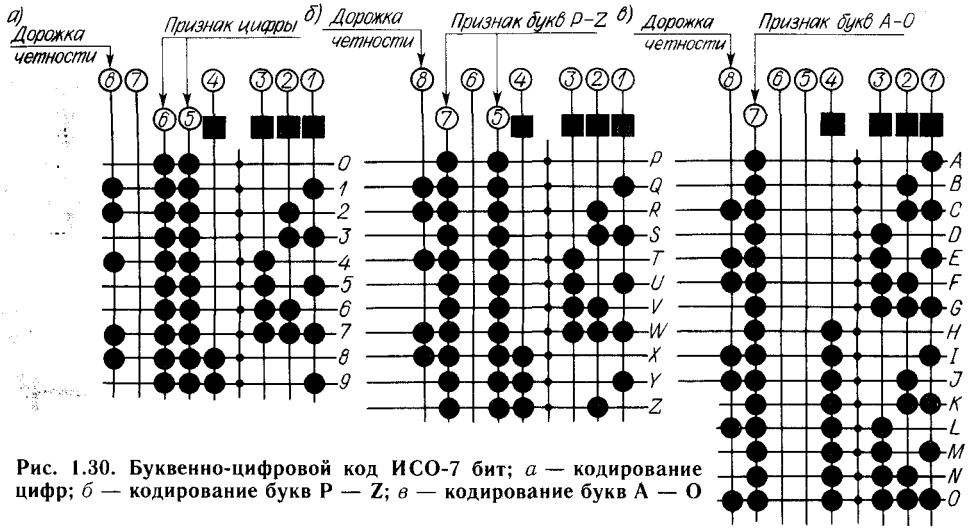


Рис. 1.30. Буквенно-цифровой код ИСО-7 бит; *а* — кодирование цифр; *б* — кодирование букв P — Z; *в* — кодирование букв A — O

заранее известна часть кадра, где фиксируется та или иная информация. Недостатки: большой расход перфоленты и более высокая трудоемкость программирования.

Информацию на перфоленте с постоянной длиной кадра обычно записывают при помощи двухпозиционного кода (двоичной системы счисления).

В настоящее время наиболее применима в системах ЧПУ запись с *переменной длиной кадра* как более удобная и краткая. Эта запись возможна при использовании алфавитно-цифровых кодов.

Буквенно-цифровой код БЦК-5 (нормаль станкостроения Э68-1) предназначен для записи информации на пятидорожечной перфоленте. Для кодирования использован двоично-десятичный код 8421, в котором выражены десятичные цифры 0, 1, 2, . . ., 9 и буквы Е, Д, Т, К, П, Ш, С, В, Я, Н [73]. Для записи букв используются те же комбинации, что и для записи цифр, но признаком буквы является запись символа 1 на пятой дорожке.

В современных УЧПУ код БЦК-5 применяют лишь для управления простым оборудованием, в частности газорезательными машинами, так как он малоемкий.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является основным для всех отечественных современных станков с ЧПУ. Значение букв и символов в терминах ЧПУ у этого кода должно соответствовать ГОСТ 20999—83 (СТ СЭВ 3585—82). Код предназначен для записи информации на восьмидорожечной перфоленте и позволяет кодировать 128 символов. Первым четырем дорожкам (1—4) приписаны веса двоично-десятичного кода 8421, что обеспечивает 16 кодовых комбинаций, выражающих в двоичном счислении десятичные цифры 0—15. Дорожки 5, 6 и 7 являются определяющими (дорожки признаков). Перфорирование отверстий на дорожках 5 и 6 (рис. 1.30, *а*) является признаком десятичных цифр 0—9. Буквы латинского алфавита от А до О, выражаемые комбинациями десятичных цифр 0—15, определяются перфорированием дорожки 7 (рис. 1.30, *в*). Признак букв P — Z — отверстия на дорожках 5 и 7 (рис. 1.30, *б*).

Таким образом, в коде ИСО-7 бит одним и тем же комбинациям первых четырех дорожек с весами 8421 соответствуют разные символы, различить которые можно по наличию отверстий на определяющих дорожках.

Например (рис. 1.31), пробивка дорожек 1 и 2 (0011) соответствует десятичной цифре 3, дорожек 1, 2 и 3 (0111) — цифре 7, а дорожек 4 и 1 (1001) — цифре 9, если перфорированы дорожки 5 и 6. Если перфорированы отверстия на дорожках 5 и 7, то комбинацией 0011 закодирована буква S, комбинацией 0111 — буква W, а комбинацией 1001 — буква Y. При наличии отверстия на дорожке 7 кодовая

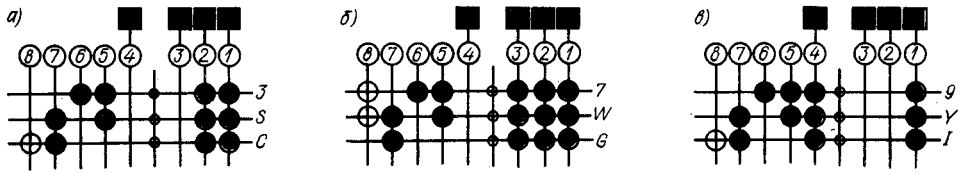


Рис. 1.31. Пример кодирования некоторых символов и их представления на перфоленте: *а* — комбинация 0011; *б* — комбинация 0111; *в* — комбинация 1001

комбинация 0011 определяет букву С, комбинация 0111 — букву G, комбинация 1001 — букву I и т. д.

Кодовое выражение некоторых символов на перфоленте показано на рис. 1.32. В коде ИСО-7 бит для служебных символов признаком является отверстие на дорожке 6 или отсутствие отверстий на определяющих дорожках.

Помехозащищенность в коде ИСО-7 бит осуществляется построчным контролем на четность, которая обеспечивается введением отверстия на восьмой дорожке, если на семи предыдущих число отверстий нечетное. Например, десятичная цифра 2 обозначается пробивкой отверстий на дорожках 2, 5 и 6 (110010); отверстие на дорожке 8 дополнит количество отверстий в строке до четного (1110010) и т. д. Таким образом, в коде ИСО-7 бит на каждой строке перфоленты должно находиться и считываться четное число отверстий.

В зарубежных моделях УЧПУ [1], работающих в соответствии с кодом ИСО, используется ряд дополнительных символов (рис. 1.32, *в* и табл. 1.5), функциональные значения которых различны.

Для систем с ЧПУ за символами кода ИСО-7 бит согласно ГОСТ 20999—

[1] Большинство зарубежных моделей УЧПУ позволяют также кодировать информацию в соответствии с кодом EIA (стандарт Ассоциации промышленников по радиоэлектронике и телевидению).

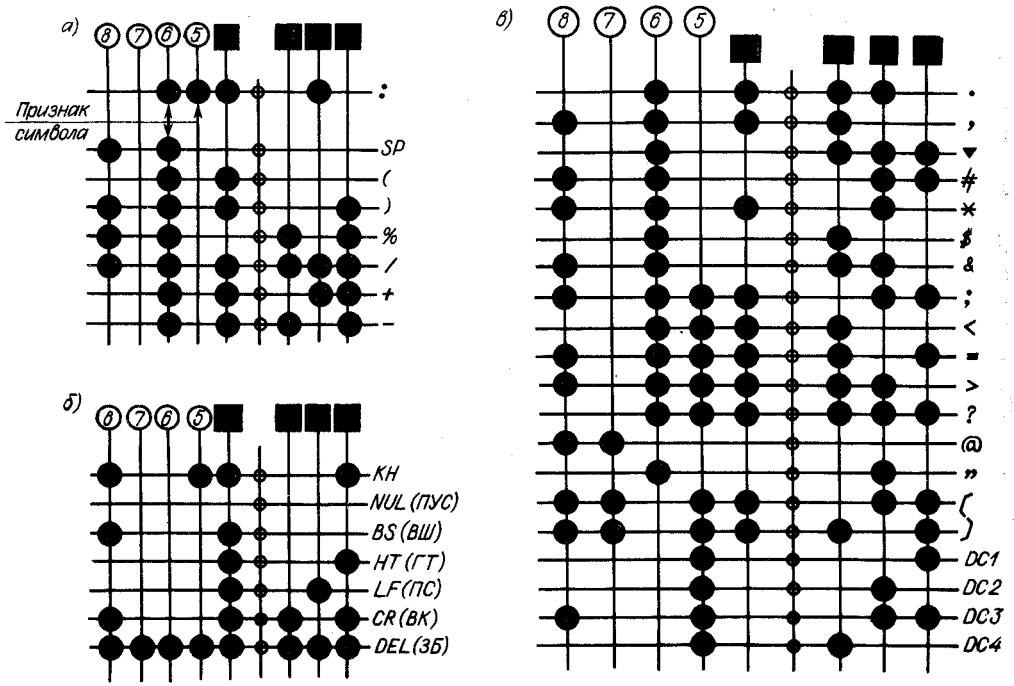


Рис. 1.32. Изображение некоторых символов в коде ИСО-7 бит: *а, б* — служебные символы; *в* — дополнительные символы

Таблица 1.5. Дополнительные символы кода ИСО-7 бит

Символ (см. рис. 1.32, *в*)	Значение	Символ (см. рис. 1.32, *в*)	Значение
.	Точка	?	Вопросительный знак
,	Запятая	@	Коммерческий знак «По»
'	Апостроф	"	Кавычки
#	Знак «диез»	[	Левая фигурная скобка
*	Звездочка	]	Правая фигурная скобка
$	Знак доллара	DC1	Пуск устройста считывания с ленты
&	Знак «коммерческое И»	DC2	Указания на перфорацию ленты
;	Точка с запятой	DC3	Останов устройства считывания с ленты
<	Открывающая угловая скобка	DC4	Освобождение перфоратора ленты
=	Знак равенства		
>	Закрывающая угловая скобка		

83 закреплены определенные значения, которые используются при кодировании технологической информации, в частности для задания в программах адресов команд, перемещений и др. (табл. 1.6).

Кроме символов, приведенных в табл. 1.6, при кодировании информации для станков с ЧПУ применяют и некоторые другие (табл. 1.7), которые используются для задания команд по распечатке программ. В некоторых существующих УЧПУ значение символов отличается от установленных ГОСТ 20999—83.

Информация в коде ИСО-7 бит всегда записывается адресным способом. Общую структуру записи УП, схему записи отдельных кадров, определяет ГОСТ 20999—83. Определены также рекомендуемые для употребления кодовые обозначения подготовительных и вспомогательных функций, виды и форма записи функций подач и главного движения, кодирование инструмента и т. д.

Структура программоносителя. Программоноситель может содержать одну или несколько УП. Структура программоносителя приведена на рис. 1.33. Штрихами на структурной схеме изображены участки, которых может не быть на перфоленте.

В начале и конце перфоленты, а также между управляющими программами оставляются раккорды (символы ПУС) для ее заправки в считывающее устройство. Перед началом управляющей информации можно записывать коммента-

Таблица 1.6. Значения символов адресов по ГОСТ 20999—83 (СТ СЭВ 3585—82)

Символ (см. рис. 1.30, *б*, *в*)	Значение
X, Y, Z	Первичная длина перемещения, параллельного осям соответственно *X*, *Y*, *Z*
A, B, C	Угол поворота соответственно вокруг осей *X*, *Y*, *Z*
U, V, W	Вторичная длина перемещения, параллельного осям соответственно *X*, *Y*, *Z*
P, Q	Третичная длина перемещения, параллельного осям соответственно *X*, *Y*
R	Перемещение на быстром ходу по оси *Z* или третичная длина перемещения, параллельного оси *Z*
G	Подготовительная функция
F, E	Первая (F) и вторая (E) функции подачи
S	Функция главного движения
N	Номер кадра
M	Вспомогательная функция
T, D	Первая (T) и вторая (D) функции инструмента
I, J, K	Параметр интерполяции или шаг резьбы параллельно осям соответственно *X*, *Y*, *Z*
H, L, O	Не определено

Таблица 1.7. Значения управляющих символов и знаков по ГОСТ 20999—83 (СТ СЭВ 3585—82) И ГОСТ 19767—74

Символ (см. рис. 1.32, *а*, *б*)	Наименование	Значение
%	Начало программы	Знак, обозначающий начало УП. Используется также для остановки носителя данных при обратной перемотке перфоленты
LF (ПС)	Конец кадра	Символ, обозначающий конец кадра УП. Перевод строки
:	Главный кадр	Знак, обозначающий главный кадр УП
±	Плюс, минус	Математические знаки (направление перемещения)
.	Точка	Десятичный знак
/	Пропуск кадра	Знак, обозначающий, что следующая за ним информация до первого символа «Конец кадра» может отрабатываться или не отрабатываться на станке (в зависимости от положения органа управления на пульте управления УЧПУ). Когда этот знак стоит перед символами «Номер кадра» и «Главный кадр», он действует на целый кадр УП
( )	Круглая скобка: левая, правая	Знаки, обозначающие, что информация, расположенная внутри скобок, не должна отрабатываться на станке
НТ (ГТ)	Горизонтальная табуляция	Символ, управляющий перемещением действующей позиции печати в следующую, заранее определенную знаковую позицию на той же строке. Предназначен для управления устройствами печати и распечатки УП. УЧПУ не воспринимается
NUL (ПУС)	Пусто	Пропуск строки перфоленты
BS (ВШ)	Возврат на шаг	Для управления электрофицированной пишущей машинкой (ЭПМ)
CR (ВК)	Возврат каретки	То же
SP (ПР)	Пробел	Сдвиг каретки ЭПМ на шаг
КН	Конец носителя	Символ для останова ЭПМ при распечатке УП
DEL (ЗБ)	Забой	Символ забоя информации. УЧПУ не читается

рий, текст которого содержит номер чертежа и наименование детали, модель станка с ЧПУ, фамилию технолога-программиста, дату и т. п. Комментарий с указанием установа и другой вспомогательной информацией может быть помещен между УП. Для удобства последующей распечатки текста комментария после каждых шестидесяти символов, включая пробелы, перфорируются символы ПС. Начало управляющей информации обозначается на перфоленте сочетанием символов % и ПС, между которыми может быть помещен номер УП. Символ ПС означает конец участка управляющей информации (кадра) и одновременно служит командой на перевод строки при распечатке текста программоносителя.

Символы ВШ, ГТ, ВК, КН и ПР предназначены только для управления электрифицированной пишущей машиной (ЭПМ) и не воспринимаются УЧПУ. Особо следует отметить возможность горизонтальной табуляции, которая позволяет вести распечатку управляющей информации по столбцам, что облегчает контроль УП. Символ КН служит для останова ЭПМ при распечатке перфоленты и обычно помещается в пределах последнего раккорда.

Символы ( ) используются для записи информации оператору станка и могут быть помещены в любое место перфоленты. Эти символы соответствуют функциям «Управление выключено» и «Управление включено», поэтому записанная между ними информация не воспринимается УЧПУ. Внутри скобок не допускается запись символов % и :, которые при перемотке перфоленты могут привести к ложному останову.

Структура управляющей программы. При построении УП в коде ИСО-7 бит в последовательности кадров программы записывается только та геометрическая, технологическая и вспомогательная ин-

формация, которая изменяется по отношению к предыдущему кадру. Другими словами для большинства команд, представляемых на перфоленте, действительно правило, согласно которому записанная в данном кадре команда не повторяется в последующих кадрах и отменяется лишь другой командой из этой группы или специальной командой отмены, отменяющей все команды данной группы.

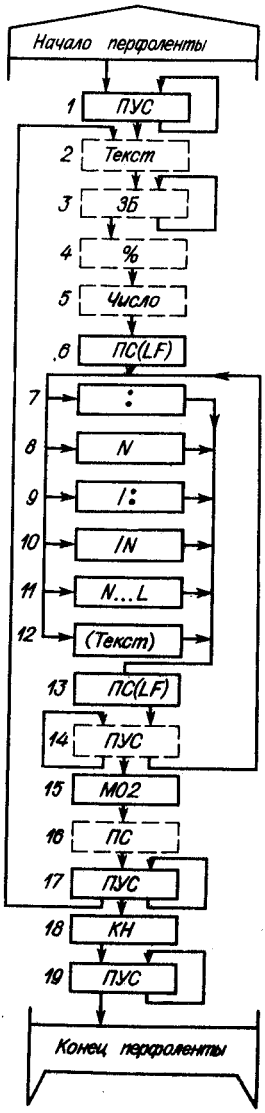


Рис. 1.33. Структура программоносителя:

1 — раккорд; *2* — комментарий; *3* — стирающие записи; *4* — начало программы; *5* — номер УП; *6* — конец кадра (перевод строки); *7* — главный кадр; *8* — дополнительный кадр; *9* — исключаемый главный кадр; *10* — исключаемый дополнительный кадр; *11* — обращение к подпрограмме; *12* — комментарий; *13* — конец кадра; *14* — интервал между кадрами; *15* — конец программы; *16* — конец кадра; *17* — интервал между УП; *18* — конец носителя; *19* — раккорд

Каждая УП должна начинаться символом % — «начало программы» (рис. 1.33, поз. *4*), после которого должен стоять символ ПС — «конец кадра» (поз. *6*). (Для ряда действующих УЧПУ конец кадра в программах обозначается символом LF). Кадр с символом % не нумеруется. Нумерация кадров программы начинается с последующего кадра.

Любая группа символов, не подлежащая отработке на станке, должна быть заключена в круглые скобки. Внутри скобок не должны применяться символы ПС («начало программы») и : («главный кадр»). Например, группа символов, заключенная в скобки, может быть выведена на дисплей и служить в качестве указаний оператору.

Если необходимо обозначать УП, это обозначение (поз. *5*) должно находиться непосредственно за символом («начало программы» перед символом «конец кадра», например %012ПС, т. е. программа с условным номером двенадцать.

Местоположение информации, заключенной в скобки в кадре управляющей программы, а также возможность записи этой информации в памяти УЧПУ должны быть указаны в технических условиях на УЧПУ конкретного типа.

Для обозначения физического начала носителя данных (перфоленты) при размещении на этом носителе нескольких управляющих программ перед символом «начало программы» первой программы допускается записывать еще один символ «начало программы», например: %%ПС или %%001ПС. Как уже было сказано, перед символом «начало программы» может быть записана любая информация, не содержащая символа «начало программы», например примечания по наладке станка, различные идентификаторы программы и т. п.

Управляющая программа должна заканчиваться символом «конец программы» или «конец информации». Информация, помещенная после этого символа, не должна восприниматься УЧПУ.

Перед символом «начало программы» и после символа «конец программы» или «конец информации» на перфоленте рекомендуется оставлять участки с символом ПУС («пусто»).

Структура кадров управляющей программы. К структуре кадра предъявляют определенные требования, в частности следующие.

1. Каждый кадр должен содержать слово «номер кадра». Формат лишь для некоторых УЧПУ позволяет это слово не использовать. Далее в кадре приводятся информационные слова или слово. Завершается кадр символом ПС («конец кадра»). Использование этого символа, как правило, обязательно.

При необходимости в кадре указывают символы табуляции. Их проставляют перед любым словом в кадре, кроме слова «номер кадра».

2. Информационные слова в кадре рекомендуется записывать в определенной последовательности:

слово (или слова) «подготовительная функция»;

слова «размерные перемещения», которые рекомендуется записывать в последовательности символов: X, Y, Z, U, V, W, P, Q, R, A, B, C;

слова «параметр интерполяции или шаг резьбы»: I, J, K;

слово (или слова) «функция подачи», которое относится только к определенной оси и должно следовать непосредственно за словом «размерное перемещение» по этой оси. Слово «функция подачи», относящееся к двум и более осям, должно следовать за последним словом «размерное перемещение», к которому оно относится;

слово «функция главного движения»;

слово (или слова) «вспомогательная функция».

3. Порядок записи слов с адресами U, V, W, P, Q, R, используемых в значениях, отличных от значений, указанных в табл. 1.6, и слов с адресами D, E, H должен быть указан в формате конкретного УЧПУ. Значения этих слов и кратность использования их в кадре должны быть указаны в технических условиях на УЧПУ конкретного типа.

4. В пределах одного кадра не должны повторяться слова «размерные перемещения» и «параметр интерполяции или шаг резьбы».

5. В пределах одного кадра не должны использоваться слова «подготовительная функция», входящие в одну группу.

6. После символа «главный кадр» в кадре должна быть записана вся информация, необходимая для начала или возобновления обработки. В этом случае символ «главный кадр» должен записываться вместо символа N в качестве адреса в слове «номер кадра». Символ «главный кадр» может быть использован для останова в нужном месте при перемотке носителя данных.

7. При реализации режима «пропуск кадра» (например, для осуществления наладочных переходов при наладке станка и исключения этих переходов после окончания наладки) перед словом «номер кадра» и символом «главный кадр» должен записываться символ / («пропуск кадра»).

Запись слов в кадрах управляющей программы. Каждое слово в кадре УП должно содержать: символ адреса (латинская прописная буква); математический знак «плюс» или «минус» (при необходимости); последовательность цифр.

Слова в УП могут быть записаны одним из двух способов:

1) без использования десятичного знака (подразумеваемое положение десятичной запятой);

2) с использованием десятичного знака (явное положение десятичной запятой).

При записи слов с использованием десятичного знака те из них, в которых десятичный знак отсутствует, должны отрабатываться УЧПУ как целые числа. Незначащие нули, стоящие до и (или) после знака, могут быть опущены, например: запись X.08 означает размер 0,08 мм по оси X; X950 — размер 950,0 мм по оси X.

Размер, представленный одними нулями, должен быть выражен по крайней мере одним нулем.

Подразумеваемое положение десятичной запятой должно быть определено в характеристиках формата конкретного УЧПУ. При записи слов с подразуме-

ваемой десятичной запятой в некоторых УЧПУ в целях сокращения количества информации допускается опускать нули, стоящие перед первой значащей цифрой (ведущие нули). Если форматом УЧПУ допускается опускать последние нули, то ведущие нули в этом случае опускать нельзя. Например, размер оси *X*, равный 258,300 мм, может быть записан (в зависимости от конкретного УЧПУ) по-разному:

X00258300 — полная запись, без использования десятичного знака;

X258300 — опущены ведущие нули; здесь определение размеров ведется от младших разрядов:

X002583 — опущены последние нули; здесь определение разрядности ведется от ведущих разрядов;

X258.3 — запись с явной запятой.

Размерные перемещения в кадрах УП указываются или в абсолютных значениях, или в приращениях. Это и определяет использование в кадрах УП подготовительных функций G90 (абсолютный размер) или G91 — (размер в приращениях).

В УП для современных УЧПУ все линейные перемещения обычно указывают в миллиметрах и их десятичных долях. Для УЧПУ ранних моделей линейные перемещения указывались в импульсах. Если линейные перемещения выражены в дюймах, то в УП должна быть записана соответствующая подготовительная функция, указывающая единицу величины. Выражение линейных перемещений в дюймах возможно обычно лишь для станков, снабженных УЧПУ моделей зарубежных фирм.

Угловые размеры в УП для современных УЧПУ выражают в радианах или градусах. Для некоторых элементов станков, например для поворотных столов, угловые размеры выражают в десятичных долях оборота.

Если УЧПУ допускает задание размеров в абсолютных значениях (положительных или отрицательных в зависимости от начала системы координат), то математический знак («плюс» или «минус») является составной частью слова «размерное перемещение» и должен предшествовать первой цифре каждого размера. Математический знак должен также предшествовать первой цифре каждого размера, указывая направление перемещения, если УЧПУ допускает задание размеров в приращениях.

При задании размеров как в абсолютных значениях, так и в приращениях математический знак «плюс» в слове «размерные перемещения» в некоторых УЧПУ допускается опускать. Это определяется форматом кадра.

Безразмерные слова в кадре УП записывают по-разному. Слово «номер кадра» должно состоять из цифр, количество которых должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Слово (или слова) «подготовительная функция» должно быть выражено кодовым числом.

Функция подачи определяет скорость подачи (далее — подача). Последнюю кодируют числом, количество разрядов которого указано в формате конкретного УЧПУ. Тип подачи, если это допускает УЧПУ, выбирают одной из подготовительных функций: G93 — «подача в функции, обратной времени»; G94 — «подача в минуту»; G95 — «подача на оборот». В современных УЧПУ основным методом кодирования подачи является метод прямого обозначения, при котором применяют следующие единицы величины:

миллиметры в минуту — подача не зависит от скорости главного движения;

миллиметры на оборот — подача зависит от скорости главного движения;

радианы в секунду (градусы в минуту) — подача относится только к круговому перемещению.

Для указания быстрого перемещения в большинстве УЧПУ используется подготовительная функция G00.

Если в данном УЧПУ подача задается кодовым числом, то большей подаче обычно должно соответствовать большее кодовое число.

В случае если речь идет о скорости векторного перемещения, не зависящей от скорости главного движения, подача может быть выражена величиной, обратно пропорциональной времени в минутах, необходимому для обработки соответствующего кадра. Тогда подачу при-

нимают равной отношению векторной скорости (выраженной в миллиметрах в минуту) к вектору перемещения по траектории обработки (выраженному в миллиметрах). Однако в современных УЧПУ этот способ представления подачи используют сравнительно редко.

Функция главного движения определяет скорость главного движения. Она также кодируется числом, количество разрядов которого должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Вид функции главного движения (там, где это необходимо и возможно) осуществляется одной из следующих подготовительных функций: G96 — «постоянная скорость резания»; G97 — «обороты в минуту».

В современных УЧПУ основным методом кодирования скорости главного движения является метод прямого обозначения, при котором число обозначает частоту вращения шпинделя в радианах в секунду или оборотах в минуту. В некоторых УЧПУ возможно указание скорости резания в м/мин. Обычно это согласуется с функцией G96. Скорость главного движения у некоторых УЧПУ задается кодовым числом, причем обычно большей скорости главного движения соответствует большее кодовое число.

Функция инструмента (Т) используется для выбора инструмента. В ряде УЧПУ слово «функция инструмента» используют и для коррекции (или компенсации) инструмента. В этом случае оно состоит из двух групп цифр: первая используется для выбора инструмента, вторая — для его коррекции. Если для записи коррекции (компенсации) инструмента используется другой адрес, рекомендуется использовать символ D или Н.

Количество цифр, следующих за адресами Т, D и Н, должно быть указано в формате конкретного УЧПУ.

Слово (или слова) *«вспомогательная функция»* (М) во всех УЧПУ выражено кодовым числом. Значение и характер записи зависят от классности и модели *УЧПУ*.

Формат кадра управляющей программы. Схема построения кадров обычно определена. Она зависит от конструктивных особенностей станка, модели УЧПУ, методики программирования и т. д. Поэтому каждый конкретный тип УЧПУ характеризуется так называемым форматом, т. е. принятым (рекомендуемым) порядком расположения слов в кадре и структурой каждого слова в отдельности (табл. 1.8).

В общем случае формат УП должен

Таблица 1.8. Форматы управляющих программ некоторых УЧПУ

Формат	Код	Модель УЧПУ
Е±42 Д±42 Т±42 В2 П2 Ш2 С2 Н	БЦК-5	«Координата Р-69»
N3 G2 X±42 Y±42 Z±42 M2 S2 T2	ИСО	«Координата С-70 (3)»
N3 G2 X±42 Y±42 Z±42 V±42 W±42 F2 S2 T2 M2	ИСО	У522; П522
N3 G2 (40) G2 (60) G2 (80) X±33. Y±33. Z±42. B06. R42. F2. S2. T2. M2. ПС	ИСО	«Размер-2М»
N04 G02 X+043 Y+043 Z+043 U+043 V+043 W+043 I+043 J+043 K+043 A+043 B+043 C+043 D02 F04 S05 T03 H04 M02 L4 R02 *	ИСО	2С85
N04 XL+053 YL+053 ZL+053 UL+053 VL+053 WL+053 AL+053 BL+053 CL+053 D03 E02 F042 H03 IL+053 JL+053 KL+053 L02 M02 Q02 S04 T04 P02 R053 G02 LF	ИСО	CNC-600
N04·G02·XL+053·YL+053·ZL+053·αL+ +053·βL+053·{RD053 / ID053·JD053·K053}·F050× ×{D02 / H02}·{S02 / S04}·{T02 / T04}·B03·M02	ИСО	FANUC 6M—MODEL B
N04 G2 XL+053 ZL+053 ID053 KD053 F05 S04 T04 L4 R08 M02	ИСО	SINUMERIC

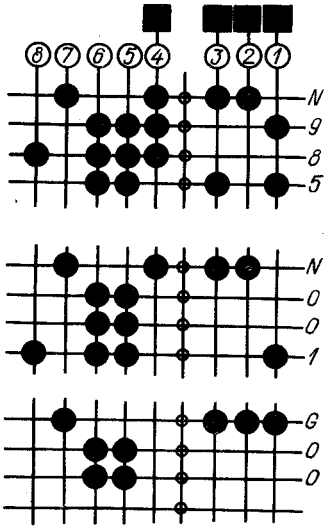


Рис. 1.34. Значение и изображение некоторых команд в коде ИСО-7 бит

записываться с соблюдением определенных правил, символы указывают в определенной последовательности.

Символы «начало программы», «главный кадр», «пропуск кадра» обозначаются в соответствии с ГОСТ 20999—83 (см. табл. 1.7). Явная десятичная запятая обозначается символом DS; символ «табуляция», если он используется, обозначается точкой (.).

Если УЧПУ требует указания символа «конец кадра», то он обозначается звездочкой (*) в конце формата.

Слова в формате записываются также в определенной последовательности.

За адресом каждого слова «размерное перемещение» следуют две цифры, первая из которых показывает количество разрядов перед подразумеваемой десятичной запятой, отделяющей целую часть числа от дробной, вторая — количество разрядов после запятой. Если можно опустить нули, стоящие перед первой и после последней значащих цифр в слове «размерное перемещение», то за адресом этого слова должны следовать три цифры. Если опускаются нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то нулем должна быть первая цифра. Если опускаются нули, стоящие после значащей цифры, то нулем должна быть последняя цифра.

Если абсолютные размеры всегда положительные, то между адресом и следующим за ним числом не ставят никакого знака, а если они или положительные, или отрицательные, то между адресом и следующим за ним числом ставят знак «плюс» (+) или «плюс — минус» (±).

За адресом безразмерных слов следует записывать одну цифру, показывающую количество цифр в слове. Если можно опустить нули, стоящие перед первой значащей цифрой, то за адресом безразмерных слов должны следовать две цифры, первая из которых нуль.

Пример записи формата:

% : / DSN03 G2 X+053 Y+053 Z+
+042 F031 S04 T05 M2*

Данный формат указывает, что УЧПУ, для которого выполняется запись УП, воспринимает символы начала программы (%), главного кадра (:), пропуска кадра (/) и явную десятичную запятую (DS). Ведущие нули при записи кадров УП во всех словах (кроме слов с адресами G и M) разрешается опускать.

В приведенном формате N03 — трехзначный номер кадра. Это означает, что всего в программе можно привести кадры с номерами от N1 до N999. На перфоленте номер кадра записывается символом N и цифрами (например, N985), которые могут быть размещены на одной, двух или трех строках (рис. 1.34). Цифры записываются за символом N в последовательности сотни — десятки — единицы, т. е. сначала значащая десятичная цифра сотен, потом десятков, потом единиц.

Если бы в формате было указано N3 (без нуля перед цифрой 3), то во всех кадрах, где необходимо, обязательно было бы написание нулей как значащих цифр: например N001 (рис. 1.34), N002, ..., N099,...

Следующий элемент записи G2 — двузначная подготовительная функция (см. табл. 1.9). На перфоленте подготовительная функция указывается адресом G и двумя значащими цифрами, первая из которых относится к разряду десятков, вторая — единиц (рис. 1.34).

Элемент записи X+053 — перемещение по оси *X* со знаком «плюс» или «минус». Числовое значение размерного перемещения указывают после знака, при этом знак «плюс» можно опускать. На целую часть значащего числа отводится пять разрядов, на дробную (после запятой) — три разряда. В рассматриваемом формате обязательно указание точки (запятой) для разделения целой и дробной частей (об этом говорит символ DS). Кроме того, могут не указываться первые нули в числе до запятой и последние в числе после запятой.

Например, перемещение по оси *X* на величину 01280,500 мм в положительном направлении должно быть записано X1280.5 (с указанием точки без знака «плюс» и без крайних нулей). Если бы в формате кадра было указано, например, X±33 и в начале формата не было символа DS, это означало бы, что после адреса X необходимо обязательно писать знак + или — (т. е. «плюс» опускать нельзя), а значащие цифры следует указывать полностью (три) как до условной запятой, так и после нее. Так, если в кадре УП записано X+053280, то это соответствует размерной величине 53,28 мм.

Элемент Y+053 — перемещение по оси *Y* (здесь справедливо все сказанное о перемещении по оси *X*).

Элемент Z+042 — перемещение по оси *Z* со знаком «плюс» или «минус». При записи знак «плюс» можно опускать, можно опускать также передние и последние (в дробном разряде) нули. На размерную информацию отводится четыре десятичных разряда до запятой и два после запятой, т. е. максимальное число, которое может быть записано по оси *Z*, составляет 9999,99 мм (четыре значащие цифры до запятой и две после запятой). Например, перемещение в положительном направлении по оси *Z* на величину 2000 мм должно быть записано в виде Z2000., на 200 мм — в виде Z200., на 20 мм — в виде Z20., на 2 мм — в виде Z2., на 0,2 мм — в виде Z.2, на 0,02 — в виде Z.02. Перемещение в отрицательном направлении на величину 50,00 мм запишется в виде Z — 50., на 5,00 мм — в виде Z — 5., на 0,50 мм — в виде Z — .5, на 0,05 мм — в виде Z — .05.

Элемент F031 — функция подачи, при этом подача указывается методом прямого обозначения. Значащие цифры — три слева от десятичной запятой и одна справа; нули после запятой и впереди можно опускать. Если бы в формате было указано, например, F2, то это предполагало бы указание подачи двумя кодовыми числами, размещаемыми на двух строках перфоленты за адресом.

Следующие элементы записи: S04 — четырехзначная функция главного движения; T05 — функция инструмента; M2 — двузначная вспомогательная функция (см. табл. 1.10).

Звездочка, завершающая запись формата, означает конец кадра.

Пример изображения на перфоленте кадра УП для УЧПУ класса SNC приведен на рис. 1.35. Кадр написан для формата

N3 G2 X±33 Y±33 Z±42 B32 F2 S2 T2 M2 LF.

Подготовительные функции. Функции с адресом G, называемые подготовительными, определяют режим и условия работы станка и УЧПУ. Они кодируются от G00 до G99. За каждой из функций

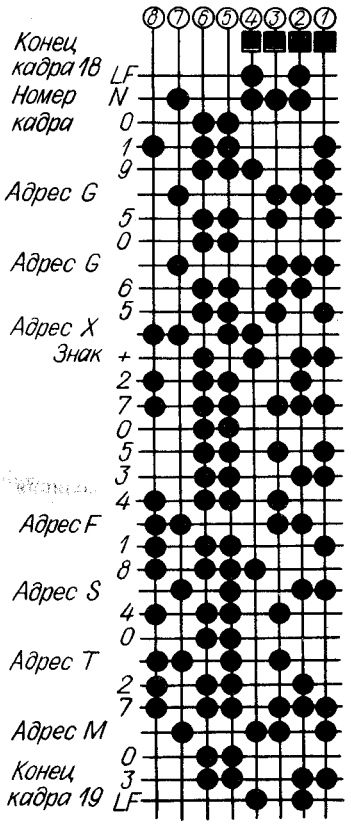


Рис. 1.35. Изображение кадра N019G50G65X+ +270534F18S40T27M03LF на перфоленте в коде ИСО-7 бит. Расшифровка обозначения кадра:

кадр 19 (N019), учесть радиус фрезы со знаком + по оси *X* (G50), обработать с точным подходом к заданной координате (G65), выйти в координату X+270.543 с подачей F18 при скорости S40, подготовить инструмент (T27), включить шпиндель по часовой стрелке (M03), конец кадра (LF)

закреплено стандартом определенное значение (табл. 1.9). В конкретных УЧПУ значение тех или иных функций может отличаться от рекомендуемых стандартом, это оговаривается конкретной методикой программирования. В общем подготовительные функции можно разграничить на несколько групп:

G00, . . ., G09 — команды общего порядка: позиционирование, линейная или круговая интерполяция, ускорение, замедление, пауза (выдержка);

G10, . . ., G39 — особенности непрерывной обработки: выбор осей, плоскостей, видов интерполяции;

Таблица 1.9. Значения подготовительных функций по ГОСТ 20999—83

Код функции	Наименование	Значение
G00	Быстрое позиционирование	Перемещение в запрограммированную точку с максимальной скоростью (например, с наибольшей скоростью подачи). Предварительно запрограммированная скорость перемещения игнорируется, но не отменяется. Перемещения по осям координат могут быть некоординированными
G01	Линейная интерполяция	Вид управления, при котором обеспечивается постоянное отношение между скоростями по осям координат, пропорциональное отношению между расстояниями, на которые должен переместиться исполнительный орган станка по двум или более осям координат одновременно. В прямоугольной системе координат перемещение происходит по прямой линии
G02; G03	Круговая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги окружности, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образования дуги, изменяются устройством управления
G02	Круговая интерполяция. Движение по часовой стрелке	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено по часовой стрелке, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G03	Круговая интерполяция. Движение против часовой стрелки	Круговая интерполяция, при которой движение исполнительного органа направлено против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления оси, перпендикулярной к обрабатываемой поверхности
G04	Пауза	Указание о временной задержке, конкретное значение которой задается в УП или другим способом. Применяется для выполнения тех или иных операций, протекающих известное время и не требующих ответа о выполнении
G06	Параболическая интерполяция	Вид контурного управления для получения дуги параболы, при котором векторные скорости по осям координат, используемые для образований этой дуги. изменяются устройством управления
G08	Разгон	Автоматическое увеличение скорости перемещения в начале движения до запрограммированного значения
G09	Торможение	Автоматическое уменьшение скорости перемещения относительно запрограммированной при приближении к запрограммированной точке
От G17 до G19	Выбор плоскости	Задание плоскости таких функций, как круговая интерполяция, коррекция на фрезу и др.
G41	Коррекция на фрезу — левая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится слева от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки
G42	Коррекция на фрезу — правая	Коррекция на фрезу при контурном управлении. Используется, когда фреза находится справа от обрабатываемой поверхности, если смотреть от фрезы в направлении ее движения относительно заготовки

Продолжение табл. 1.9

Код функции	Наименование	Значение
G43	Коррекция на положение инструмента — положительная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо сложить с координатой, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G44	Коррекция на положение инструмента — отрицательная	Указание, что значение коррекции на положение инструмента необходимо вычесть из координаты, заданной в соответствующем кадре или кадрах
G53	Отмена заданного смещения	Отмена любой из функций G54, ..., G59. Действует только в том кадре, в котором она записана
От G54 до G59	Заданное смещение	Смещение нулевой точки детали относительно исходной точки станка
G80	Отмена постоянного цикла	Функция, которая отменяет любой постоянный цикл
От G81 до G89	Постоянные циклы	—
G90	Абсолютный размер	Отсчет перемещения производится относительно выбранной нулевой точки
G91	Размер в приращениях	Отсчет перемещения производится относительно предыдущей запрограммированной точки
G92	Установка абсолютных накопителей положения	Изменение состояния абсолютных накопителей положения. При этом движения исполнительных органов не происходит
G93	Скорость подачи в функции, обратной времени	Указание, что число, следующее за адресом F, равно обратному значению времени в минутах, необходимому для обработки
G96	Постоянная скорость резания	Указание, что число, следующее за адресом S, равно скорости резания в метрах в минуту. При этом скорость шпинделя регулируется автоматически в целях поддержания запрограммированной скорости резания
G97	Обороты в минуту	Указание, что число, следующее за адресом S, равно скорости шпинделя в оборотах в минуту

G40, ..., G59 — коррекция размеров инструмента без отсчета, смещение осей;

G60, ..., G79 — вид и характер работы: точно, быстро;

G80, ..., G89 — постоянные (фиксированные) автоматические циклы;

G90, ..., G99 — особенности задания размеров, режимов обработки.

В каждой из рассмотренных групп имеются резервные команды.

Уточненные значения команд с адресом G приводятся в конкретных руководствах по программированию для соответствующих моделей УЧПУ.

Хотя в применении подготовительных функций в различных УЧПУ встречаются разночтения, существует общий подход к их использованию согласно кодовым значениям.

Функция G00 программируется, если необходимо обеспечить линейное перемещение по одной из координат на ускоренной подаче; величина перемещения со знаком указывается в кадре в соответствии с правилом записи (рис. 1.36, *а, б*).

Функция G01 означает, что режим обеспечивает линейную функциональную зависимость между перемещениями по двум координатам, обозначенными с соответствующими знаками и числовыми значениями. При этом указывается скорость движения подачи (например, F35 — рис. 1.36, *в*) по траектории. В некоторых УЧПУ функцией G01 программируется и линейное перемещение на рабочей подаче; при этом подразумевается, что численное значение перемещения по одной из координат равно нулю (рис.

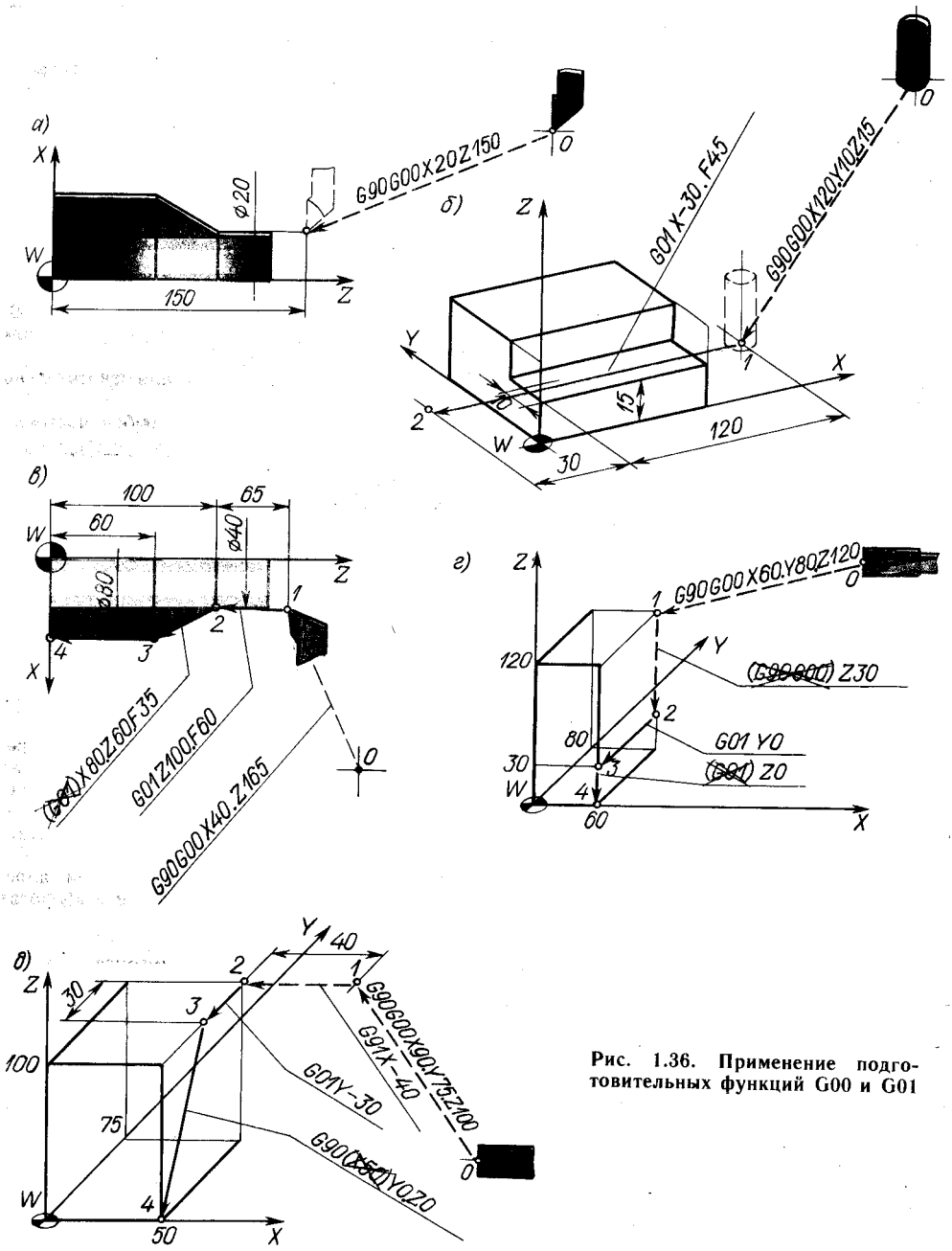


Рис. 1.36. Применение подготовительных функций G00 и G01

1.36, *в* — *д*). Напомним, что режим, определенный функцией G, сохраняется до его отмены аналогичной функцией (рис. 1.36, *г*, *д*).

Функции G02, G03 — режимы круговой интерполяции по и против часовой стрелки. Функции указываются в программах для УЧПУ, обеспечивающих круговую интерполяцию. Данные по круговой интерполяции зависят от задаваемой подготовительными функциями G17 — G19 (рис. 1.37, *а*) плоскости интерполяции. Подготовительная функция G17 определяет круговую интерполяцию

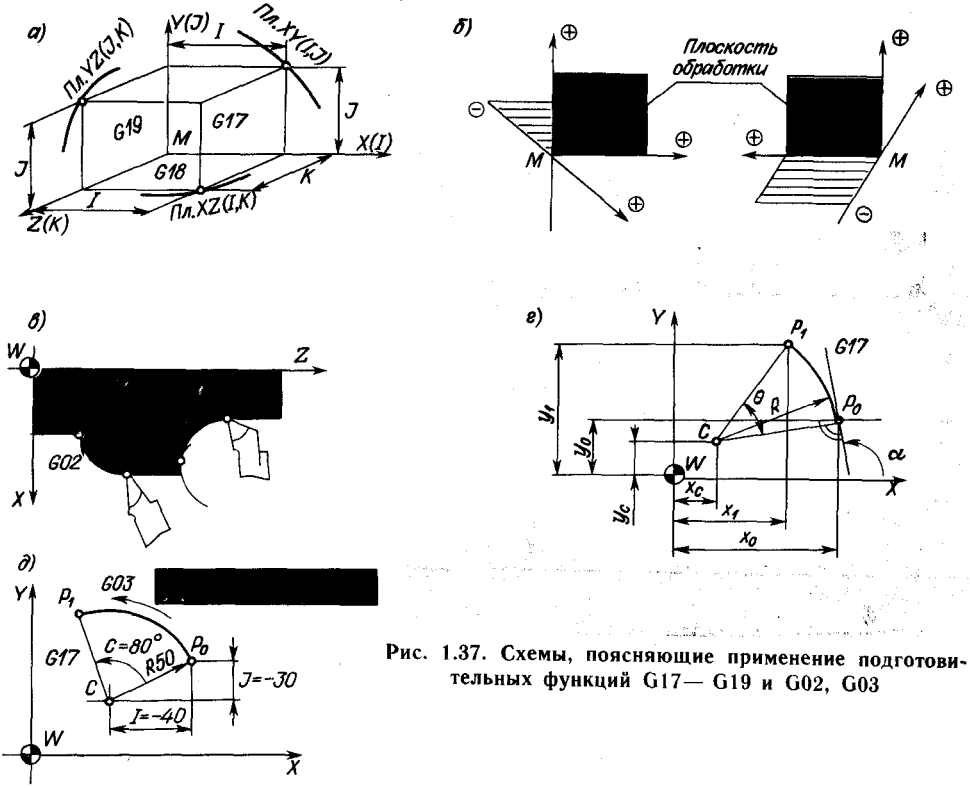


Рис. 1.37. Схемы, поясняющие применение подготовительных функций G17— G19 и G02, G03

в плоскости *XY* с обозначением параметров интерполяции (координат точки) символами I и J. Подготовительные функции G18 и G19 определяют круговую интерполяцию соответственно в плоскостях *XZ* (параметры I, K) и *YZ* (параметры I, K).

Следует отметить определенную особенность функций G02 и G03. При определенных условиях (изменение направлений осей координат) значение функций меняется на обратное (рис. 1.37, *б*).

Траектория инструмента по дуге окружности (рис. 1.37, *в*) задается у разных УЧПУ по-разному. Это зависит от устройства интерполятора, от характера его работы как вычислительного устройства, поскольку в общем задача сводится к вычислению определенных параметров при наличии определенных (исходных) данных.

В общем случае дуга на плоскости (в системе координат) может быть определена следующими данными (рис. 1.37, *г*): центром *C* с координатами x_C и y_C, радиусом *R*, начальной точкой P_0 с координатами x_0 и y_0, конечной точкой P_1 с координатами x_1 и y_1, центральным углом дуги θ и углом α между касательной к начальной точке и осью (в данном случае осью *X*). Для того чтобы однозначно определить дугу на плоскости, все эти данные приводить в программе нет необходимости. Обычно при выборе параметров, задающих интерполяцию, исходят из того, что известно положение начальной точки P_0 дуги. Это естественно, поскольку приход в эту точку инструмента обусловлен предыдущими кадрами УП.

В полярной системе координат (рис. 1.37, *д*) траектория задается функцией (G02 или G03), радиусом *R* и координатами центра *C* дуги относительно начальной точки P_0, т. е. значениями *I*, *J* (при G17) с соответствующими знаками, и углом (по адресу C).

В прямоугольной системе координат при задании последних абсолютными размерами наиболее распространен способ задания дуги координатами конечной точки и центра дуги (рис. 1.38, *а*). Координаты конечной точки P_1 указыва-

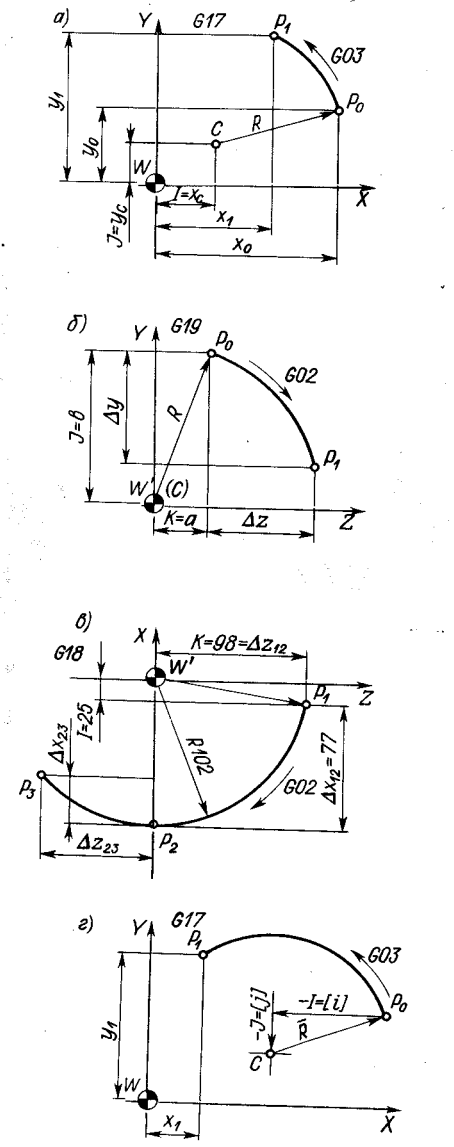


Рис. 1.38. Кодирование элементов круговой траектории

ют с адресами X и Y, а координаты центра C дуги — с адресами I и J (для плоскости XOY). Функция G03 определяет направление интерполяции. При таком задании параметров интерполятор достаточно просто вычисляет радиус дуги и выдает команды на движение. Кадр на интерполяцию будет иметь вид

N{i}G17G90G03X{x_1}Y{y_1}I{x_C}J{y_C}LF.

В одном из вариантов задания круговой интерполяции в приращениях для определения параметров интерполяции центр W' принятой системы координат условно размещают в центре дуги C (рис. 1.38, *б*). В кадре, задающем интерполяцию, с адресами J и K (для плоскости YOZ) задаются координаты начальной точки P_0 (a и b) в принятой условной системе координат. Эти координаты определят проекции радиуса дуги ($R^2=a^2+b^2$). По адресам Y и Z будут записаны относительные перемещения по осям от начальной точки P_0 к конечной P_1 с учетом знаков движения относительно направления осей (для принятого примера — минус по оси Y и плюс по оси Z). Кадр, определяющий круговую интерполяцию, будет иметь вид

N{i}G19G91G02Y$-${$Δy$}Z$+${$Δz$}J{b}K{a}LF.

Определенные УЧПУ предусматривают задание в одном кадре информации о части дуги, расположенной только в одном квадранте. Если дуга расположена в двух квадрантах, то она описывается двумя кадрами, если в трех — тремя и т. д. При размещении дуги в двух квадрантах (рис. 1.38, *в*) кадры УП могут иметь следующий вид:

N{i}G18G91G02X$-$77.Z$-$98.I25.K98.LF;

N{i$+$1}X$+${$Δx_{23}$}Z$-${$ΔZ_{23}$}I102.K0.LF.

Отметим, что в некоторых УЧПУ после адресов I и K приводятся абсолютные значения величин, т. е. со знаком «плюс». При векторном способе (рис. 1.38, *г*) под адресами интерполяции указывают численные значения и направления (относительно осей координат) векторов, проведенных из начальной точки дуги в ее центр, и координаты (или приращения) конечной точки дуги. Кадр интерполяции при таком способе может иметь вид

N{i}G17G90G03X{x_1}Y{y_1}I$-${i}J$-${j}LF.

Однако несмотря на разнообразие способов задания параметров интерполяции все они сводятся к единой общей расчетной схеме, обеспечивающей определение радиуса дуги (если он не задан) по заданным элементам I, J, K (рис. 1.39 — 1.41).

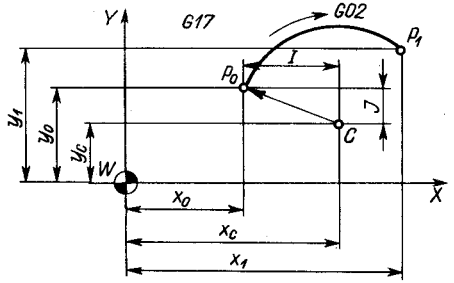


Рис. 1.39. Схема кодирования элементов круговой траектории в плоскости *XOY*:

Адрес	Размеры	
	абсолютные	в приращениях
X	x_1	$x_1 - x_0$
Y	y_1	$y_1 - y_0$
I	$x_C - x_0$	$x_C - x_0$
J	$y_C - x_0$	$y_C - x_0$

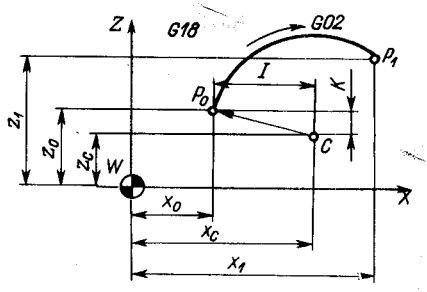


Рис. 1.40. Схемы кодирования элементов круговой траектории в плоскости *XOZ*:

Адрес	Размеры	
	абсолютные	в приращениях
X	x_1	$x_1 - x_0$
Z	z_1	$z_1 - z_0$
I	$x_C - x_0$	$x_C - x_0$
K	$z_C - z_0$	$z_C - z_0$

Определенные правила записи в УП существуют также при задании функции G06 (параболическая интерполяция) и при программировании линейно-круговой интерполяции (ГОСТ 20999—83).

Вспомогательные и другие функции. Подача и скорость шпинделя с адресами F и S задаются в различных УЧПУ поразному. Достаточно распространен способ задания с использованием кодовых таблиц, в которых двузначными цифрами закодированы подача и скорости шпинделя данного станка. В современных станках с ЧПУ эти величины обычно задаются действительными числовыми значениями в мм/мин, мм/об. и об/мин.

Адрес инструмента T с двузначным числом определяет код инструмента в многоинструментальных станках, а в ряде случаев и номер связанного с инструментом корректора. В ряде станков задание команды на инструмент предшествует команде на его замену (M06). Вспомогательные команды, задаваемые с адресом M, достаточно многочисленны (табл. 1.10).

При кодировании информации следует иметь в виду, что в УЧПУ в исходном (начальном) состоянии установлены определенные значения подготовительных функций. Эти функции не следует программировать. Их вводят (указывают) в программу лишь в том случае, если по ходу программы были запрограммированы другие функции, отменяющие действие исходных. Например, во многих УЧПУ исходной (введенной в УЧПУ) является функция G17 (плоскость интерполяции *XY*), G91 (размеры в приращениях) или G90 (абсолютные размеры).

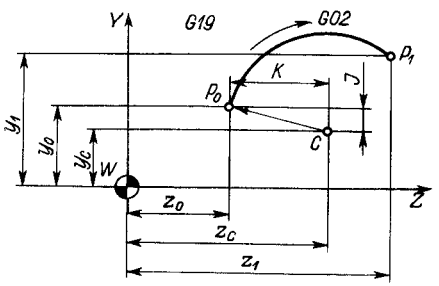


Рис. 1.41. Схема кодирования элементов круговой траектории в плоскости *ZOY*:

Адрес	Размеры	
	абсолютные	в приращениях
Z	z_1	$z_1 - z_0$
Y	y_1	$y_1 - y_0$
K	$z_C - z_0$	$z_C - z_0$
J	$y_C - y_0$	$y_C - y_0$

Таблица 1.10. Значение вспомогательных функций по ГОСТ 20999—83

Код функции	Наименование	Значение
M00	Программируемый останов	Останов без потери информации по окончании отработки соответствующего кадра. После выполнения команд происходит останов шпинделя, охлаждения, подачи. Работа по программе возобновляется нажатием кнопки
M01	Останов с подтверждением	Функция аналогична M00, но выполняется только при предварительном подтверждении с пульта управления
M02	Конец программы	Указывает на завершение отработки УП и приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в кадре. Используется для приведения в исходное состояние УЧПУ и (или) исполнительных органов станка
M03	Вращение шпинделя по часовой стрелке	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, входит в заготовку
M04	Вращение шпинделя против часовой стрелки	Включает шпиндель в направлении, при котором винт с правой нарезкой, закрепленный в шпинделе, выходит из заготовки
M05	Останов шпинделя	Останов шпинделя наиболее эффективным способом. Выключение охлаждения
M06	Смена инструмента	Команда на смену инструмента вручную или автоматически (без поиска инструмента). Может автоматически отключать шпиндель и охлаждение
M07	Включение охлаждения № 2	Включение охлаждения № 2 (например, масляным туманом)
M08	Включение охлаждения № 1	Включение охлаждения № 1 (например, жидкостью)
M09	Отключение охлаждения	Отменяет M07, M08
M10	Зажим	Относится к работе с зажимным приспособлением подвижных органов станка
M11	Разжим	То же
M19	Останов шпинделя в заданной позиции	Вызывает останов шпинделя при достижении им определенного углового положения
M30	Конец информации	Приводит к останову шпинделя, подачи и выключению охлаждения после выполнения всех команд в данном кадре. Используется для установки в исходное состояние УЧПУ и (или) исполнительных органов станка. Установка в исходное положение УЧПУ включает в себя возврат к символу «начало программы»
M49	Отмена ручной коррекции	Функция, указывающая на отмену ручной коррекции скорости подачи и (или) скорости главного движения и о возвращении этих параметров к запрограммированным значениям
M59	Постоянная скорость шпинделя	Поддержание постоянным текущего значения скорости шпинделя независимо от перемещения исполнительных органов станка и задействованной функции G96

Примечание. Остальные значения вспомогательных функций стандартом не определены.

ГЛАВА 2

СТРУКТУРА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ

2.1. КОМПЛЕКС «СТАНОК С ЧПУ»

В общем виде структуру комплекса «станок с ЧПУ» можно представить в виде трех блоков, каждый из которых выполняет свою задачу: управляющая программа (УП), устройство ЧПУ (УЧПУ) и собственно станок (рис. 2.1).

Управляющая программа содержит укрупненное кодированное описание всех стадий геометрического и технологического образования изделия. Главное (с информационной точки зрения) в этом описании то, что оно не допускает двусмысленных трактований.

В *УЧПУ* управляющая информация в соответствии с УП транслируется, а затем используется в вычислительном цикле, результатом которого является формирование оперативных команд в реальном масштабе машинного времени станка.

Станок является основным потребителем управляющей информации, исполнительной частью, объектом управления, а в конструктивном отношении — несущей конструкцией, на которой смонтированы механизмы с автоматическим управлением, приспособленные к приему опера-

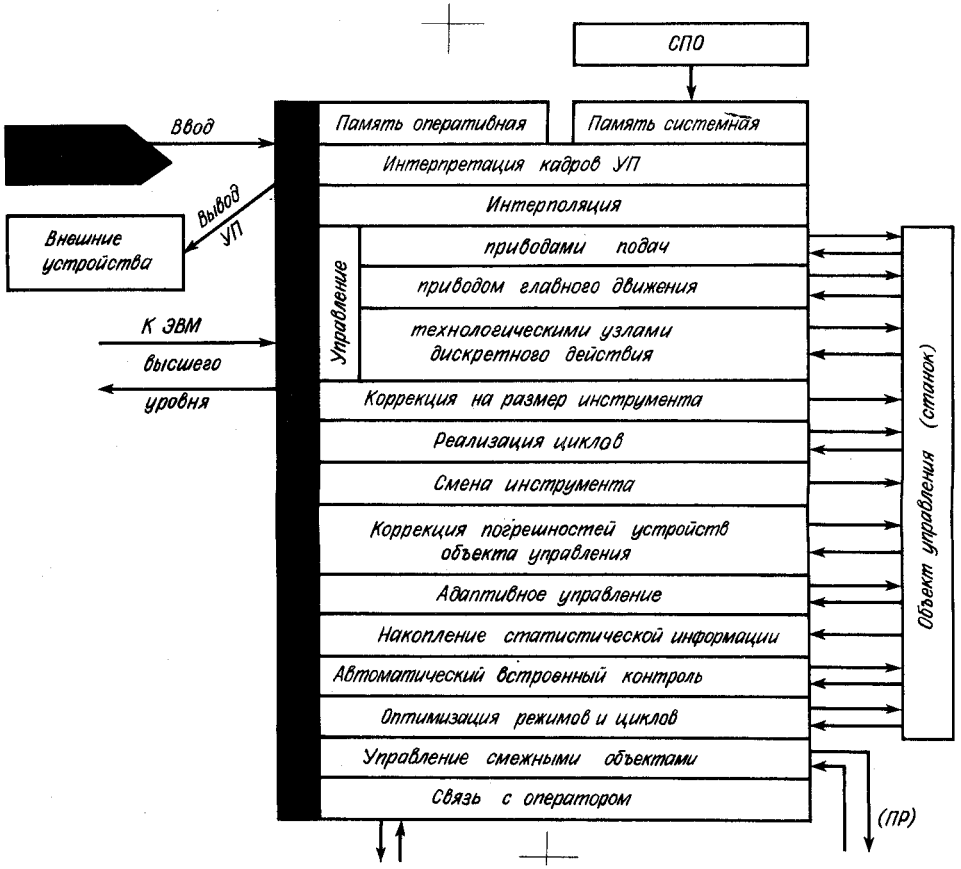


Рис. 2.1. Функциональная схема управления станком с ЧПУ

тивных команд от УЧПУ. К числу подобных механизмов относятся прежде всего те, которые непосредственно участвуют в геометрическом формообразовании изделия. Это механизмы координатных подач, направления которых различны. В зависимости от числа координат движения, задаваемых механизмами подачи, складывается та или иная система координат обработки: плоская, пространственная трехмерная, пространственная многомерная. Из всех механизмов механизмы подачи требуют в процессе управления наибольшего объема переработки информации и вычисления, поэтому от числа управляемых координат, от сложности геометрической координатной задачи формообразования во многом зависит сложность УЧПУ в целом и используемая методика программирования.

Функциональность реальной системы ЧПУ (СЧПУ) определяется степенью реализации целого ряда функций при управлении оборудованием. Дадим краткую характеристику этих функций.

Ввод и хранение системного программного обеспечения (СПО). К СПО относят совокупность программ, отражающих алгоритмы функционирования конкретного объекта. В УЧПУ низших классов СПО заложено конструктивно и не может быть изменено, и УЧПУ может управлять лишь данным (типовым) объектом (например, только станками токарной группы с двумя координатами). В системах, обеспечивающих управление широким классом объектов (в так называемых многоцелевых СЧПУ), при настройке СЧПУ для решения определенного круга задач СПО вводится извне. Это необходимо, поскольку у разных объектов существуют различия в алгоритмах формообразования по числу координат управления, скоростям и ускорениям движения инструмента. Разнообразие типов приводов и состава технологических команд объектов ведет к различиям в количестве и характере сигналов обмена.

В автономных многоцелевых устройствах управления СПО вводится с перфоленты, в автоматизированных устройствах (в составе АСУ ТП и ГАП) — по каналу связи с ЭВМ верхнего уровня. Естественно, что СПО хранится в памяти системы до тех пор, пока не меняется объект управления. При замене объекта управления (например, вместо токарного станка к СЧПУ подключается промышленный робот) необходим ввод в СЧПУ новых программ (СПО), которые определили бы алгоритмы функционирования этого нового объекта.

Необходимо различать СПО и управляющие программы: СПО остается неизменным для данного объекта управления, а УП изменяются при изготовлении разных деталей на одном и том же объекте. В многоцелевых СЧПУ память для хранения СПО должна быть энергонезависимой, т. е. сохранять информацию при пропадании напряжения питающей сети.

Ввод и хранение УП. Управляющая программа может вводиться в СЧПУ с перфоленты, с пульта управления или по каналам связи с ЭВМ высшего уровня. Память для хранения УП, которая обычно представляется в коде ИСО, должна быть энергонезависимой. В СЧПУ высших классов УП обычно вводится сразу и целиком и запоминается в оперативной памяти системы. Однако в ряде СЧПУ используется также метод покадрового ввода УП — путем поэтапного (покадрового) чтения перфоленты фотосчитывающим устройством системы управления.

В ряде систем введенная УП после отладки и редактирования с использованием УЧПУ может быть выведена на какие-либо внешние устройства: перфоратор, автоматическое печатающее устройство, графопостроитель, дисплей, накопитель на магнитных дисках и т. д.

Интерпретация кадра. Управляющая программа состоит из составных частей — кадров. Отработка очередного кадра требует проведения ряда предварительных процедур, называемых интерпретацией кадра. Для непрерывности контурного управления процедуры интерпретации $i+1$-го кадра должны быть реализованы во время управления объектом по i-му кадру. Иначе говоря, система управления должна быть готова к немедленной (без перерывов на чтение и распознавание кадров) выдаче команд управления в соответствии с командами последующего кадра после исполнения команд, заложенных в кадре текущем.

Интерполяция. СЧПУ должна обеспечить с требуемой точностью автоматическое получение (расчет) координат промежуточных точек траектории движения элементов управляемого объекта по координатам крайних точек и заданной функции интерполяции.

Управление приводами подач. Сложность управления зависит от типа привода. В общем случае задача сводится к организации цифровых позиционных следящих систем для каждой координаты. На вход такой системы поступают коды (код), соответствующие результатам интерполяции. Этим кодам должно отвечать положение по координате (линейное или угловое) перемещающегося объекта. Определение действительного положения перемещающегося объекта и сообщение о нем в систему управления осуществляются датчиками обратной связи. Кроме управления в режиме движения по заданной траектории необходима организация и некоторых вспомогательных режимов: согласование системы управления приводами с истинным положением датчиков обратной связи, установка системы приводов в фиксированный нуль станка, контроль выхода за допустимые значения координат, автоматический выход приводов в режим торможения по определенным законам и др.

Управление приводом главного движения. Управление предусматривает включение и отключение привода, стабилизацию скорости, а в некоторых случаях — управление углом поворота как дополнительной координатой.

Логическое управление. Это управление технологическими узлами дискретного действия, входные сигналы которых производят операции типа «включить», «отключить», а выходные фиксируют состояния «включено», «отключено».

Коррекция на размеры инструмента. Коррекция УП на длину инструмента сводится к параллельному переносу координат, т. е. смещению. Учет фактического радиуса инструмента сводится к формированию траектории, эквидистантной запрограммированной.

Реализация циклов. Выделение повторяющихся (стандартных) участков программы, называемых циклами, является эффективным методом сокращения УП. Так называемые фиксированные циклы характерны для определенных технологических операций (сверления, зенкерования, растачивания, нарезания резьбы и т. п.) и встречаются при изготовлении многих изделий.

При разработке УП фиксированные циклы указываются в программе, а их отработка ведется в соответствии с определенной подпрограммой, заложенной в память СЧПУ системой программного обеспечения или конструктивной схемой.

Программные технологические циклы соответствуют повторяющимся участкам данной обрабатываемой детали. Эти циклы в определенных СЧПУ также могут быть выделены и занесены в оперативную память СЧПУ, а при повторениях в соответствии с командами УП реализовываться с вызовом их из оперативной памяти.

Смена инструмента. Эта функция характерна для многоинструментальных и многоцелевых станков. Задача смены инструмента в общем случае имеет две фазы: поиск гнезда магазина с требуемым инструментом и замену отработавшего инструмента на новый.

Коррекция погрешностей механических и измерительных устройств. Любой конкретный агрегат механообработки (т. е. объект управления) можно аттестовать с помощью измерительных средств достаточно высокого класса точности. Результаты такой аттестации в виде таблиц погрешностей (внутришаговая ошибка, накопленная ошибка, люфты, температурные погрешности) заносятся в память СЧПУ. При работе системы текущие показания датчиков агрегатов корректируются данными из таблиц погрешностей.

Адаптивное управление механообработкой. Для осуществления такого управления необходимая информация получается от специально установленных датчиков, с помощью которых измеряют момент сопротивления резанию или составляющие сил резания, мощность привода главного движения, вибрацию, температуру, износ инструмента и др. Чаще всего адаптация осуществляется изменением

контурной скорости или скорости привода главного движения.

Накопление статистической информации. К статистической информации относятся фиксация текущего времени и времени работы системы и ее отдельных узлов, определение коэффициента загрузки оборудования, учет изготовленной продукции, фиксация ее отдельных параметров и т. д.

Автоматический встроенный контроль. Организация такого контроля в зоне обработки особенно актуальна для ГАП. Непрерывный контроль по формируемым размерам обрабатываемого изделия — одна из основных задач повышения качества механообработки.

Дополнительные функции. К дополнительным функциям можно отнести следующие: обмен информацией с ЭВМ верхнего уровня, согласованное управление оборудованием технологического модуля, управление элементами автоматической транспортно-складской системы, управление внешними устройствами, связь с оператором, техническую диагностику технологического оборудования и самой системы ЧПУ, оптимизацию отдельных режимов и циклов технологического процесса и др.

2.2. СИСТЕМА КООРДИНАТ СТАНКОВ С ЧПУ

Работа станка с ЧПУ тесно связана с системами координат. Оси координат располагают параллельно направляющим станка, что позволяет при программировании обработки указывать направления и величины перемещения рабочих органов. В качестве единой системы координат для всех станков с ЧПУ соответствии с ГОСТ 23597—79 * (СТ СЭВ 3135—81) принята стандартная (правая) система, при которой оси X, Y, Z (рис. 2.2) указывают положительные перемещения инструментов относительно подвижных частей станка. Положительные направления движения заготовки относительно неподвижных частей станка указывают оси X', Y', Z', направленные противоположно осям X, Y, Z. Таким образом, положительными всегда являются такие движения, при которых инструмент и заготовка удаляются друг от друга.

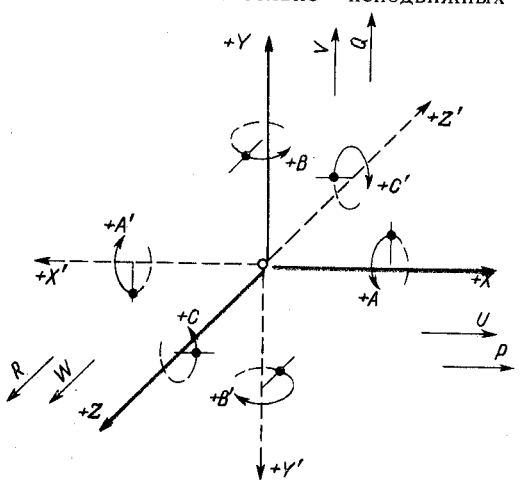


Рис. 2.2. Стандартная система координат станков с ЧПУ

Круговые перемещения инструмента (например, угловое смещение оси шпинделя фрезерного станка) обозначают буквами A (вокруг оси X), B (вокруг оси Y), C (вокруг оси Z), а круговые перемещения заготовки (например, управляемый по программе поворот стола на расточном станке) — соответственно буквами A', B', C'. В понятие «круговые перемещения» не входит вращение шпинделя, несущего инструмент, или шпинделя токарного станка. Для обозначения вторичных угловых движений вокруг специальных осей используют буквы $Д$ и E.

Для обозначения направления перемещения двух рабочих органов вдоль одной прямой используют так называемые вторичные оси: U (параллельно X), V (параллельно Y), W (параллельно Z). При трех перемещениях в одном направлении применяют еще и так называемые третичные оси: P, Q, R (см. рис. 2.2).

Система координат станка. У станков различных типов и моделей системы координат размещают по-разному (рис. 2.3), определяя при этом положительные направления осей и положение начала координат (нуль станка M).

Система координат станка является главной расчетной системой, в которой определяются предельные перемещения, начальные и текущие положения рабочих органов станка. При этом положения рабочих органов станка характеризуют их базовые точки, выбираемые с учетом конструктивных особенностей отдельных управляемых по программе узлов станка. Так, базовыми служат точки: для шпиндельного узла — точка N пересечения торца шпинделя с осью его вращения (рис. 2.4); для суппорта токарно-револьверного станка — центр поворота резцедержателя в плоскости, параллельной направляющим суппорта и проходящей через ось вращения шпинделя, или точка базирования инструментального блока; для крестового стола — точка пересечения его диагоналей или специальная настроечная точка, определяемая конструкцией приспособления; для поворотного стола — центр поворота на зеркале стола и т. д.

Базовая точка может быть материально выражена точным базовым отверстием в центре стола станка (например, точка F на рис. 2.4).

В технической документации пределы возможных смещений рабочих органов, как правило, указывают пределами смещения базовых точек.

Систему координат станка, выбранную в соответствии с рекомендациями ГОСТ 23597—79* (см. рис. 2.2), принято называть стандартной. В этой системе положительные направления осей координат определяются по правилу правой руки. Большой палец (рис. 2.5, *а*) указывает положительное направление оси абсцисс (X), указательный — оси ординат — (Y), средний — оси аппликат (Z). Положительные направления вращений вокруг этих осей определяются другим правилом правой руки. Согласно этому правилу, если расположить большой палец по направлению оси, то остальные согнутые пальцы укажут положительное направление вращения (рис. 2.5, *б*).

Ориентация осей стандартной системы координат станка связывается с направлением движения при сверлении на сверлильных, расточных, фрезерных и токарных станках. Направление вывода

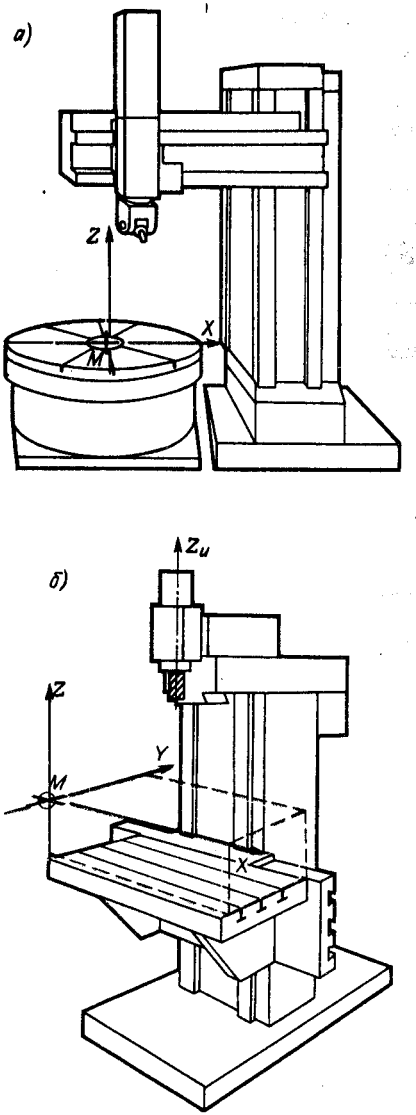


Рис. 2.3. Размещение координатных систем у различных станков с ЧПУ: *а* — карусельный; *б* — вертикально-фрезерный

сверла из заготовки принято в качестве положительного для оси Z, т. е. ось Z всегда связывается с вращающимся элементом станка — шпинделем. Ось X перпендикулярна к оси Z и параллельна плоскости установки заготовки. Если такому определению соответствуют две оси, то за ось X принимают ту, вдоль которой возможно большее перемещение узла станка. При известных осях X и Z ось Y однозначно определяется из условия рас-

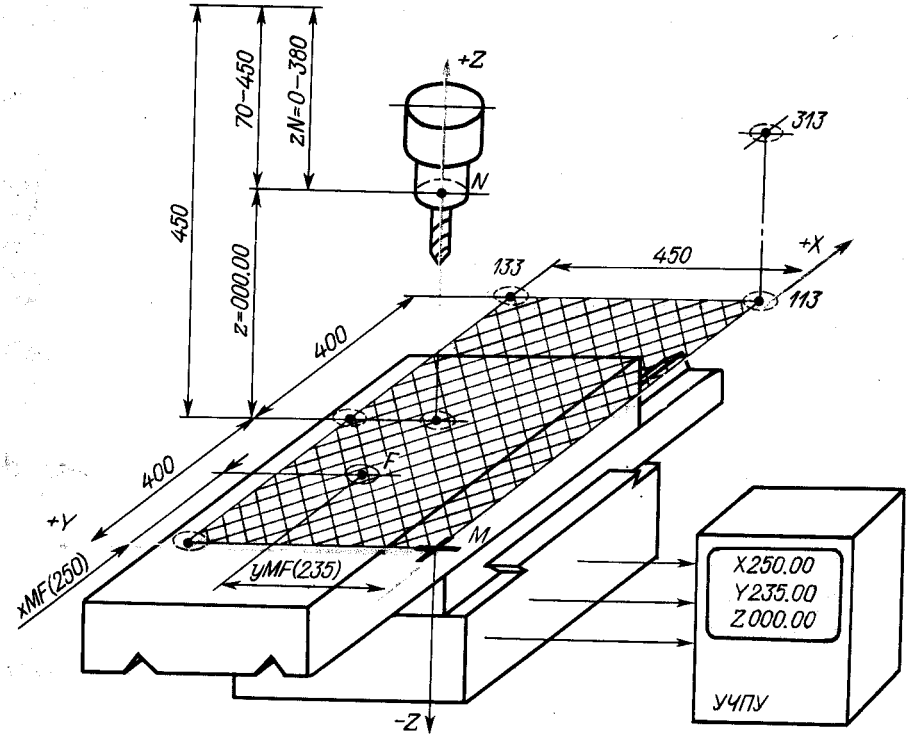


Рис. 2.4. Система координат вертикально-сверлильного станка с ЧПУ

положения осей в правой прямоугольной системе координат.

Начало стандартной системы координат станка обычно совмещают с базовой точкой узла, несущего заготовку, зафиксированного в таком положении, при котором все перемещения рабочих органов станка могли бы описываться положительными координатами (см. рис. 2.3, 2.4). Точка *M*, принятая за начало отсчета системы координат станка, называется нулевой точкой станка или нулем станка. В этом положении рабочие органы (базовые точки), несущие заготовку и инструмент, имеют наименьшее удаление друг от друга, а отсчетные элементы станка определяют нуль отсчета на табло цифровой индикации.

Например, у вертикально-сверлильного станка (см. рис. 2.4) базовой точкой *F* стола является центр стола, в котором выполнено отверстие диаметром 40H8. Базовой точкой шпинделя является точка *N* — центр отверстия шпинделя в плоскости торца шпинделя. Конструкцией станка определено, что стол может смещаться по оси *X* (продольная ось стола) на 400 мм вправо и влево относительно центрального положения базовой точки. Возможные смещения стола оси *Y* (поперечные) составляют 450 мм. Таким образом, прямоугольник (на рис. 2.4 заштрихован), образованный линиями возможного смещения точки *F* по осям *X* и *Y*, определяет возможную зону обработки заготовок инструментом, ось

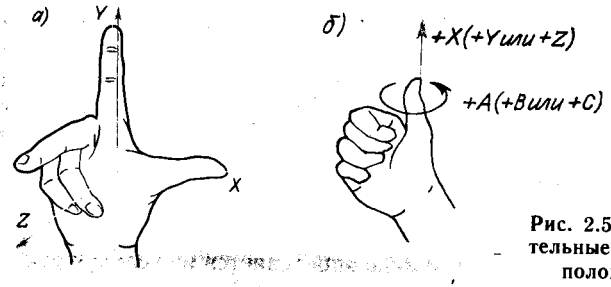


Рис. 2.5. Правило правой руки; *а* — положительные направления осей координат; *б* — положительные направления вращений

которого совпадает с осью шпинделя. Эта зона (ее часто называют рабочей зоной) у рассматриваемого станка в плоскости ограничена размерами 800×450 мм.

Наличие данных о зоне обработки обязательно, так как они определяют возможности станка при программировании перемещений обрабатываемых заготовок.

Для того чтобы отсчет перемещений стола по осям *X* и *Y* всегда был положительным, нуль станка *M* принимают размещенным в одном из углов рабочей зоны (см. рис. 2.3, *б*). Естественно, что положение точки *M* является фиксированным и неизменным, и в этом случае точка *M* будет являться началом координат станка. Тогда положение точки *F* может быть задано [1] координатами *xMF* и *yMF* относительно точки *M*.

Для рассматриваемого станка (см. рис. 2.4) положение точки *F* будет изменяться в пределах 0—800 мм по оси *X* и 0—450 мм по оси *Y*. Возможное смещение торца шпинделя в направлении оси *Z* составит 380 мм (70—450 мм). При этом за начало перемещения принимается нижнее (предельное) положение торца относительно зеркала стола, при котором расстояние от торца до зеркала стола равно 70 мм.

При работе станка табло индикации на панели УЧПУ отражает истинное положение базовых точек станка относительно нуля станка.

Для рассматриваемого примера это положение точки *F* относительно точки *M* и точки *N* относительно нулевого уровня в соответствующей системе *XYZ* координат станка. Для взаимного положения рабочих органов станка, показанного на рис. 2.4, на табло индикации будут данные: X250.00, Y235.00 и Z000.00. Для положения, когда ось шпинделя будет совмещена с точкой 133, табло индикации покажет X800.00, Y450.00 и Z000.00. В положении, когда точка *N* будет совмещена с точкой 313, на табло индикации будут значения: X800.00, Y000.00 и Z380.00 и т. д.

На рассматриваемом станке в положении, когда ось шпинделя будет совмещена с нулевой точкой *M*, а его торец находится на расстоянии 70 мм от зеркала стола, на табло цифровой индикации по всем программируемым координатам (*X*, *Y*, *Z*) будут показаны нули.

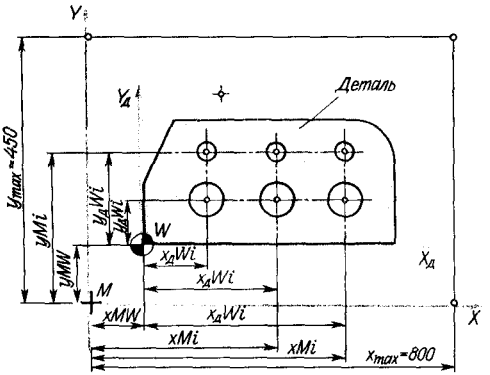


Рис. 2.6. Системы координат станка (*XMY*) и детали ($X_д WY_д$)

Таким образом, если на данном станке обрабатывать деталь с использованием абсолютного отсчета, то все ее координаты (рис. 2.6) должны быть определены относительно нулевой точки *M* станка.

Обычно в нулевую точку станка рабочие органы можно переместить путем нажатия кнопок на пульте управления станком или соответствующими командами УП. Точный останов рабочих органов в нулевом положении по каждой из координат обеспечивается датчиками нулевого положения.

Движения рабочих органов станка задаются в УП координатами или приращениями координат базовых точек в стандартной (правой) системе координат.

В рассматриваемом примере (см. рис. 2.4) это координаты *xMF* и *yMF* центра стола (базовой точки *F*) и координата *ZN* положения по высоте торца шпинделя (базовой точки *N* относительно нулевого уровня).

В паспортах станков с ЧПУ всех типов указаны координаты, которые закреплены за конкретным рабочим органом, и показаны направления всех осей, начало отсчета по каждой из осей и пределы возможных перемещений. Для того чтобы не было путаницы с положительными направлениями рабочих органов, связанных с заготовкой (обозначение осей со штрихом) и с инструментом (обозначение осей без штриха), при подготовке УП

[1] Обозначение координат тремя буквами позволяет однозначно определить эти координаты. Первая буква (например, *X*) показывает направление (ось) отсчитываемой координаты, вторая буква (например, *M*) указывает исходную точку отсчета, третья буква (например, *F*) определяет конечную точку, т. е. точку данной координаты. Так, обозначение *XMF* показывает, что координата (расстояние) представляется в направлении оси *X*, исходит из точки *M* и определяет положение точки *F*.

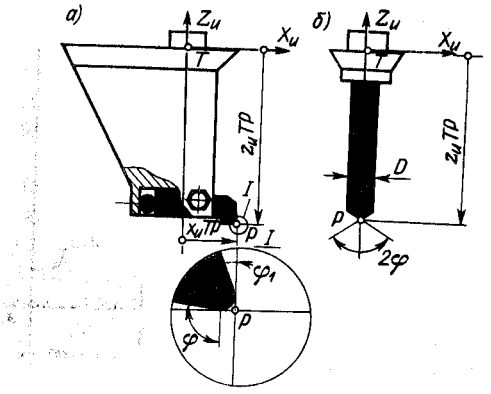


Рис. 2.7. Система координат инструмента: *а* **— резец;** *б* **— сверло**

всегда исходят из того, что инструмент движется относительно неподвижной заготовки. В соответствии с этим и указывают положительные направления осей координат на расчетных схемах, эскизах и другой документации, используемой при программировании. Другими словами, за основную при программировании принимают стандартную систему координат, в которой определены положения и размеры обрабатываемой детали, относительно которой перемещается инструмент. Принятое допущение корректируется системой УЧПУ таким образом, что если для реализации запрограммированного движения инструмента относительно заготовки необходимо переместить рабочий орган с инструментом, то это движение выполняется с заданным в УП знаком, а если требуется переместить рабочий орган с заготовкой, то знак направления движения изменяется на противоположный.

Система координат инструмента. Система координат инструмента предназначена для задания положения его режущей части относительно державки.

Инструмент описывается в рабочем положении в сборе с державкой (рис. 2.7). При описании всего разнообразия инструментов для станков с ЧПУ удобно использовать единую систему координат инструмента $X_иZ_и$, оси которой параллельны соответствующим осям стандартной системы координат станка и направлены в ту же сторону. Начало системы координат инструмента располагают в базовой точке T инструментального блока, выбираемой с учетом особенностей его установки на станке. При установке блока на станке точка T часто совмещается с базовой точкой элемента станка, несущего инструмент, например с точкой N (рис. 2.8).

Режущая часть инструмента характеризуется положением его вершины и режущих кромок. Вершина инструмента задается радиусом закругления r и координатами $x_иTP$ и $z_иTP$ ее настроечной точки P (см. рис. 2.7, *а*), положение которой относительно начала системы координат инструмента обеспечивается наладкой инструментального блока вне станка на специальном приспособлении. Положение режущей кромки резца задается главным φ и вспомогательным φ_1 углами в плане, а сверла — углом 2φ при вершине и диаметром D. Вершина вращающегося инструмента лежит на оси вращения, и поэтому для ее задания достаточно указать аппликату $z_иTP$.

Настроечная точка инструмента P обычно используется в качестве расчетной при вычислении траектории инструмента, элементы которой параллельны координатным осям. Расчетной точкой криволинейной траектории служит центр закругления $P_и$ при вершине инструмента (см. рис. 2.7, *а*).

Связь систем координат. Таким образом, при обработке детали на станке с ЧПУ (рис. 2.9, *а*) можно выделить три координатные системы. Первая — система координат станка XMZ, имеющая начало отсчета в точке M — нуль станка (рис. 2.9, *б*). В этой системе определяются положения базовых точек

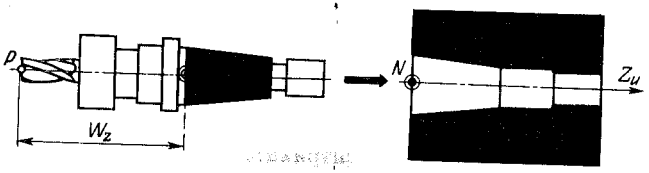


Рис. 2.8. Схема базирования инструмента

отдельных узлов станка, причем числовые значения координат тех или иных точек (например, точки F) выводятся на табло цифровой индикации станка. Вторая координатная система — это система координат детали или программы обработки детали $X_д W Z_д$ (рис. 2.9, *в*). И третья система — система координат инструмента $X_и T Z_и$ (рис. 2.9, *г*), в которой определено положение центра P инструмента относительно базовой точки F (K, T) элемента станка, несущего инструмент.

Система координат детали — это система, в которой определены все размеры данной детали и даны координаты всех опорных точек контура детали. Система координат детали переходит в систему координат программы — в систему, в которой даны координаты всех точек и определены все элементы, в том числе и размещение вспомогательных траекторий, которые необходимы для составления УП по обработке данной детали. Системы координат детали и программы обычно совмещены и представляются единой системой, в которой и производится программирование и выполняется обработка детали. Система назначается технологом-программистом в соответствии с координатной системой выбранного станка.

В этой системе, которая определяет положение детали в приспособлении, размещение опорных элементов приспособления, траектории движения инструмента и др., указывается так называемая точка начала обработки — исходная точка (O). Она является первой точкой для обработки детали по программе. Часто точку O называют «нуль программы». Перед началом обработки центр P инструмента должен быть совмещен с этой точкой. Ее положение выбирает технолог-программист перед составлением программы исходя из удобства отсчета размеров, размещения инструмента и заготовок и др., стремясь во избежание излишних холостых ходов приблизить инструменты к обрабатываемой детали.

При многоинструментальной обработке исходных точек может быть несколько — по числу используемых инструментов, поскольку каждому инстру-

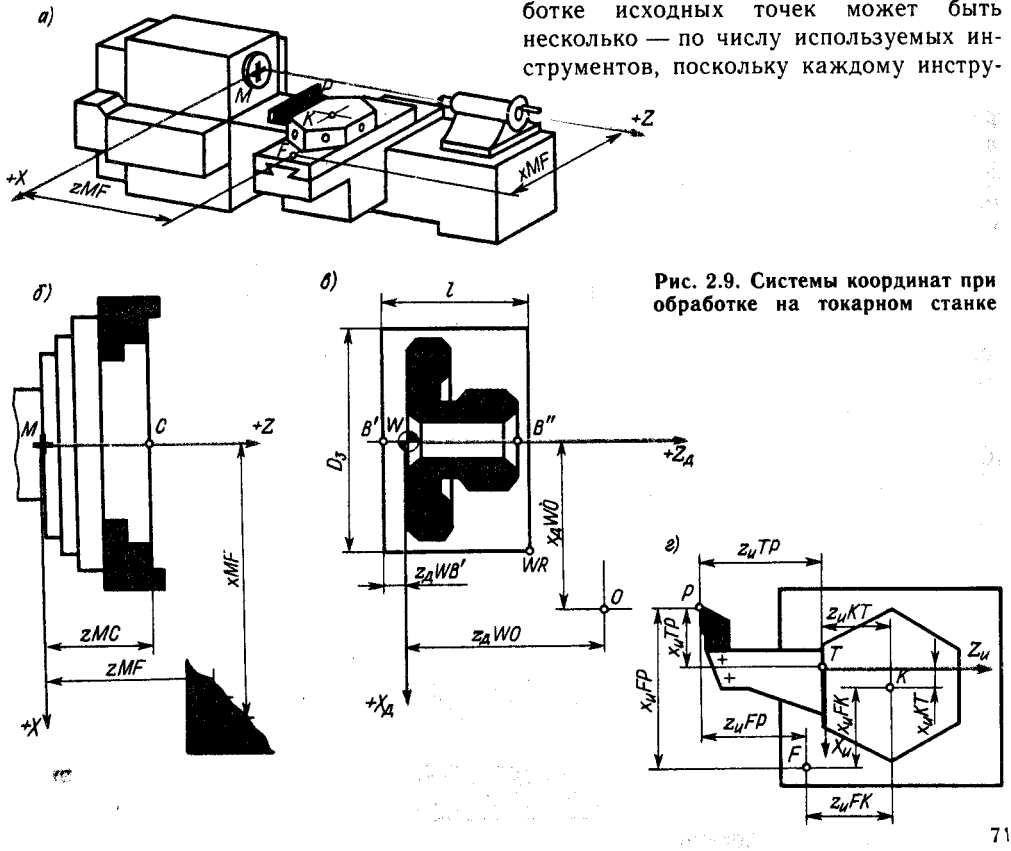


Рис. 2.9. Системы координат при обработке на токарном станке

менту задается своя траектория движения.

Положение исходной точки O, как и любой другой точки траектории инструмента, переводится в систему координат станка из системы координат программы (детали) через базовую точку C приспособления ($O-W-C-M$). Центр инструмента P, заданный координатой в системе координат инструмента $X_иTZ_и$ (см. рис. 2.9, *г*), переводится в систему координат станка через базовую точку K суппорта, которая задана относительно базовой точки $F(P-K-F-M)$.

Такая связь систем координат детали, станка и инструмента позволяет выдерживать заданную точность при переустановках заготовки и учитывать диапазон перемещений рабочих органов станка при расчете траектории инструмента в процессе подготовки программного управления.

Наладка станка для работы по УП упрощается, если нулевая точка станка находится в начале стандартной системы координат станка, базовые точки рабочих органов приведены в фиксированные точки станка, а траектория инструмента задана в УП перемещениями базовой точки рабочего органа, несущего инструмент, в системе координат станка. Это возможно, если базовая точка C приспособления определена в системах координат детали и станка. Если же траектория инструмента задана в УП перемещениями вершины инструмента в системе координат детали, то для реализации такой УП используют «плавающий нуль».

При программировании в ряде случаев за исходную принимают точку начала системы координат программы (детали). Тогда удобно, определив в системе положение базовых точек приспособления для детали, строить траекторию движения центра инструмента (см. гл. 1).

При токарной обработке чаще всего за начало координатной системы программы принимают базовую точку детали на базовом торце, при установке детали в приспособлении она совпадает с базовой точкой C на плоскости приспособления (рис. 2.10).

Исходная точка O назначается координатами $x_дWO$ и $z_дWO$ (рис. 2.10, *а*) относительно начала системы координат программы в месте, которое зависит от вида используемого инструмента, конструкции суппорта или револьверной головки и координат вершины инструмента в системе координат инструмента.

Все три рассмотренные координатные системы на любом станке взаимосвязаны. В большинстве случаев в каждой данной программе расположение координатной системы программы неизменно относительно начала координатной системы станка.

На токарном станке (рис. 2.10, *а*) нулевая точка станка M, размещаемая на торце шпинделя, определяет положение координатных осей станка Z и X. Относительно нулевой точки при работе станка в абсолютной системе координат ведется отсчет перемещений базовой точки суппорта F. При этом текущие значения координат xMF и zMF выводятся на табло цифровой индикации. При обработке данной детали всегда должна быть известна величина zMC — расстояние относительно точки M базовой точки C плоскости приспособления (токарного патрона), с которой при установке заготовки совмещается ее базовая точка B'.

Для координатной системы программы $X_дWZ_д$ (см. рис. 2.9, *в* и 2.10, *а*) характерно наличие исходной точки O, определенной координатами $z_дWO$ и $x_дWO$ относительно осей координатной системы, и точки WR — точки отсчета заготовки, имеющей размеры $D_з \times l$.

В координатной системе программы задаются также все опорные точки программируемой траектории перемещения центра инструмента (инструментов), обеспечивающей обработку данной детали.

У заготовки может быть также определен припуск $z_дWB'$ (положение точки B'), который должен быть удален при ее обработке во время второго установа, или смещение начала координатной системы (точки W) относительно базовой плоскости заготовки, т. е. величина $z_дWB'$.

На токарном станке начало системы координат инструмента ($X_иTZ_и$) принимают в базовой точке T инструменталь-

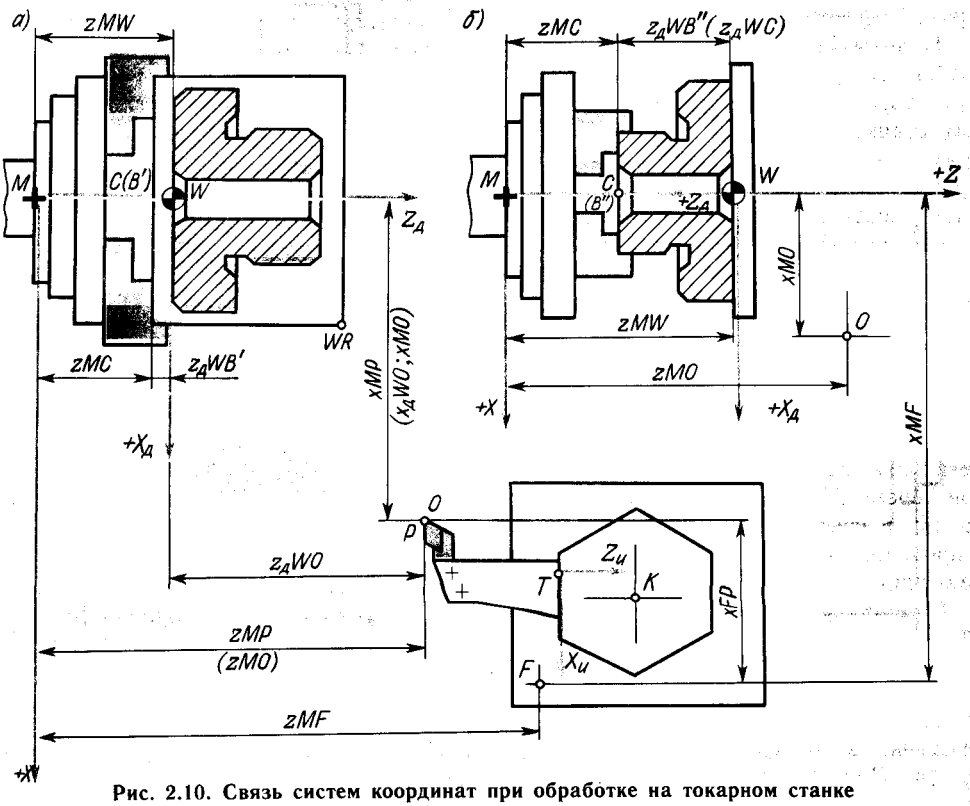


Рис. 2.10. Связь систем координат при обработке на токарном станке

ного блока в его рабочем положении (см. рис. 2.9, *г*). Положения базовых точек инструментальных блоков, устанавливаемых на одном разцедержателе, определяют относительно его центра K приращениями координат $Z_иKT$ и $X_иKT$. На одном суппорте может быть несколько резцедержателей, и в зависимости от характера работ (в патроне или в центрах) разцедержатель может занимать на суппорте токарного станка различные положения. В связи с этим центр резцедержателя должен быть определен приращениями координат $z_иFK$ и $x_иFK$ относительно базовой точки суппорта F. В частном случае, когда на суппорте находится один непереставляемый резцедержатель, базовая точка суппорта может быть совмещена с центром поворота резцедержателя или с базовой точкой инструментального блока.

При закреплении заготовки на станке (рис. 2.10, *а*) технологическая база для обработки детали в данном установе совмещается с соответствующей опорной поверхностью приспособления (совмещаются точки C и B'). Это позволяет увязать между собой системы координат программы и станка.

Так как оси вращения шпинделя токарного станка и обрабатываемой детали совпадают, достаточно для увязки этих систем координат определить аппликату точки W начала системы координат программы в системе координат станка. Для случая, когда оси аппликат систем координат программы и станка направлены в одну сторону, $zMW = zMC - z_дWB'$, где zMC и zWB' — аппликаты базовых точек в системах координат станка и программы с соответствующими знаками. В данном случае (см. рис. 2.10, *а*) $zMW = zMC - (-z_дWB') = zMC + z_дWB'$. Если же оси аппликат этих систем направлены в противоположные стороны (рис. 2.10, *б*), то $zMW = zMC + z_дWB''$, где $z_дWB''$ — аппликата положения базовой точки B'' детали при обработке ее на втором установе. Естественно, в данном случае принято, что положение базо-

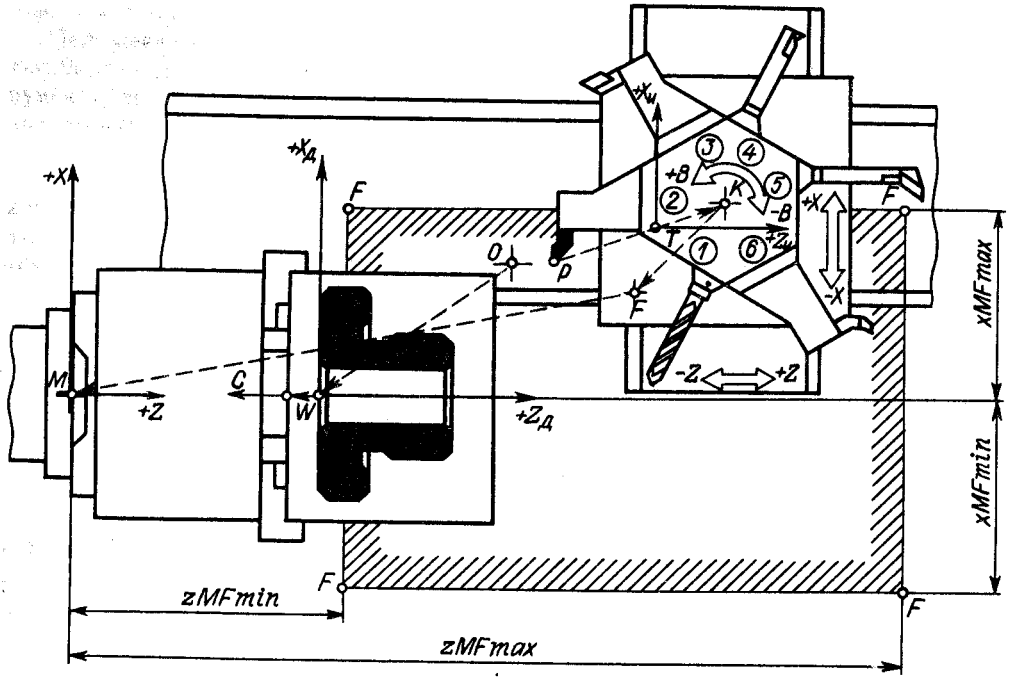


Рис. 2.11. Связь систем координат программы, станка и инструмента при токарной обработке несколькими инструментами

вой точки C приспособления относительно точки M остается постоянным, т. е. равным zMC, как и при обработке детали на первом установе.

Тогда положение точки O, заданное координатами $x_дWO$ и $z_дWO$ в системе координат программы, определится координатами xMO и zMO в системе координат станка:

$$xMO = x_0;\ zMO = zMW \pm z_0,$$

где знак «+» ставится при одинаковых, а знак «—» при противоположных направлениях осей аппликат обеих систем координат. Координаты x_0 и z_0 определяют положение точки O в системе координат детали (программы).

Таким образом, с учетом размещения координатной системы программы и координатной системы инструмента относительно базовых точек станка M и F можно определить текущие значения координат (zMP и xMP) центра инструмента P в координатной системе станка XMZ. При этом следует иметь в виду, что вылет инструмента $x_иTP$ и $z_иTP$ определен его наладкой, а положение точки T (величины $x_иKT$ и $z_иKT$) относительно центра резцедержателя K задано технической характеристикой станка. Заданными должны быть и величины $z_иFK$ и $x_иFK$, определяющие положение точки K относительно базовой точки F. Тогда

$$xMP = xMF + x_иFK + x_иKT + x_иTP;$$
$$zMP = zMF + z_иFK + z_иKT + z_иTP.$$

При определении координат xMP и zMP необходимо учитывать направления составляющих величин.

Если базовая точка суппорта F совмещена с базовой точкой инструментального блока T, то текущие значения координат центра инструмента определятся лишь с учетом вылета инструмента, т. е. его координат в системе координат инструмента:

$$xMP = xMF(T) + x_иTP;$$
$$zMP = zMF(T) + z_иTP.$$

Естественно, что перед началом работы по программе (рис. 2.10, *а*) центр инструмента P должен быть совмещен с исходной точкой O и его положение в координатной системе станка долж-

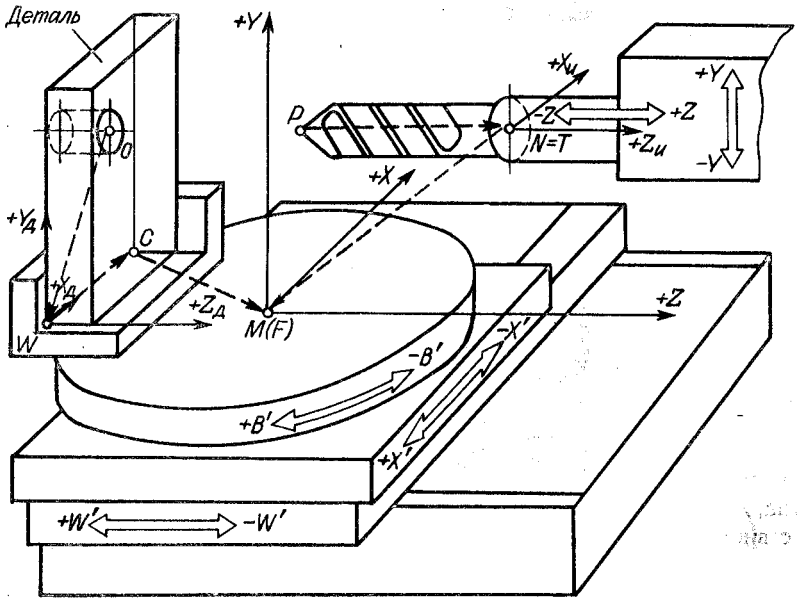


Рис. 2.12. Связь систем координат на сверлильно-расточном станке

но определяться координатами zMP_0 и xMP_0:

$$zMP_0 = zMW + z_д WO = zMO;$$
$$xMP_0 = x_д WO = xMO,$$

где zMO, xMO — координаты исходной точки в системе координат станка.

При программировании следует принимать во внимание диапазон перемещений рабочих органов станка (рабочую зону), который задается предельными координатами базовых точек этих органов в стандартной системе координат станка. На рис. 2.11 заштрихована рабочая зона перемещения суппорта токарного станка, базовая точка которого F может находиться в любой точке плоскости, ограниченной абсциссами xMF_{max} и xMF_{min} и аппликатами zMF_{max} и zMF_{min}.

Сказанное справедливо для каждого из инструментов, используемых в работе по программе при обработке детали на токарном станке. Перед началом работы центр каждого инструмента (точка P) должен быть выведен в исходную точку O, от которой программируется траектория инструментов для обработки тех или иных поверхностей. На рис. 2.11 штрихами показана последовательность перевода в систему координат станка траектории центра инструмента ($P-T-K-F-M$) и текущей точки O этой траектории ($O-W-C-M$).

Подобная же последовательность может быть определена и для работы инструментом на сверлильно-расточном станке (рис. 2.12).

2.3. ИНФОРМАЦИОННАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ

К СЧПУ относят средства, участвующие в выработке по заданной программе управляющих воздействий на исполнительные органы станка и другие механизмы, средства внесения и управляющее воздействие внешних и адаптивных поправок, а также средства диагностики и контроля работоспособности СЧПУ и станка при изготовлении детали. СЧПУ станком должна включать: технические средства; программное обеспечение (для программируемых СЧПУ); эксплуата-

ционную документацию.

К *техническим средствам* СЧПУ относятся:

вычислительно-логическая часть (включая запоминающие устройства различного типа для программируемых систем);

средства формирования воздействий на исполнительные органы станка (приводы подач и главного движения, исполнительные аппараты электроавтоматики и др.);

средства связи с источниками информации о состоянии управляемого объекта (измерительными преобразователями различных видов, устройствами контроля, адаптации, диагностики и др.);

средства, обеспечивающие взаимодействие с внешними системами и периферийными устройствами (каналы связи с ЭВМ высшего ранга и др.).

Технические средства, входящие в состав СЧПУ, обычно конструктивно оформляются в виде автономного устройства — УЧПУ.

Основными классификационными признаками СЧПУ являются *уровень сложности управляемого оборудования и числа осей, связанных решением единой интерполяционной задачи во времени.* По этому признаку СЧПУ станками подразделяют на следующие группы:

СЧПУ с прямоугольным формообразованием по одной оси координат;

СЧПУ с контурным формообразованием при ограниченном составе функций по двум или трем осям координат (информационным каналам);

СЧПУ с расширенными функциональными возможностями для оснащения многоцелевых станков и станков со сложным объемным формообразованием по четырем-пяти осям координат (информационным каналам);

СЧПУ с расширенными функциональными возможностями, включая специальные задачи управления, для оснащения тяжелых и уникальных станков и станочных модулей по 10—12 осям координат (информационным каналам).

Сложность структуры СЧПУ определяется по информационным признакам и оценивается числом и характером информационных каналов, используемых при работе системы. В связи с тем, что информационное назначение устройств и их элементов, входящих в СЧПУ, различно, их относят к различным иерархическим рангам. Обычно СЧПУ станками имеет двух- или трехранговую структуру, обеспечивая при этом выходы на более высокие ранги для работы в качестве компонентов ГПС, автоматизированных линий, участков и других производственных комплексов.

В структуре системы (рис. 2.13) уровни различных рангов связаны между собой информационными каналами. В обозначении канала (буква P) обычно используют двойную индексацию: первая цифра нижнего индекса указывает ранг, на котором канал формируется, вторая цифра нижнего индекса — ранг, на котором канал замыкается; верхний индекс (римские цифры) означает номер канала. Например, обозначение P_{13}^{II} показывает, что информационный поток, соответствующий второму каналу (верхний индекс II), формируется на уровне 1-го ранга (первая цифра нижнего индекса), т. е. датчиками станка, и замыкается на устройстве, соответствующем уровню 3-го ранга (вторая цифра нижнего индекса),— на УЧПУ (рис. 2.13, *а*).

При структурно-информационном анализе СЧПУ принято следующее распределение уровней и информационных каналов.

Уровень 0-го ранга — это совокупность таких факторов, как температура, качество материалов, данные контрольно-измерительной аппаратуры и др.

Уровень 1-го ранга — это преобразователи, формирующие информацию каналов: P_1^{II} — по положению исполнительных органов станка; P_1^{III} — по технологическим и размерным параметрам, характеризующим состояние системы СПИД (станок — приспособление — инструмент — деталь); P_1^{IV} — по параметрам возмущений, вносимых в систему СПИД; P_1^{VI} — по точности детали, обрабатываемой на станке; P_1^{VII} — по замене приспособлений, инструмента и готовности станка; P_1^{VIII} — по наблюдению за правильным ходом процесса резания и регистрации возникающих неполадок, а также выработке способов их устранения.

Уровень 2-го ранга — это совокупность исполнительных регулируемых приводов и исполнительных механизмов станка — основных (осуществляющих программное перемещение исполнительных органов), вспомогательных (выполняющих различного рода технологические команды, в том числе при помощи робота) и дополнительных (предназначенных для подналадочных и корректирующих перемещений).

Уровень 3-го ранга — уровень технических средств СЧПУ (в том числе УЧПУ).

Уровни 4-го и более высоких рангов выходят за пределы СЧПУ и станка. К уровню 4-го ранга относится, например, внешняя ЭВМ.

В наиболее общем случае СЧПУ металлорежущими станками имеют трехранговую структуру. Функциональное назначение информационных каналов при трехранговой структуре может быть следующим.

Информационный канал P^{I} — канал, передающий информацию управляющей программы, которая, будучи введена в УЧПУ на уровне 3-го ранга, приводит в движение исполнительные механизмы и приводы 2-го ранга и всю систему контроля и измерения 1-го ранга. Степень совершенства канала P^{I} зависит от достоверности априорных сведений, которыми располагает технолог-программист о будущих свойствах процесса обработки.

Информационный канал P^{II} — канал, передающий информацию датчиков обратной связи по положению исполнительных органов станка. Этот канал имеют замкнутые СЧПУ, исполнительной частью которых служит следящий привод, а в разомкнутых СЧПУ он отсутствует. Канал P^{II} замыкается на уровне 3-го ранга.

Информационный канал P^{III} — канал, передающий информацию датчиков, измеряющих силовые параметры резания, температурные и силовые деформации, относительные колебания инструмента и заготовок, текущий износ инструмента. Этот канал характеризует состояние системы СПИД непосредственно в процессе обработки и может быть использован

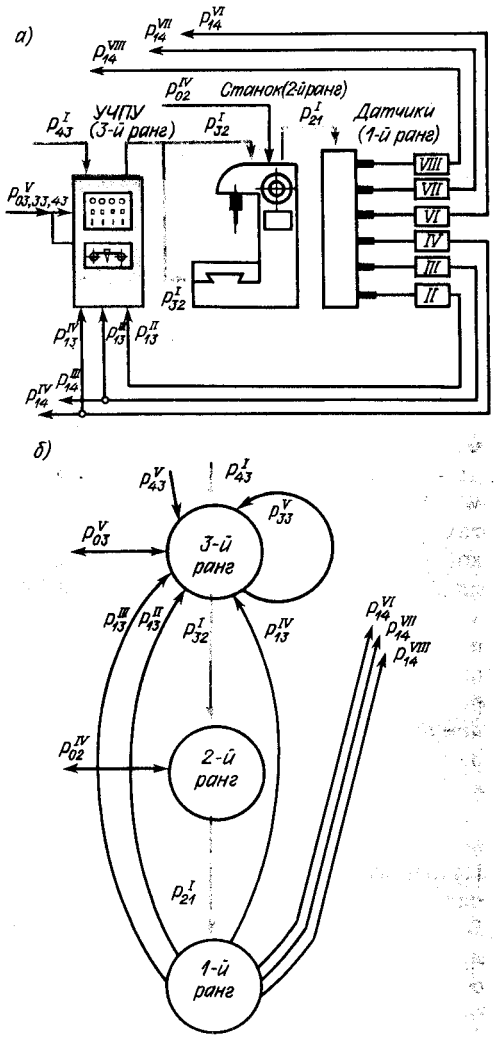


Рис. 2.13. Трехранговая структура СЧПУ (связь уровней различных рангов информационными каналами): *а* **— общая схема;** *б* **— граф трехранговой структуры**

для повышения точности обработки и оптимизации процесса резания. В зависимости от конкретной структуры системы управления канал замыкается на уровнях 3-го или 4-го ранга, а именно там, где вносятся необходимые коррекции в управляющую программу.

Информационный канал P^{IV} — канал передачи информации возмущения, которая воздействует на станок и систему управления на уровне 2-го ранга, оказывая влияние на процесс обработки. При-

чинами возмущения являются переменные припуск и твердость материала, изменения в температуре окружающей среды и другие факторы. Интенсивность возмущения не зависит от работы системы управления и не может быть изменена в ходе управления. Компенсируя возмущения, можно повысить точность изготовления детали. Возмущения измеряются на уровне 1-го ранга. Информация, собранная на уровне 1-го ранга, используется на уровнях 3-го и 4-го рангов. Колебания припуска и твердости часто оцениваются по отклонениям составляющих силы резания или крутящего момента на шпинделе. Следовательно, датчики силы резания или датчики момента в различных структурных вариантах управления могут входить или в контур канала P^{III}, или в контур канала P^{IV}.

Информационный канал P^{V} — канал передачи информации оптимизации, предназначенной для оптимальной коррекции управляющей программы по одному из критериев эффективности: критерию максимальной производительности, критерию качества какого-либо параметра детали, критерию минимальных приведенных затрат и другим критериям. Источником информации канала P^{V} являются блоки оптимальной адаптации. Эти блоки могут входить в УЧПУ, моделироваться в ЭВМ или представлять собой внешнее устройство. В зависимости от того или иного структурного решения канал P^{V} может иметь различную конфигурацию.

Информационный канал P^{VI} — канал, несущий информацию об истинной точности параметров обрабатываемой детали. Такая информация используется для выполнения заданных требований к точности размеров и формы, а также к качеству поверхности. Получение этой информации прямым способом, непосредственно в процессе резания, представляет значительные трудности. Информация в канале формируется на уровне 1-го ранга и замыкается на уровне 4-го и более высоких рангов.

Информационный канал P^{VII} — канал передачи сведений о степени готовности станка к обработке следующей детали, включая сведения об освобождении рабочей позиции, наличии заготовки и наружного инструмента, приспособлений и др. Канал P^{VII} — это канал, сопрягающий работу станка с роботом, а также обеспечивающий работу станков при групповом управлении. В зависимости от построения системы управления канал P^{VII} связывает уровень 1-го ранга с уровнем 3-го или 4-го ранга.

Информационный канал P^{VIII} — канал, при помощи которого контролируется работоспособность системы, решаются задачи диагностики, вырабатываются рекомендации по устранению неполадок. Информация канала циркулирует между уровнями 1-го и 3-го или 4-го рангов.

На рис. 2.13, *б* показан граф трехранговой структуры, где изображены описанные выше каналы. Его можно рассматривать как подграф четырехранговой структуры и других, еще более разветвленных структур.

Графы конкретных структур систем можно сравнивать между собой и таким образом характеризовать степень сложности и развитости различных вариантов СЧПУ.

2.4. СТРУКТУРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ УЧПУ РАЗНЫХ КЛАССОВ

К УЧПУ сходятся все нити управления автоматическими механизмами станка. Конструктивно УЧПУ выполнено как автономный электронный агрегат, имеющий устройство ввода УП, вычислительную часть, электрический канал связи с автоматическими механизмами станка. Внешний вид УЧПУ во многом определен панелью управления, с которой осуществляется выбор режима управления станком (ручной, наладка, полуавтоматический, автоматический); производится исправление программы в период ее отладки, вводится коррекция, ведется

контроль за выполнением команд и наблюдение за правильной работой станка и самого устройства ЧПУ и др. Панель управления (пульт) УЧПУ, в свою очередь, определяется системой программирования, принятой для данного устройства, характерными признаками принятой системы программного управления, классом СЧПУ.

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 (Voise Numerical Control).

Структурно-информационный анализ этих систем сравнительно сложен [43], 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 и др. [52, 34].

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 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 отрабатывать второй кадр, который для этого выводится из запоминающего устройства. В процессе отработки 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 [38], которая являлась промежуточным программоносителем. 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

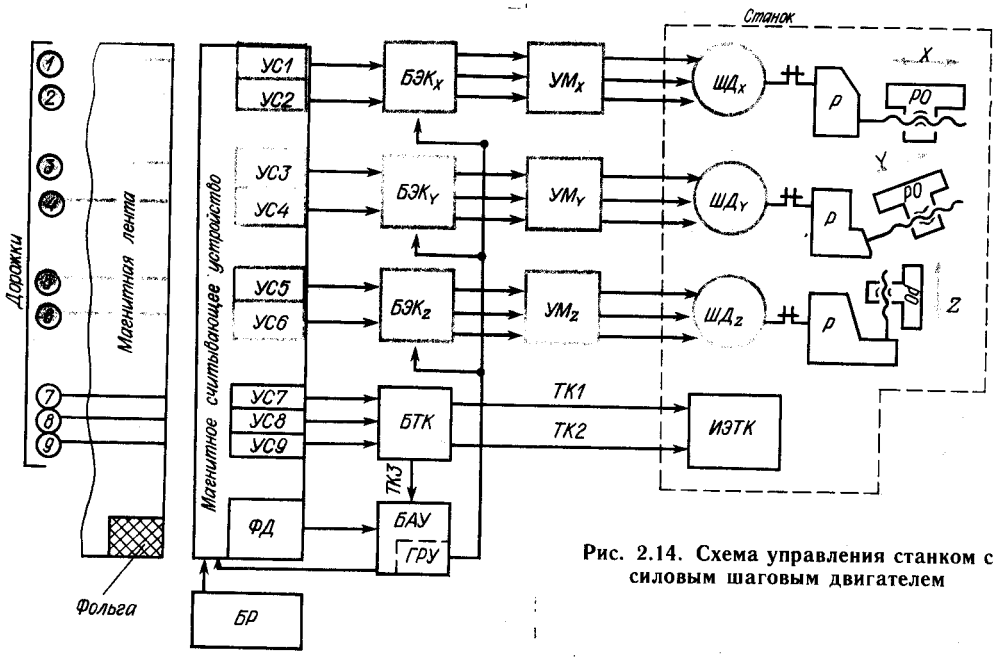


Рис. 2.14. Схема управления станком с силовым шаговым двигателем

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 несиловым 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* показана на рис. 2.14.

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. Программоносителем 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 автоматическом режиме для считывания информации с магнитной ленты используется магнитное считывающее устройство, в котором с помощью магнитной головки, состоящей из девяти катушек, программа обработки детали задается определенной последовательностью электрических импульсов. Информация для перемещения по одной координате считывается с двух дорожек (прямой и обратный ход). На девяти дорожках

магнитной ленты программа распределяется следующим образом: дорожки 1 и 2 — координата *X*; дорожки 3 и 4 — координата *Y*; дорожки 5 и 6 — координата *Z*; дорожки 7 и 8 — технологические команды (*ТК1* и *ТК2*); дорожка 9 — сигнал «конец программы» (технологическая команда *ТК3*). Счет дорожек ведут сверху вниз. Начало каждой программы маркируют полоской из мягкой алюминиевой фольги, которую наклеивают на тыльную сторону ленты. Марки считываются фотодатчиком *ФД*, который формирует сигнал «начало программы». Электрические сигналы с катушек магнитной головки поступают на девять усилителей считывания *УС1—УС9*, усиливаются и направляются в блоки электронных коммутаторов *БЭК* и блок технологических команд *БТК*.

В блоках электронного коммутатора происходит формирование импульсов в прямоугольные, вырабатывается признак направления перемещения (прямой и обратный ход). Последовательно поступающие импульсы распределяются по трем фазам шеститактной схемы коммутации.

С выхода электронного коммутатора импульсы поступают для усиления на усилители мощности *УМ* и далее на обмотки шагового двигателя.

Информация о соответствующих технологических командах (в виде импульсов) поступает в блок технологических команд, где преобразуется в постоянные напряжения, включающие электромагнитные реле, контактами которых замыкаются цепи исполнительных элементов технологических команд (*ИЭТК*). Первая и вторая технологические команды (*ТК1, ТК2*) предназначены для использования на станке. Третья технологическая команда (*ТК3* — «конец программы») поступает в блок автоматического управления *БАУ*.

Блок автоматического управления предназначен для автоматического управления лентопротяжным механизмом магнитного считывающего устройства, он также содержит генератор ручного управления *ГРУ* для работы системы в ручном режиме.

Блок регулирования *БР* предназначен для изменения скорости протяжки магнитной ленты, а следовательно, частоты вращения шаговых двигателей.

В ручном режиме работы от генератора ручного управления *ГРУ* импульсы с различной частотой следований (по заданию с переключателей, расположенных на пульте управления) или одиночные импульсы поступают на вход выбранного блока электронного коммутатора *БЭК*. Далее информация преобразуется так же, как при автоматическом режиме работы.

В станке вращательное движение выходного вала шагового двигателя ($ШД_X$, $ШД_Y$, $ШД_Z$) через редуктор *Р* передается на рабочий орган *РО* с помощью безлюфтовых механических передач с высоким КПД. Элементарное перемещение рабочего органа, т. е. цена одного импульса, составляет 0,01—0,05 мм.

Рассмотренная схема сравнительно проста. Недостатком ее является низкое быстродействие (приемистость ШД обычно не более 0,6—1 кГц) [1]. Низкая приемистость не позволяет развивать большие скорости (при цене импульса 0,01 мм максимальная скорость 10 мм/с).

Шаговые системы программного управления с силовым ШД удобно применять для автоматизации процессов, протекающих с невысокими скоростями и умеренными требованиями по точности. В отечественной промышленности они нашли применение в электроэрозионных станках, в некоторых конструкциях координатографов, для управления лентопротяжными механизмами, а также в программных командоаппаратах гальванических автоматов.

Для *шаговых систем программного управления с несиловым ШД* (рис. 2.15) программа, записанная на перфоленте *1*, поступает в выносной интерполятор *2*, где она перезаписывается на магнитную ленту *4* в виде последовательности импульсов (в унитарном коде).

Частота введенных импульсов определяет скорость движения рабочего органа. Вводя по каждой координате станка перемещения импульсами в количествах

[1] Освоен выпуск силовых шаговых двигателей с увеличенной степенью быстродействия, имеющих приемистость не менее 16 кГц.

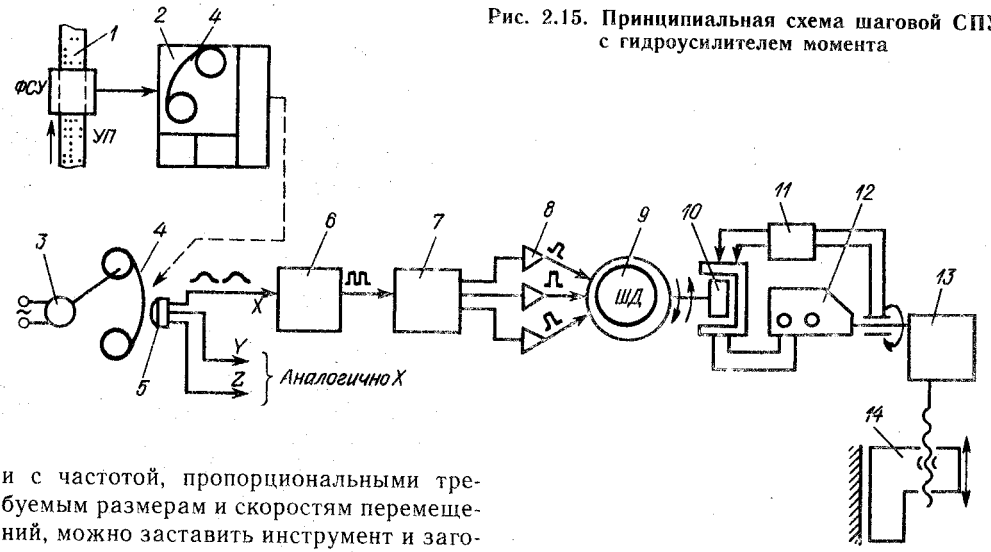


Рис. 2.15. Принципиальная схема шаговой СПУ с гидроусилителем момента

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 *3* относительно магнитной считывающей головки *5*. Формирование импульсов и разделение их по полярности осуществляется в фазочувствительном выпрямителе *6*, с выхода которого импульсы поступают в коммутатор *7*. Там они распределяются по трем фазам и, усилившись в усилителях мощности *8*, попадают на обмотки статора шагового двигателя *9*. Угол поворота выходного вала ШД пропорционален количеству импульсов, а скорость поворота — частоте следования импульсов. В системе шаговый двигатель выполняет функции управляющего элемента гидроприводом, имеющего золотник *10*, гидроусилитель *12* и элемент обратной связи *11*. Поворот вала ШД приводит в действие гидросистему. Вал гидроусилителя через редуктор *13* связан с ходовым винтом рабочего органа *14*. В системе большему повороту золотника *10* соответствуют бóльшие частоты вращения выходного вала гидроусилителя.

В рассмотренной системе сочетание маломощного быстродействующего ШД с гидроусилителем момента позволяет получить приемистость до 2—8 кГц. В этих СПУ шаговый привод выполняет функцию преобразователя дискретной информации в поворот вала, а гидроусилитель момента (за счет линии обратной связи) осуществляет слежение за механическим движением вала ШД.

Преобразование дискретной информации — сложная задача, так как сопровождается мгновенными девиациями частот, поступающих на вход шагового привода. Не менее важной задачей в разомкнутой системе является передача импульсных сигналов. Эти задачи можно решить предельно возможным расширением диапазона рабочих частот и уменьшением дискретности шагового привода. Для этого применяют шаговые двигатели с большим числом фаз (до пяти), блоки управления с многоконтактными электронными коммутаторами и значительным формированием электромагнитных переходных процессов.

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

Шаговые СПУ с несиловым 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

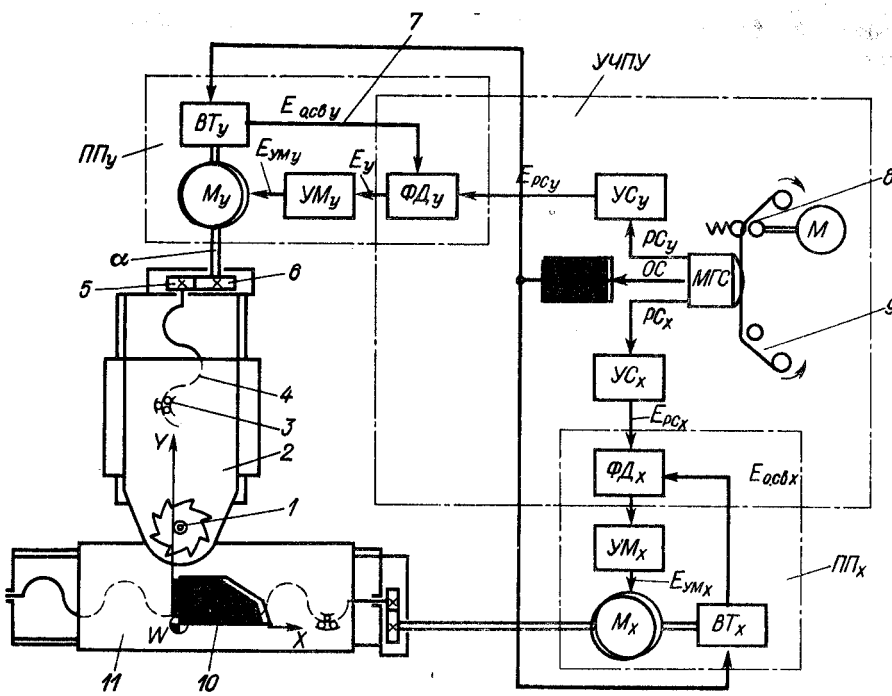


Рис. 2.16. Схема управления фрезерным станком фазовой СЧПУ

станками, газорезательными, сварочными автоматами и другим технологическим оборудованием.

В СЧПУ с магнитной лентой возможно *представление УП в аналоговом виде*. В таком станке (рис. 2.16) УП представлена магнитными дорожками на магнитной ленте, причем степень намагниченности поля ленты вдоль дорожки изменяется по синусоидальному закону. Фреза *1* установлена на ползуне *2*, имеющем поперечное перемещение (по оси *Y*) от привода $М_y$. Заготовка *10* закрепляется на столе *11*, продольное перемещение которого (по оси *X*) обеспечивается приводом $М_x$. Станок имеет систему наладки фрезы по оси *Z* (ось *Z* перпендикулярна к плоскости *XWY*).

Для программы перемещений по осям *X* и *Y* предназначены независимые дорожки $РС_y$ и $РС_x$ магнитной ленты, записываемые параллельно с центральной (опорной) дорожкой, на которую наносится так называемый опорный сигнал *ОС*. Этот сигнал наносится в процессе записи программы путем подачи на головку непрерывного синусоидального электрического сигнала с определенной частотой ω_0, например 250 Гц. Числовая форма программы (перемещения 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 φ_y и φ_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.

При работе станка (рис. 2.16) магнитная лента *9* (с нанесенной программой) протягивается механизмом *8* с постоянной скоростью (например, 50 мм/с). Многоканальная магнитная головка *МГС* считывает сигналы на каждой дорожке ленты по линии *А—А* (рис. 2.17). Опорные ОС и рабочие $РС_x$ и $РС_y$ сигналы, считанные с магнитной ленты, выдаются головкой в виде сигналов переменного тока частотой 250 Гц и напряжением 5—10 мВ. Эти сигналы усиливаются

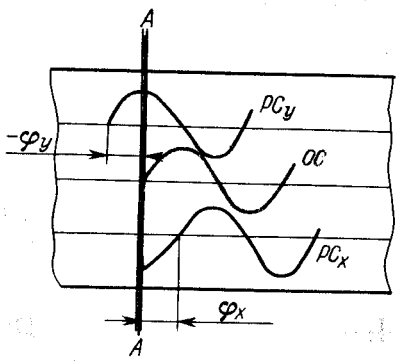


Рис. 2.17. Характер записи сигналов на магнитной ленте при управлении с использованием фазовой СЧПУ

в усилителях $УС_0$, $УС_x$ и $УС_y$ (см. рис. 2.16). Сигналы с $УС_x$ и $УС_y$ поступают в фазовые дискриминаторы соответственно $ФД_x$ и $ФД_y$, а сигнал с $УС_0$ — во вращающиеся трансформаторы $ВТ_x$ и $ВТ_y$ на роторные обмотки.

Рассмотрим работу привода подач *ППу* поперечной координаты *Y* при равных частотах рабочего $РС_y$ и опорного *ОС* сигналов ($\omega_{РС_y}=\omega_0$) и разности фаз φ_y сигналов на рабочей и опорной дорожках магнитной ленты. Опорный сигнал *ОС* от магнитной головки считывания *МГС*, пройдя усилитель $УС_0$, поступает в фазовый дискриминатор $ФД_y$ не непосредственно, как рабочий сигнал $РС_y$, а через вращающийся трансформатор $ВТ_y$. Последний представляет собой датчик положения, электрический угол α' которого на выходе изменяется пропорционально углу α поворота его вала. Если на обмотки статора вращающегося трансформатора подавать синусоидальное напряжение с частотой ω_0 при нулевом угле разворота ротора ($\alpha=0$), то на обмотках ротора будет трансформироваться напряжение той же частоты без фазового сдвига. При повороте ротора вращающегося трансформатора на угол α выходное напряжение будет сдвигаться на равный этому повороту электрический угол α'. Вал вращающегося трансформатора соединяется с валом силового двигателя $М_y$ (непосредственно или через зубчатую передачу). При нулевом положении вала вращающегося трансформатора $ВТ_y$ опорный сигнал без изменений поступает по каналу *7* в фазовый дискриминатор $ФД_y$, на выходе которого формируется управляющий сигнал E_y постоянного тока, величина которого пропорциональна разности фаз φ_y между опорным и рабочим сигналами переменного тока, а знак определяется знаком сдвига фазы. Увеличенный в усилителе мощности $УМ_y$ управляющий сигнал $E_{УМ_y}$ поступает в приводной двигатель $М_y$.

Усилитель мощности управляет количеством энергии, поступающей в двигатель. При изменении управляющего сигнала E_y на входе усилителя мощности от нуля до максимума изменяется частота вращения Ω_y двигателя и, следовательно, скорость подачи. Для идеализированного привода

$$\Omega_y = K_{УМ_y E_y},$$

где $K_{УМ_y}$ — коэффициент усиления привода.

В рассматриваемом случае на выходе усилителя мощности $УМ_y$ образуется количество энергии, пропорциональное величине сигнала E_y, а значит, разности фаз φ_y между рабочим и опорным сигналами на магнитной ленте, причем знак его соответствует знаку φ_y. Вследствие этого вал двигателя $М_y$ начинает вращаться и посредством шестеренной передачи *6*, *5*, винта *4* и гайки *3* ползун *2* и фреза *1* начнут перемещаться вниз. В процессе движения поворачивается вал вращающегося трансформатора $ВТ_y$, в связи с чем в канал *7* поступает сигнал обратной связи по положению, равный опорному сигналу *ОС*, сдвинутому на угол α'. Замкнутый контур, состоящий из фазового дискриминатора $ФД_y$ (устройство, сравнивающее управляющий сигнал с сигналом обратной связи, т. е. заданное перемещение с фактически отработанным), усилителя мощности $УМ_y$, двигателя $М_y$, приводящего рабочий орган в движение, вращающегося трансформатора $ВТ_y$ (датчик обратной связи по положению, преобразующий перемещения рабочего органа в сигналы того же вида, что и управляющий сигнал) и линии обратной связи *7*, образует следящий по положению привод подачи. По мере увеличения угла α'_y и приближения его к величине φ_y будут уменьшаться управ-

ляющий сигнал E_y на выходе фазового дискриминатора, а значит, и мощность на выходе усилителя мощности $УМ_y$. В итоге наступит момент, когда величины φ_y и α'_y сравняются настолько, что мощность, подводимая к двигателю, станет недостаточной для вращения двигателя M_y и поперечная подача прекратится. Таким образом, путь, который пройдет ползун, будет пропорционален сдвигу фаз φ_y между рабочим и опорным сигналами.

Как видно из схемы, на входы фазового дискриминатора каждой координаты перемещения подаются рабочий сигнал E_{PC} и сигнал обратной связи $E_{\text{о.св}}$ (индексы координат опущены):

$$E_{PC}=U_{\max}\sin(\omega_0 t+\varphi);$$
$$E_{\text{о.св}}=U_{\max}\cos(\omega_0 t+\alpha'),$$

где φ — фазовый угол, соответствующий заданному перемещению $S_{\text{вх}}$, $\varphi=(2\pi/t_{\text{ф}})S_{\text{вх}}$; $t_{\text{ф}}$ — угловое перемещение рабочего органа, соответствующее изменению фазы датчика обратной связи.

Полагая $\alpha'=\alpha$, т. е. электрический угол α' на выходе вращающегося трансформатора равным механическому углу α поворота ротора этого трансформатора, получаем

$$\alpha'=(2\pi/t_{\text{ф}})S_{\text{вых}}.$$

Тогда

$$E_{PC}=K_{\text{ф.д}}(\varphi-\alpha')=K(S_{\text{вх}}-S_{\text{вых}}),$$

где $K_{\text{ф.д}}$ — коэффициент усиления фазового дискриминатора.

Таким образом, величина сигнала на выходе фазового дискриминатора пропорциональна ошибке между заданным программой $S_{\text{вх}}$ и фактически отработанным $S_{\text{вых}}$ перемещениями рабочего органа координаты станка.

При программировании на магнитной ленте рабочий сигнал можно записать и таким образом, чтобы непрерывно изменялся сдвиг фаз φ между рабочим и опорным сигналами при протягивании магнитной ленты относительно магнитной головки считывания, например путем изменения частоты рабочего сигнала от ω_0 до ω_{PC}. Сдвиг фаз между рабочим и опорным сигналами будет изменяться во времени пропорционально разности этих частот, т. е. $(\omega_{PC}-\omega_0)t$. В результате вал двигателя будет вращаться, а рабочий орган станка перемещаться со скоростью, пропорциональной разности указанных частот, причем направление перемещения определится знаком разности частот рабочего и опорного сигналов.

Аналогично работает и привод подач $ПП_x$ продольного перемещения.

Таким образом, 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 программоноситель (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. Эти УЧПУ, структура которых предполагает наличие достаточно большого числа информационных каналов (табл. 2.1, третье поколение), 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

Таблица 2.1. Типы некоторых отечественных УЧПУ для станков основных групп

Станочная группа	Первое и второе поколения	Третье поколение
Токарная	«Контур 5П-69»; «Контур 2ПТ-71»; ЭМ-907А «Контур 3П»	Н22-1
Фрезерная	«Контур 2ПТ-71/3»; ПРС-3К; «Контур 4МИ»; «Контур 3МИ»; «Контур 3П-68»; «Контур 5П»	Н33-1
Сверлильно-расточная	«Координата Р-68 (69)»; «Координата С-70/3»; П32-3; П32-3А; П32-1; СП22-1; 2П22-1	2П32-8; 2П32-3М; П62-3
Шлифовальная	П111; П216; П111М	ПШ-13
Электрофизическая	«Контур 2П-67»	—
Многоцелевая	—	—

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 обрабатываются 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 [53]. Устройства этих классов выпускаются с начала освоения ЧПУ для различных групп станков и относятся к первому, второму и третьему поколениям УЧПУ (табл. 2.1). К УЧПУ классов NC (SNC) относятся устройства типов «Контур 2ПТ», 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 на перфоленте. Кроме того, отдельные команды могут быть введены с пульта управления УЧПУ или с панели управления станком (рис. 2.18). 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 $Д_x$, $Д_y$, $Д_z$, $Д_ш$ и др. Скорость приводов регулируется по данным системы обратной связи, например по сигналам тахогенератора ($Тг_x$, $Тг_y$, $Тг_z$, $Тг_ш$ и др.), а перемещения (для приводов подач) — по данным путевых датчиков перемещения $ПД$.

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. В табл. 2.2 приведены сравнительные показатели УЧПУ классов NC и CNC, а на рис. 2.19 показана типовая структура системы CNC. Ее основу составляют: микроЭВМ, запрограммированная на

Третье поколение с расширенными функциями	Четвертое поколение (микропроцессорное)	Пятое и шестое поколения (микропроцессорные, многоцелевые)
1Н22; Н22-1М; «Луч-2Т»	1Р22; «Электроника НЦ-31»; 2У32; 2У22; 2Р22	«Электроника НЦ80-31»; 2Р32М; 2У32-61; CNC-Т(Ф)
Н33-2; 1Н33; Н33-Н; «Курс 332»; Н55-1; Н55-2; У33-1; У33-2	2Р32; 2С42; 2С42-61; 2У32-61	ИЦО-П; ИЦО-ПБ; ИЦО-П10-10; «Размер 5»; 2С85-61; 2С85-62; 2С85-63; 2С42-65; 3С150-16
2П52; 2П62-3И; «Размер 2М»	То же	То же
—	—	»
—	2М-32 («Разряд-110»); 2М-43; 2М43-22	»
У55-2; «Размер 4»	2С85	»

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.

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 программы 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, включая 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.

Общая структура алгоритма работы УЧПУ класса CNC приведена на рис. 2.20.

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 переносный графопостроитель), а также 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 «мат-

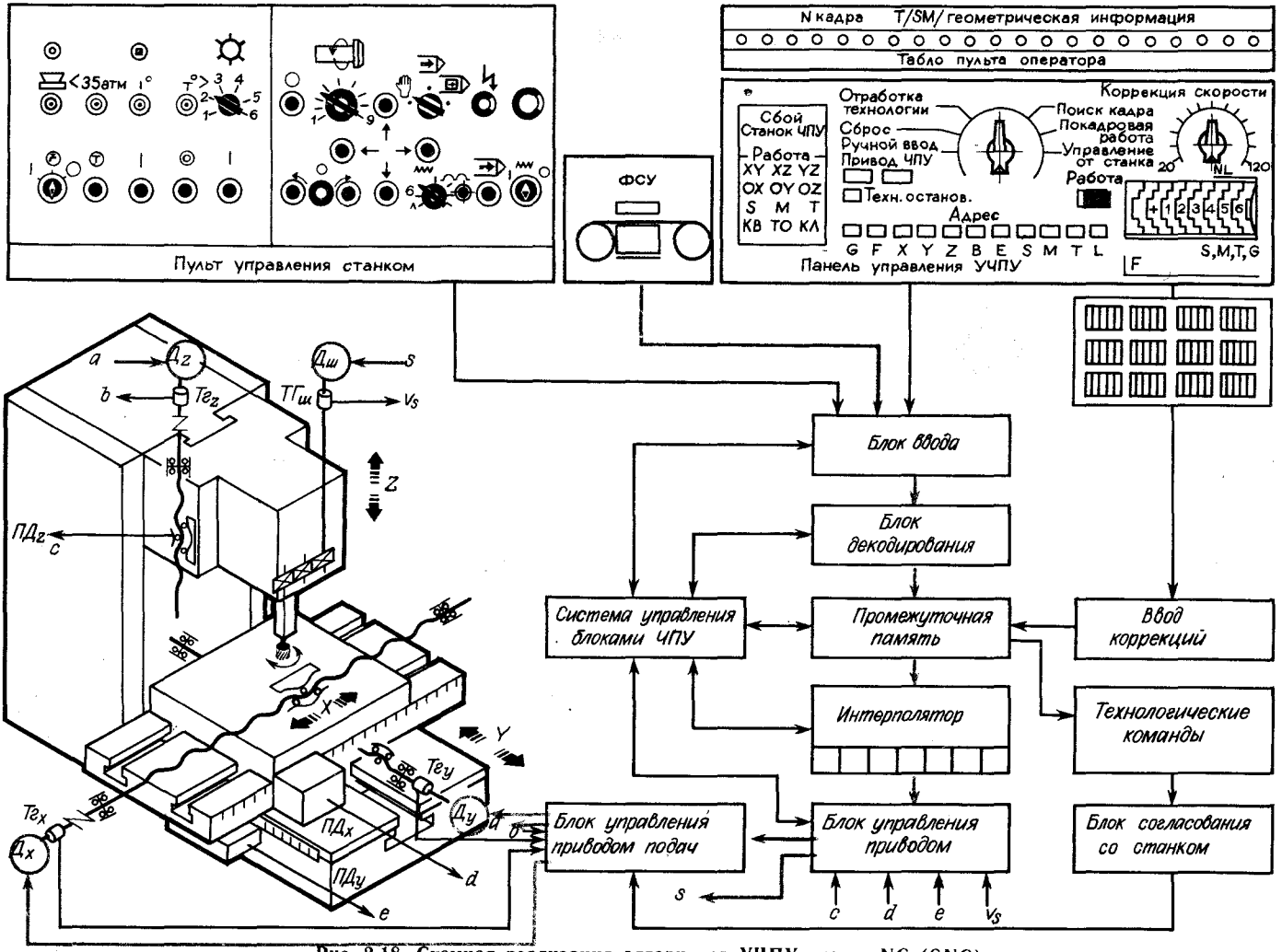


Рис. 2.18. Схемная реализация алгоритмов УЧПУ класса NC (SNC)

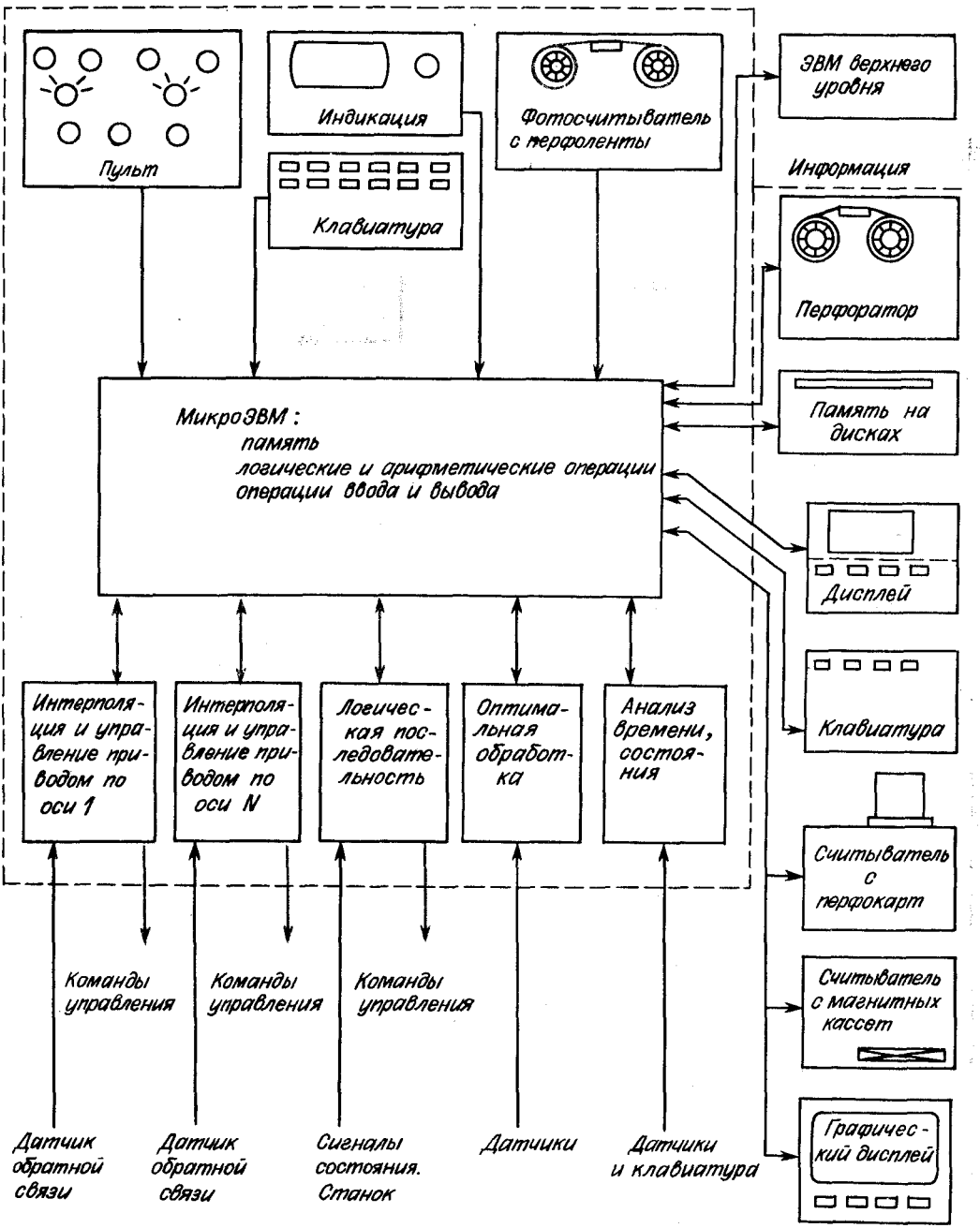


Рис. 2.19. Упрощенная типовая структура УЧПУ класса CNC

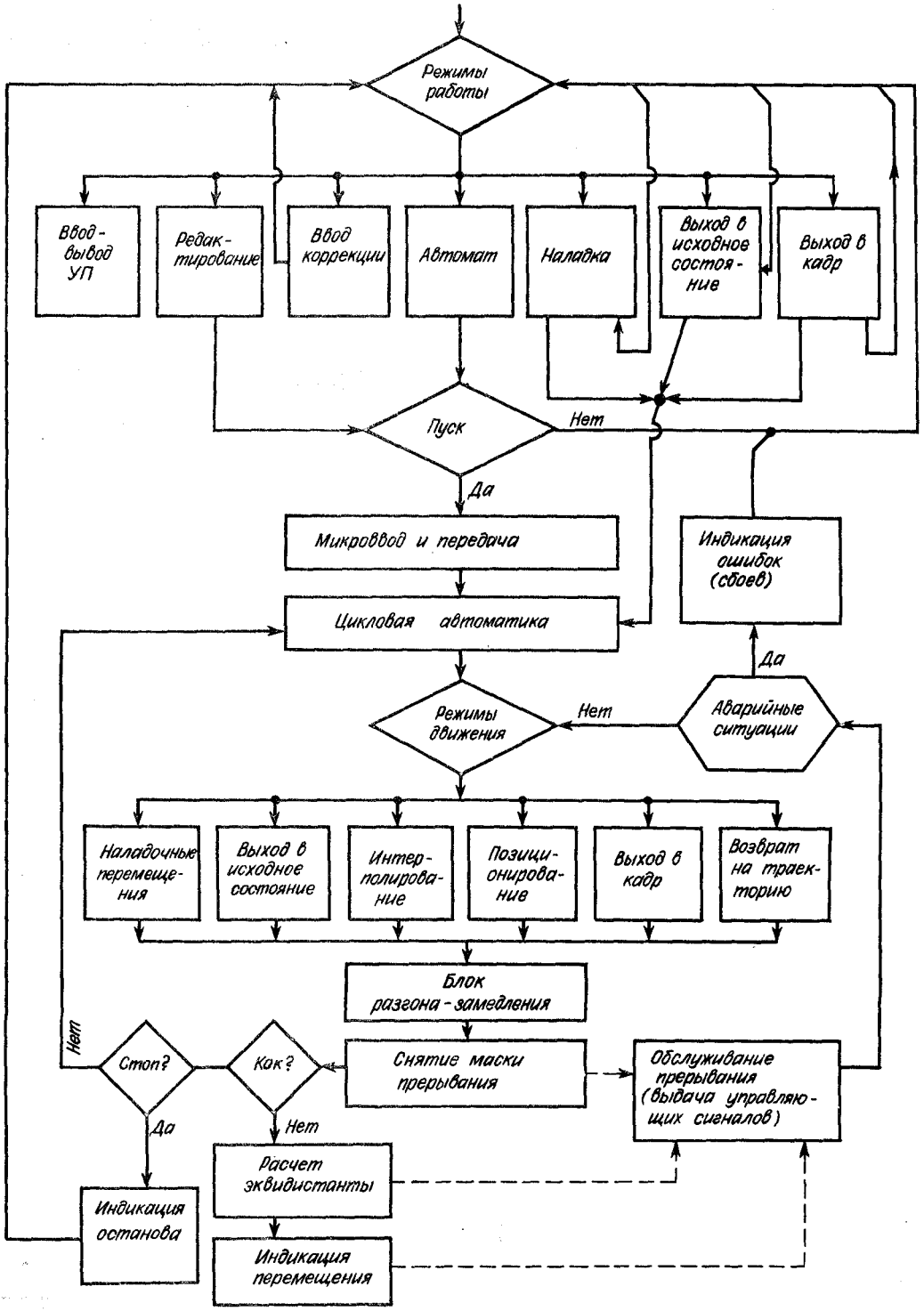


Рис. 2.20. Структура алгоритма работы УЧПУ класса CNC первого поколения

Таблица 2.2. **Некоторые сравнительные показатели УЧПУ классов NC и CNC**

Показатель	Класс УЧПУ	
	NC	CNC
Стоимость	Примерно одинаковая при одинаковом уровне функциональной сложности	
Окупаемость	Высокая	Высокая вследствие возможного сбора производственной информации, приспособляемости к конкретным условиям, упрощения и облегчения отладки УП, экономии перфолент
Расширение возможностей	Ограниченное	В цеховых условиях в УП можно внести много всяких добавлений
Диагностика СЧПУ	Нет	Возможна
Сбор производственной информации	Нет	Возможен
Оптимизация последовательности обработки информации	Нет	Возможна
Ввод информации	Перфолента	Перфолента, магнитная лента, телетайп, видеотерминал, ручной ввод, сигналы внешней ЭВМ
Сложность	Средняя	Высокая за счет сочетания аппаратуры и математического обеспечения

рица — 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 систему управления новые свойства, которые раньше не могли быть реализованы. Так, многие УЧПУ этого класса имеют математическое обеспечение, с помощью которого можно учитывать и автоматически корректировать постоянные погрешности станка и тем самым влиять на совокупность причин, определяющих точность обработки (компенсация люфта или зоны нечувствительности приводов в направлении перемещения по координатам и др.). 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.

Например, некоторые УЧПУ класса CNC имеют специальные тест-программы для проверки работоспособности всех структурных частей системы. Эти тест-программы отрабатываются при каждом включении устройства, и в случае исправности всех частей возникает сигнал готовности системы к работе. В процессе работы станка и УЧПУ тест-программы частями отрабатываются в так называемом фоновом режиме, не мешая отработке основной управляющей программы. В случае появления неисправности на табло световой индикации возникает ее код, затем с помощью кода по таблице определяются место и причина неисправности. Кроме того, система определяет ошибки, связанные с неправильной эксплуатацией устройства или с превышением параметров теплового режима, позволяет найти напряжение для питания и другие параметры.

Неотъемлемой частью современных УЧПУ класса CNC является обширная встроенная память (до 256 Кбайт), которая может быть использована в качестве архива УП. К системе может прилагаться широкий набор периферийных средств — как традиционных (фотосчитыватель, накопитель на магнитной ленте или гибких дисках, телетайп, перфоратор), так и специальных (например, графопостроитель, печатающее устройство, микропроцессорные средства диагностического контроля, в том числе и допускающие связь с дистанционным диагностическим центром).

Весьма важным средством оптимизации связи процессорного УЧПУ и станка является введение в память параметров или констант станка. С помощью этих констант могут быть автоматически учтены ограничения на зону обработки, заданы требования к динамике конкретных приводов, сформированы фазовые траек-

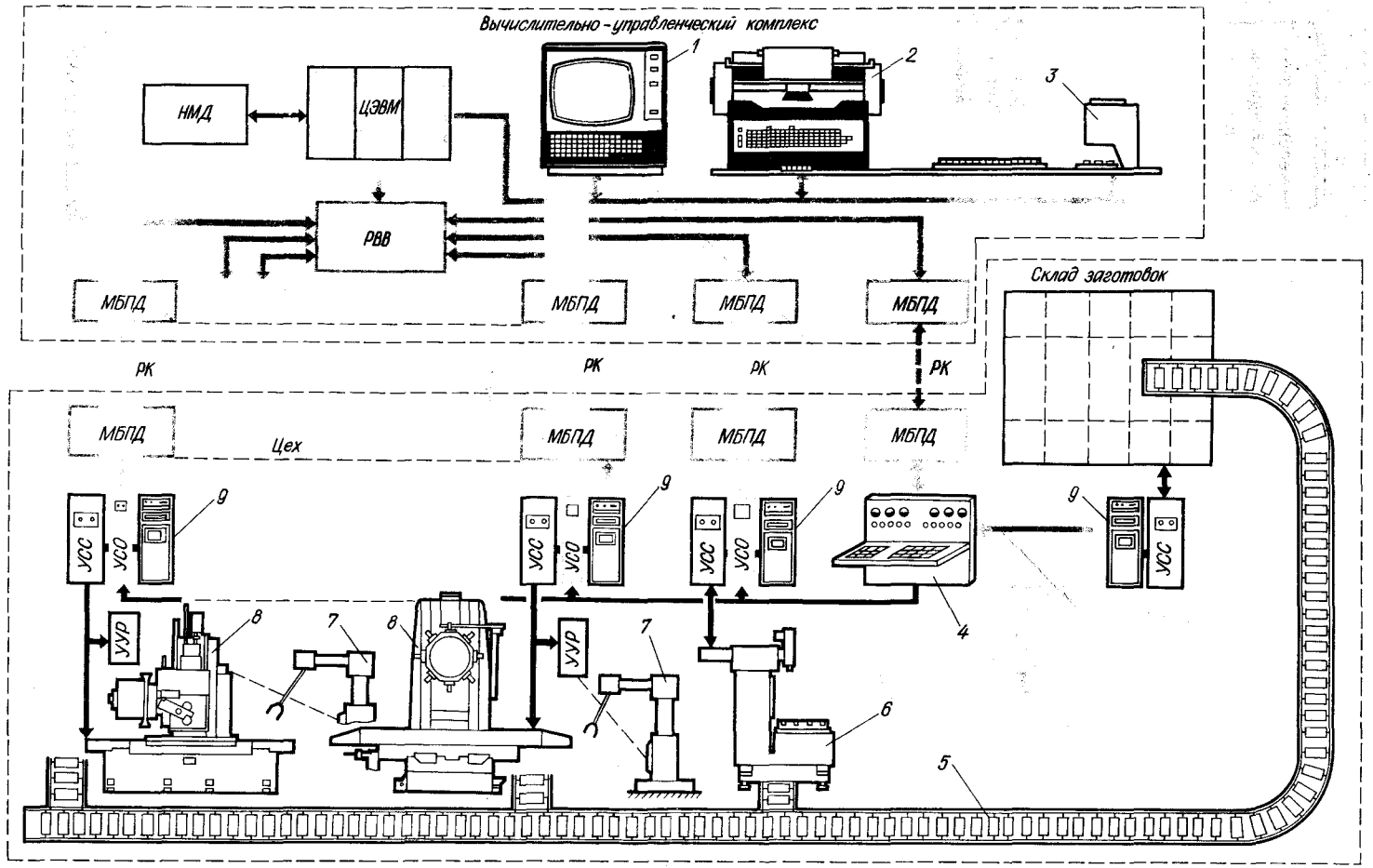


Рис. 2.21. Структура системы группового управления станками (класс DNC):

1 — алфавитно-цифровой дисплей; *2, 3* — устройства ввода-вывода данных; *4* — пульт управления; *5* — транспортное устройство; *6* — контрольно-измерительная машина; *7* — промышленный робот; *8* — станок с ЧПУ; *9* — микропроцессорное УЧПУ станком;
УСО — устройство связи с объектом; *УСС* — устройство связи со станком; *РВВ* — расширитель ввода; *МБПД* — модуль быстрой подачи данных; *НМД* — накопитель на магнитных дисках; *ЦЭВМ* — центральная управляющая ЭВМ; *УУР* — устройство управления роботом; *РК* — радиочастотный кабель

тории разгонов и торможений, учтены конкретные особенности коробок скоростей, приводов подач, скомпенсированы систематические погрешности этих передач и др.

Системами класса DNC (рис. 2.21) 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 [52] 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 перфоленты, 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.

Оперативные УЧПУ класса HNC позволяют 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, естественно, 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.

УЧПУ классов CNC, DNC, HNC относятся к устройствам с переменной структурой. Основные алгоритмы работы этих устройств задаются программно

(или аппаратно-программно) и могут изменяться для различных условий, что позволяет уменьшить число модификаций УЧПУ, ускорить их освоение, в том числе УЧПУ с самоподнастраивающимися алгоритмами. УЧПУ этих классов имеют структуру, подобную структуре ЭВМ, и обладают характерными признаками вычислительной машины: их блоки и программируемые связи универсальны, все операции последовательно выполняются через центральное арифметическое устройство, в их состав входят оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и постоянное запоминающее устройство (ПЗУ). Чтобы универсальное по назначению вычислительное устройство выполняло вполне определенные функции УЧПУ, оно должно быть соответствующим образом запрограммировано. Для этого подобные системы имеют специальное математическое обеспечение, представляющее собой комплекс алгоритмов переработки информации, поступающей в виде управляющей программы. Математическое обеспечение может вводиться в систему через устройство ввода, как и основная управляющая программа. Тогда система ЧПУ относится к классу свободно программируемых. В иных случаях математическое обеспечение закладывается в постоянную память системы на стадии ее изготовления. Однако во всех случаях существуют возможности для изменения, дополнения, обогащения этого математического обеспечения, в силу чего подобные УЧПУ обладают большой гибкостью и способностью к функциональному наращиванию. В этом несомненное преимущество таких систем перед системами, построенными по принципу цифровой модели. Недостатком систем, структурно подобных ЭВМ, является последовательный характер выполнения всех операций. Поскольку каждой оперативной команде предшествует некоторый вычислительный цикл, возникают ограничения на частоту выдачи оперативных команд, связанные с конечным быстродействием системы. По этой причине получают распространение и гибридные системы, в которых часть операций выполняется аппаратным, а часть — программным путем.

Из УЧПУ, структурно подобных ЭВМ, особенно перспективны те, которые имеют расширенную оперативную память. В определенных зонах памяти можно хранить всю УП целиком (или даже несколько программ). Это дает два важных преимущества: во-первых, появляются широкие возможности для редактирования УП; во-вторых, из процесса отработки УП исключается покадровое считывание с перфоленты, потенциально несущее в себе вероятность сбоев.

Наиболее законченное воплощение подобное направление получило в *УЧПУ, располагающих микропроцессором на входе* (рис. 2.22). Микропроцессорный узел обладает определенной автономией и решает задачи распределения в памяти

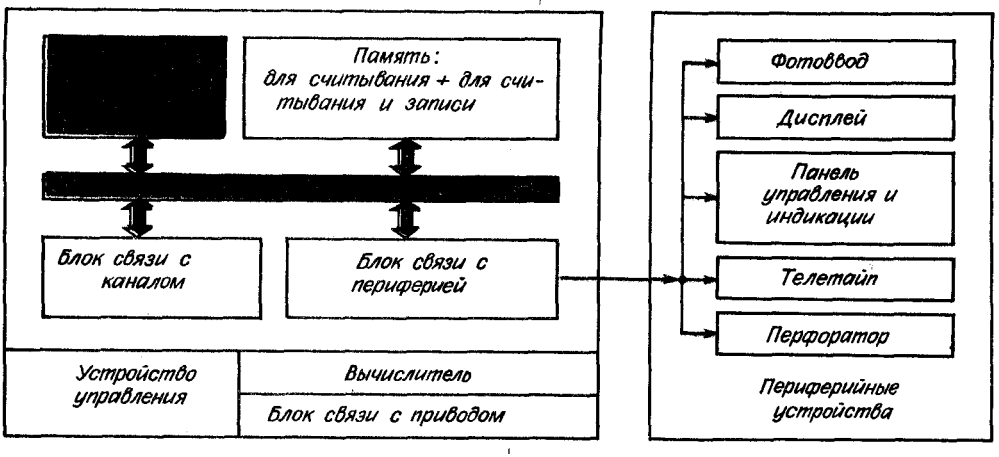


Рис. 2.22. Структурная схема УЧПУ класса CNC (DNC, HNC) с микропроцессором на входе

больших массивов управляющей информации, обращения с широким набором периферийных средств, первичной переработки информации, предваряющей последующие вычисления. Управляющая программа располагается в памяти типа «для считывания и записи». Рабочие программы, обеспечивающие функционирование микропроцессорного агрегата УЧПУ, размещены в памяти типа «для считывания», которая защищена от разрушения хранимой там информации. Остальная часть УЧПУ может быть построена по типу цифровой модели или с использованием структурных компоновок ЭВМ [51].

УЧПУ (рис. 2.24) *на базе одной микроЭВМ* может иметь встроенные местные автономные недорогие управляющие средства — *контроллеры*, которые разгружают микропроцессор ЭВМ от второстепенных операций. Контроллеры представляют собой средства программируемой логики (PLC) и конструктивно выполнены из отдельных блоков — модулей. При передаче по информационному каналу инструкций от микропроцессора контроллер, имея много входов и выходов каналов управления, переходит к самостоятельному обмену информацией с фотовводом, панелью управления, периферийными средствами, приводами подач, с концевыми выключателями, элементами систем охлаждения и т. п. Например, контроллеры приводов подач осуществляют тонкую (окончательную) интерполяцию, сравнение сигналов программы и обратной связи, формирование управляющих воздействий на исполнительные регулируемые по скорости приводы, обеспечивают адаптивное управление. Контроллеры принимают сигналы от путевых датчиков, формируют отражение действительной информации на дисплее, обеспечивают функционирование систем смены инструмента, приспособлений. Отдельный контроллер может быть выделен на систему диагностики режущего инструмента, на систему контроля, на программные и станочные ограничения по пути и по скорости и т. п.

При наличии в УЧПУ контроллеров обмен информацией с ними может занимать до 10 % времени работы микропроцессора, а остальное время займут вычисления, связанные с оперативным управлением в соответствии с УП. Если же и при этом быстродействия в выдаче оперативных команд будет недоставать (например, при сложной криволинейной интерполяции), то работа УЧПУ может быть организована в режиме опережающих расчетов с записью результатов в дисковой памяти (в несколько замедленном против рабочего режима). Считывание с дисков может затем осуществляться с той скоростью, которая необходима по технологическим соображениям.

В настоящее время наметилась тенденция использовать контроллеры без базовой ЭВМ, как автономные свободнопрограммируемые средства управления. Обычно это применимо для управления несложным оборудованием.

УЧПУ оперативного типа имеет структурную схему, показанную на рис. 2.23. Главными элементами агрегата являются арифметический и управляющий микропроцессоры. Первый из них обеспечивает размещение и хранение в памяти вводимой с клавиатуры пульта информации, подготовку данных для интерполяции. Управляющий микропроцессор реализует стандартные циклы, согласует эти циклы с общей программой и др.

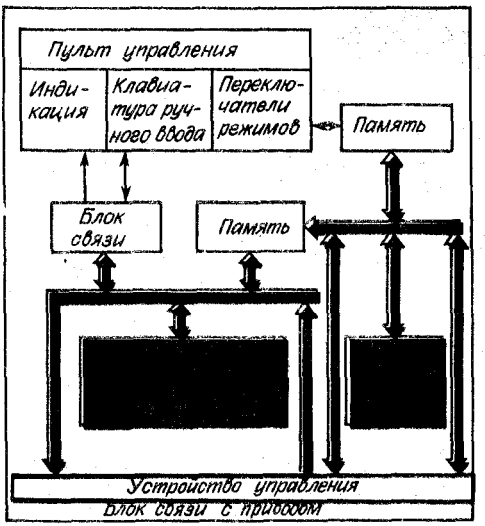


Рис. 2.23. Структурная схема УЧПУ класса CNC с формированием программы при обработке первой детали

Одним из вариантов применения микропроцессоров в системах управления станками можно считать *многопроцессорные системы, состоящие из отдельных функциональных модулей* [38]. Такие системы позволят использовать простые и дешевые микропроцессоры с ограниченным математическим обеспечением. Модули должны быть унифицированы и отличаться лишь заложенным в них математическим обеспечением. Каждый модуль должен занимать не более одной печатной платы. Функции, выполняемые модулями, можно разделить следующим образом:

интерполяция;

ввод, хранение и редактирование данных; формирование программы с учетом подпрограммы, постоянных циклов и т. п.;

расчет коррекций на положение и размеры инструмента, учет погрешностей винтовых пар и датчиков, учет зазоров;

связь с датчиками и управление приводами, ручное управление и цифровая индикация;

связи и управление внешними устройствами типа алфавитно-цифрового или графического дисплея, телетайпа, перфораторов, печати и т. п.;

управление циклами электроавтоматики;

управление оборудованием, связанным со станками, например манипуляторами, средствами активного контроля и т. п.;

обработка данных, поступающих от датчиков адаптивного управления.

Модульное построение УЧПУ предопределяет широкую номенклатуру систем управления с использованием ограниченного числа функциональных модулей. Упрощаются ремонт и обслуживание систем.

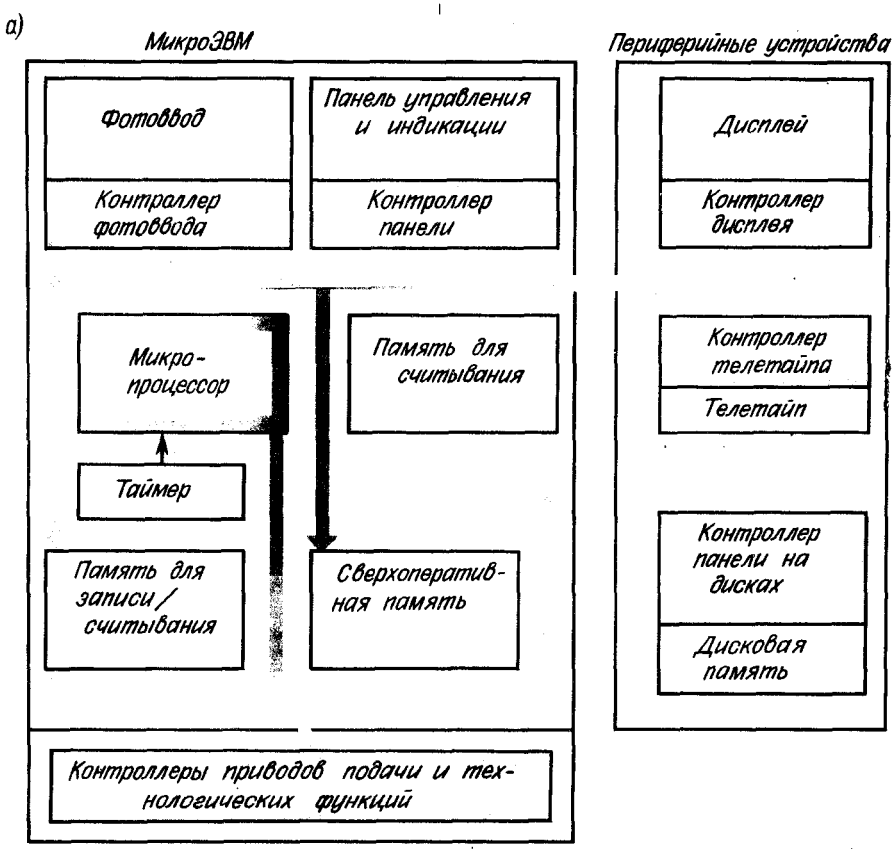
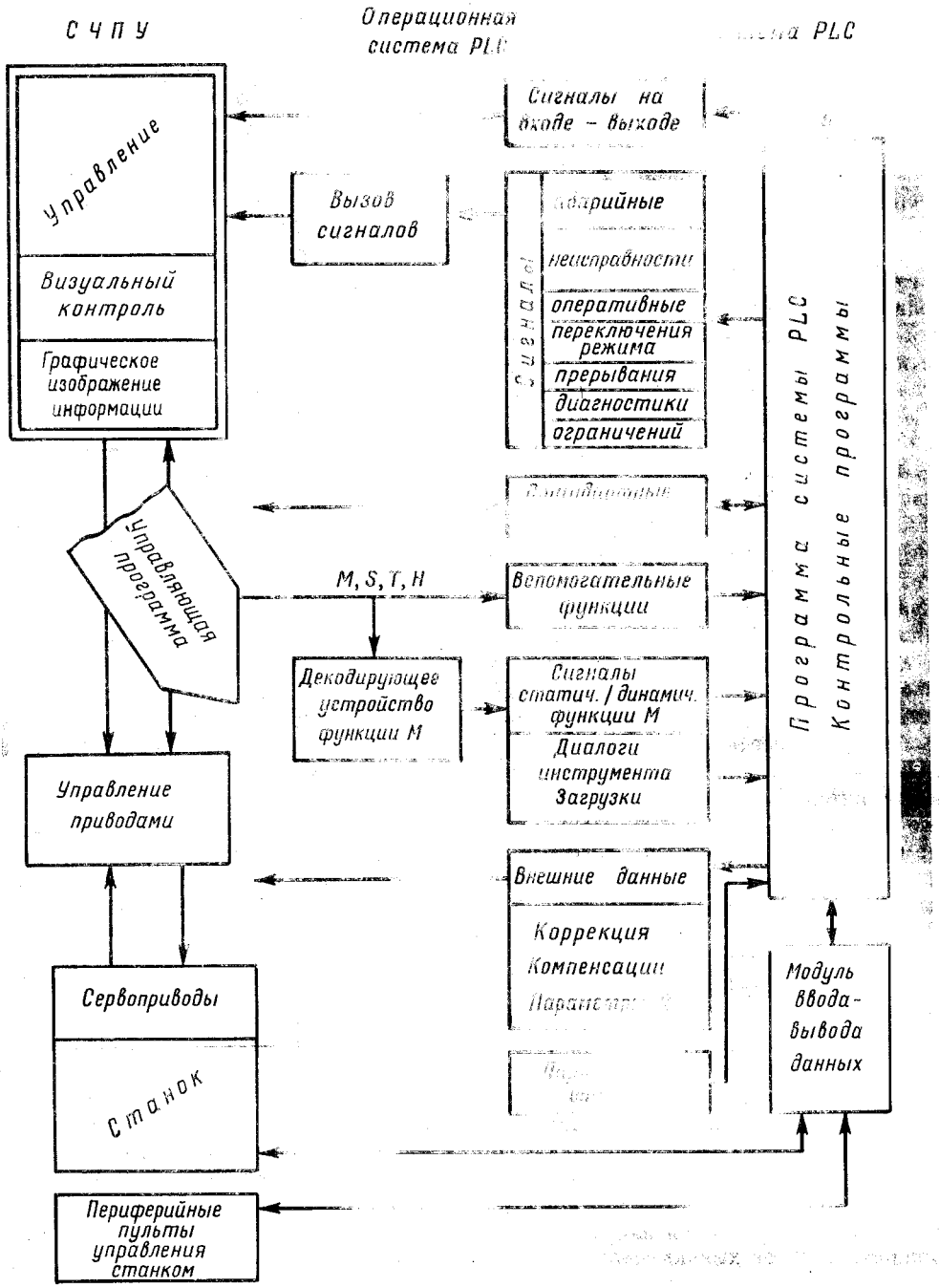


Рис. 2.24. УЧПУ класса CNC с контроллерами: *а* **— структурная схема;**

б)



б — **схема обмена сигналами между СЧПУ и PLC**

Системы ЧПУ класса MPST — децентрализованные мультипроцессорные, они используют большое число (десять — двенадцать) одинаковых или почти одинаковых вычислителей, построенных на микропроцессорных наборах и отличающиеся большим объемом памяти. Составляющие систему отдельные универсальные вычислители состоят, как правило, из арифметически-логического устройства (АЛУ), оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), сверхоперативного запоминающего устройства (СОЗУ), постоянного запоминающего устройства (ПЗУ) и блока микрокомандного управления. Системы обладают большим количеством каналов управления и могут обслуживать одновременно несколько станков при независимом составлении для них УП.

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 [23].

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.

2.5. МОДЕЛИ УЧПУ

В современных станках с ЧПУ в соответствии с классами УЧПУ применяют системы различных типов (моделей).

Структура обозначения. Обозначение типа УЧПУ состоит из нескольких элементов:

буква означает тип системы: П — позиционная; Н — непрерывная (контурная); У — универсальная или контурно-позиционная;

цифра впереди букв означает модификацию системы;

первая цифра за буквой — общее число управляемых по программе координат;

вторая цифра за буквой — число одновременно управляемых координат;

третья цифра за буквой — тип привода: 1 — шаговый; 2 — следящий или следящерегулируемый.

Встречаются и кодовые обозначения, например «Размер 4» и др. Буквы в таком обозначении чаще всего указывают модификацию системы.

Например, рассмотрим обозначение УЧПУ типа Н221. Это значит, что система непрерывная (Н), с двумя управляемыми координатами (число 2), одновременно управляемых координат — две (число 2), система предназначена для управления приводом с шаговыми двигателями.

Характеристики моделей. Современные модели УЧПУ оцениваются рядом характеристик, определяющих наличие у системы тех или иных эксплуатационных, функциональных и сервисных возможностей. Среди основных можно назвать следующие характеристики УЧПУ как устройства управления станками.

1. Число программируемых координат; тип системы.
2. Число одновременно управляемых координат.
3. Дискретность задания координат, мм.
4. Линейная интерполяция (на плоскости).
5. Круговая интерполяция (на плоскости).
6. Объемная линейная интерполяция.
7. Винтовая интерполяция.
8. Смещение начала (нуля) отсчета (программируемое).
9. Зеркальная отработка программы.
10. Отработка программы в масштабах.
11. Коррекция размеров инструмента и элементов станка.
12. Индикация положения.
13. Индикация функций.
14. Дисплей, индикация кадра (кадров).
15. Возможность управления от ЭВМ.
16. Способ задания размеров — абсолютный.
17. Способ задания размеров — в приращениях.
18. Наличие смещения нуля с пульта системы.
19. Наличие постоянных циклов.
20. Наличие системы редактирования УП.
21. Наличие выхода на перфоратор и другой внешний носитель.
22. Способ задания перемещений функциями (параметры).
23. Ручной ввод программы.
24. Ввод программы от перфоленты, магнитной ленты, магнитного диска.
25. Максимальная скорость привода (быстрота перемещения), мм/мин.
26. Предельная скорость рабочей подачи, мм/мин.
27. Данные технологической памяти микроЭВМ.
28. Системы диагностики и самодиагностики.
29. Расширение функции языка программирования.
30. Наличие диалогового режима.
31. Возможности адекватного управления.
32. Вариантность и блочность построения системы.
33. Тип управляемого привода.
34. Защитные функции.
35. Вводы-выводы (интерфейс и др.).
36. Габаритные размеры, масса.
37. Конструктивные особенности.
38. Эргономическое решение.

Функциональные особенности моделей УЧПУ разных поколений. УЧПУ различают по поколениям (см. табл. 2.1) в зависимости от использованной элементной базы.

Устройства первого поколения выполнены на реле и элементах с низкими частотными параметрами, они характеризуются ограниченными функциональными возможностями. К этой группе относятся УЧПУ типов «Координата Р-68», «Контур 4МИ», «Контур 2П», «Контур 3П», «Контур 2ПТ-71», «Контур 2ПТ-71/3».

Устройства второго поколения выполнены на электронных элементах с более высокими частотными характеристиками и обладают сравнительно широкими функциональными возможностями. К этой группе УЧПУ относятся «Координата С-70», «Координата С-70/3», П32-3, П32-3А, П32-3В, агрегатированные устройства Н33-1, Н33-2, У33-1, У22-1 и ЭМ-907А.

Устройства третьего поколения выполнены на базе интегральных элементов, они характеризуются широкими функциональными возможностями, некоторые из них приспособлены для решения специальных задач. Некоторые из этих устройств еще используются на предприятиях.

Устройства Н22-1М, Н33-1М, Н33-2М, Н55-1, Н55-2 являются первыми устройствами контурного и комбинированного управления третьего поколения, они построены на интегральных схемах ИМС-155 и предназначены для токарных и фрезерных станков с автоматической сменой инструментов.

Устройство Н22-1М предназначено для оснащения токарных станков со сменой инструмента. Предусмотрена возможность ввода программы в приращениях и абсолютных координатах. Устройство включает двухкоординатный линейно-круговой интерполятор, обеспечивает коррекцию положения инструмента.

Устройства Н33-1М и *Н33-2М* предназначены для оснащения фрезерных станков. Последнее предусматривает использование следящего привода, датчиков обратной связи ВТМ-1М и линейно-кругового интерполятора. Число одновременно управляемых координат: три — при линейной интерполяции, две — при круговой. Программа задается в приращениях. В устройстве предусмотрена коррекция на длину инструмента, оно также дополнено блоком коррекции радиуса фрезы (блоком расчета эквидистанты). Входные и выходные параметры устройства Н22-1М, Н33-1М, Н33-2М соответствуют рекомендациям ИСО.

Устройства Н55-1 и *Н55-2* используются на станках, служащих для сложной фасонной обработки деталей, в том числе по специальным алгоритмам управления. В основу устройств положен принцип цифровой вычислительной машины. Алгоритм работы определяется жесткой программой, заложенной в блок управления (блок памяти алгоритмов). При переходе на новый алгоритм работы изменяется содержимое блока памяти алгоритмов без изменения структуры и взаимосвязей в устройстве.

Примечание. Устройствами, аналогичными УЧПУ Н55, являются устройства второго поколения типов «Луч», «Салют», «Размер».

Современные УЧПУ относятся к четвертому и пятому поколениям. Их выполняют по агрегатно-блочному принципу и оснащают различными дополнительными узлами: блоками технологических команд; устройствами коррекции радиуса, длины и положения инструмента, скорости подач, скорости резания, индикации перемещений; устройствами для нарезания резьб; блоками контроля и останова как на рабочих, так и на холостых ходах и др. В связи с большим расширением технологических возможностей УЧПУ в настоящее время практически стерлась грань между контурными и позиционными видами ЧПУ и произошел переход к универсальным (контурно-позиционным) устройствам. Увеличилось число управляемых координат станка, причем взаимосвязь их в работе может быть одновременной и последовательной в любых комбинациях. Большинство современных контурных и универсальных УЧПУ позволяют осуществлять линейно-круговую интерполяцию при двухкоординатной обработке в любой плоскости и линейную — при большем числе координат.

Общая тенденция современных УЧПУ — повышение скорости переработки в них информации, вследствие чего уменьшается дискретность систем при одновременном увеличении скоростей рабочих подач и холостых перемещений. В новых УЧПУ обеспечена возможность ввода информации в абсолютных координатах и в приращениях.

Большое удобство дает применение в новых УЧПУ специальных блоков для отработки стандартных программ (циклов). Стандартные программы содержат информацию, часто повторяющуюся в общих программах. Они могут или записываться на программоносителе и затем в нужный момент неоднократно вызываться по команде, или храниться во внутренней памяти устройства. Широкое применение получила цифровая индикация положения рабочих узлов, номера кадра, номера инструмента, в том числе с применением одного общего цифрового табло (или дисплея), на которое с помощью адресного переключателя вводится требуемый параметр.

Практически в состав всех вновь создаваемых УЧПУ входит микроЭВМ, что и определяет их высокий класс.

К современным отечественным системам класса CNC (или близким к этому классу) относятся УЧПУ 2У22, 2Р22, 2У32-61, 2С42, 2М42, 2М43-22, 2С85, 2Р32, 2Р32М, 2С85-63, ИЦО-П, «Электроника НЦ80-31». Все они относятся к УЧПУ четвертого и пятого поколений. Эти УЧПУ реализуются в основном на базе микроЭВМ класса «Электроника-60» с использованием магистралей и стандартных интерфейсов типов ИР ПР, ИР ПС.

Устройства 2У22, 2Р22 имеют в своем составе микроЭВМ с быстродействием 200 тыс. операций в секунду, интерполяторы, преобразователи 10 → 2 и 2 → 10; оперативное энергонезависимое запоминающее устройство емкостью 4—8К слов; ППЗУ с ультрафиолетовым стиранием емкостью 16—20К слов. Устройства используют в токарных станках с шаговым или следящим приводом.

Устройство 2У32-61 имеет в своем составе универсальную микроЭВМ «Электроника НЦ-031», сопрягаемую с внутренними и внешними компонентами системы при помощи интерфейсного блока. Связь со станками осуществляется через устройство управления приводами и модуль ввода-вывода интерфейса, которые выдают 48 и принимают 80 технологических команд. Наибольшее распространение устройство 2У32-61 получило для программирования обработки на фрезерных станках.

Устройство 2С42 позволяет использовать до трех каналов управления перемещениями при шаговом приводе и до шести — при следящем приводе. Применяется для управления работой фрезерных и сверлильно-расточных станков.

Устройства 2М42, 2М43-22, 2С85, 2Р32 обеспечивают управление работой оборудования при контурно-позиционном формообразовании с числом одновременно управляемых движений от двух до пяти (пять в УЧПУ 2С85). Устройства 2С85 и 2Р32 позволяют вводить программы с перфоленты и вручную, обеспечивают основные функции, характерные для УЧПУ класса CNC, и используются для управления фрезерными, токарными и многоцелевыми станками; вывод информации на дисплей имеет 160—200 знаков. Устройства 2М42, 2М43-22 используются на электроэрозионных вырезных и лазерных прошивочных станках с шаговым приводом.

Устройство 2Р32М — одна из современных систем управления металлообрабатывающими станками основных типажных групп, а также другими видами автоматизированного технологического оборудования. Это универсальное устройство числового программного управления со свободным программированием, выполненное на базе микроЭВМ и БИС (рис. 2.25). Широкие возможности устройства, позволяющие вести подготовку, ввод, редактирование и архивирование управляющих программ, обеспечивают применение станков, оснащенных УЧПУ 2Р32М, в опытном, мелкосерийном и серийном производстве. Вследствие возможности подключения внешних периферийных устройств и сопряжения с ЭВМ верхнего уровня это устройство можно использовать в комплексно-автоматизированных линиях и на участках станков с ЧПУ (ГАП). Вариантность состава и программного обеспечения позволяет применять его для управления различными видами станков и машин.

Устройство имеет блочно-модульную структуру, позволяющую реализовать все функции современного УЧПУ класса CNC при малых габаритных размерах; программируемое управление электроавтоматикой станка на языке, доступном пользователю; коррекцию люфтов станка; развитый диалог оператор — УЧПУ; простое программирование; программируемый контроль исходного положения; память с сохранением информации при отключении питания; редактирование управляющих программ; ввод программ с перфоленты и магнитной ленты; архивирование программ на магнитную кассету или перфоленту; память управляющих программ с использованием кассеты внешней памяти; развитую систему диагностирования и др.

Устройство состоит из двух конструктивно законченных блоков: пульта оператора и вычислительного блока. Предусмотрено крепление пульта оператора к консоли станка. Вычислительный блок можно размещать в любом месте станка,

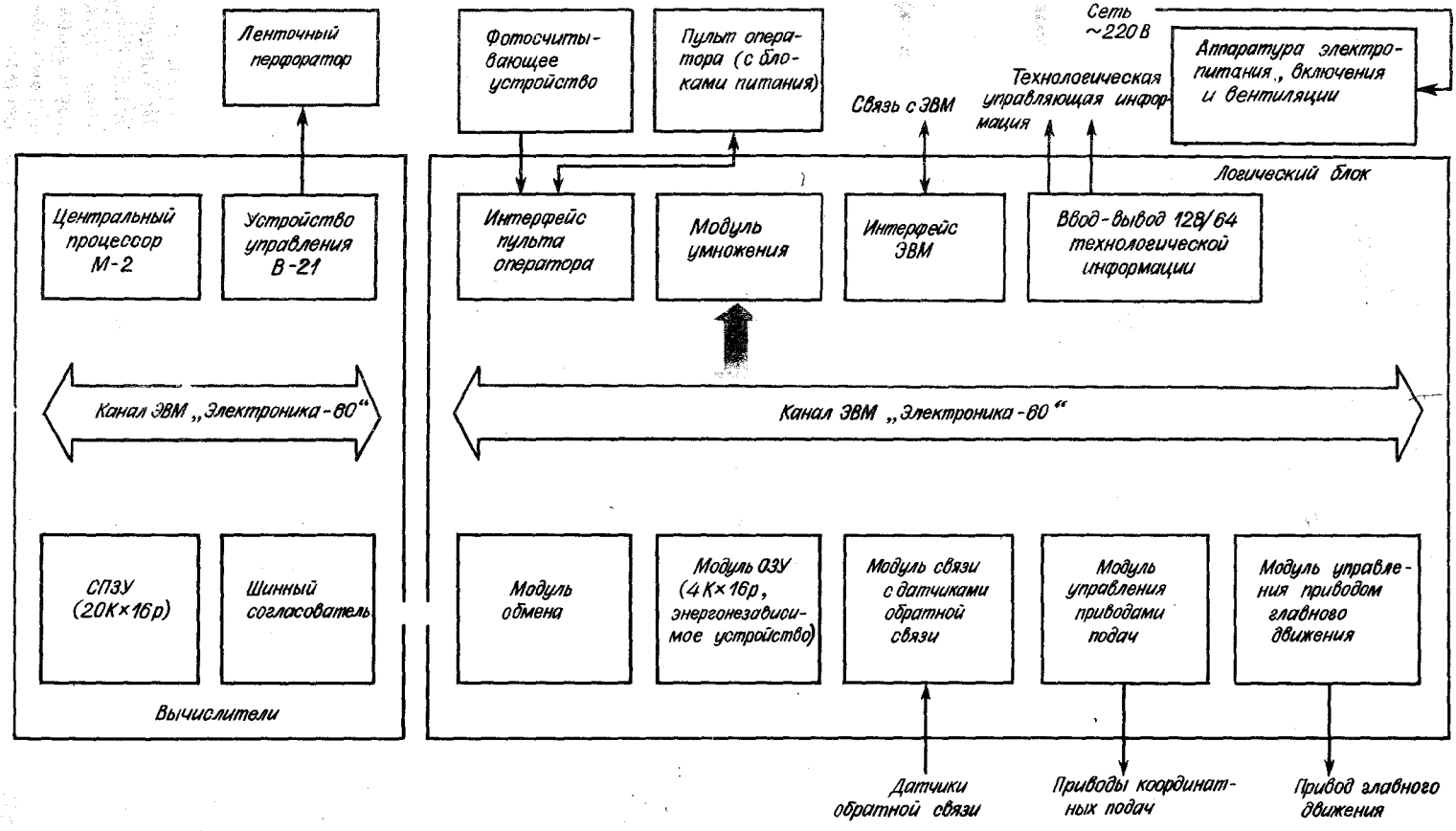


Рис. 2.25. Структурная схема УЧПУ типа 2Р32М

в том числе и в шкафу электроавтоматики. Функциональные блоки выполнены на основе унифицированных типовых конструкций. Удобное и простое обслуживание пульта оператора реализовано с помощью современных эргономических решений.

Тип устройства — программируемый, комбинированный. Тип управляемых приводов подач — шаговый или следящий. Применяемые измерительные преобразователи (ИП) — индуктивного или фотоимпульсного типа. Способ задания управляющей программы — с клавиатуры пульта оператора, от перфоленты с внешнего фотоэлектрического устройства считывания (скорость считывания 300 зн./с). Способ задания геометрической информации — в абсолютных размерах и в приращениях. Тип коррекций: автоматическая компенсация люфта, смещение нуля, коррекция на положение инструмента (вводится с клавиатуры пульта), коррекция скорости подачи (вводится с клавиатуры пульта). Тип дисплея — алфавитно-цифровой индикатор ИМГ-1-03 на 160 символов. Устройство имеет автоматический режим работы, ручной ввод и вывод, ручное управление, поиск кадра, редактирование.

Техническая характеристика 2Р32М

Число управляемых координат	3, 4
Число одновременно управляемых координат:	
при линейной интерполяции	3
при круговой интерполяции	2
Наибольшее программируемое перемещение, мм	9999,999
Дискретность задания перемещений, мм	0,001; 0,01
Интерполяция	Линейная, круговая
Диапазон задания скоростей подач, мм/мин:	
в автоматическом режиме:	
рабочие подачи	6—6000
ускоренный ход	10 000 и 5000
в ручном режиме:	
рабочие подачи	6—4000
ускоренный ход	5000 и 2500
Питание устройства, В	$220^{+10\,\%}_{-15\,\%}$
Потребляемая мощность, кВ·А, не более	1
Габаритные размеры, мм:	
пульта оператора	520×490×200
вычислительного блока	560×510×360

Аналогичные данные имеет и современная модель УЧПУ *типа 2С85-63.*

Устройство ИЦО-П (ИЦО-ПБ) относится к УЧПУ пятого поколения и может быть использовано с оборудованием различного вида. УЧПУ позволяет вести управление одновременно по десяти координатам, может быть подключено к каналу связи с ЭВМ верхнего уровня, обеспечивает автоматический контроль ряда параметров технологического процесса и их оптимизацию, обладает автоматической адаптацией к реальному режиму обработки и способностью автоматически компенсировать погрешности технологического оборудования и вести его диагностику. УЧПУ может работать с системами встроенного контроля в зоне обработки, управлять модулем ГАЛ, состоящим из станка с ЧПУ и промышленного обучаемого робота, управлять работой контрольно-измерительных машин и работать в комплексе со станками различных типов и транспортной системой. Для обеспечения высокой надежности управления оборудованием, что особенно важно в режиме безлюдной технологии, может быть реализован режим дублированной синхронной работы двух систем ИЦО-П.

К УЧПУ ИЦО-П могут быть подключены любые внешние устройства (электрофицированные пишущие машинки, дисплеи, перфораторы, графопостроители, элементы дополнительной памяти и др.), позволяющие редактирование, вывод и отладку УП в режиме свободного программирования, вследствие чего УЧПУ можно использовать как своеобразную систему автоматизированной подготовки УП, обладающую большими функциональными возможностями и при этом располагаемую непосредственно у станка, т. е. на рабочем месте.

Модель «Электроника НЦ80-31» («Электроника МС2101») является одной из отечественных систем с ЧПУ. Аппаратная часть устройства выполнена по блочно-модульному принципу. В зависимости от типа станка и задач управления

в состав УЧПУ входят два или три блока. Кроме того, можно варьировать состав плат второго и третьего блоков. Первый, дисплейный блок во всех исполнениях УЧПУ имеет одинаковую аппаратную часть и отличается только ПМО отображения программ [24]. Объем основной памяти микроЭВМ блока 58 Кбайт, внутренней памяти — 32 Кбайт. Возможно программирование в различных режимах, в том числе и в режиме диалога. В этом режиме введение данных сопровождается формированием на экране дисплея контура детали и траектории движения инструмента. Система позволяет использовать ряд стандартных циклов (для их выбора служит режим «меню»), решать ряд технологических задач: разбиение припуска, контроль траектории движения и другие расчеты, связанные с подготовкой УП. УЧПУ допускает одновременное обращение к двум УП: по одной из них ведется обработка на станке, в то время как другая может формироваться и редактироваться. Вводить УП можно не только с клавиатуры пульта или с кассеты, но и с подключаемого фотосчитывающего устройства, а также от ЭВМ верхнего уровня.

В блочном исполнении рассматриваемый тип УЧПУ определен как «Электроника МС2101». Здесь дисплейный блок связан со вторым блоком телеграфным каналом, обеспечивающим скорость передачи информации 19,2 Кбод. Связь с внешними периферийными устройствами выполняется со скоростью 300 бод. Второй блок УЧПУ предназначен для управления приводами и электроавтоматикой станка, а также для хранения технологического ПМО. В табл. 2.3 приведены характеристики УЧПУ «Электроника МС2101» различных исполнений.

УЧПУ типа 3С150 также является новейшей системой отечественного производства с высокими эксплуатационными и сервисными возможностями. Устройство многопроцессорное, управление может вестись не менее чем по 10 каналам, каждые два канала обслуживаются отдельным процессорным блоком микроЭВМ системы. УЧПУ предназначено для управления многоцелевыми станками различных типов. Расширенные функцио-

Таблица 2.3. Краткие характеристики УЧПУ «Электроника МС2101»

Тип УЧПУ	Группа станков	Тип блока (микроЭВМ)	Характеристика второго блока
МС 2101.01 (двухблочное исполнение)	Токарные	1) НМС 12401.1; 2) НМС 12402.1-02	Пять каналов связи с импульсными датчиками; три канала управления приводом; 128 входов и 64 выхода
МС 2101.04 (двухблочное исполнение)	Шлифовальные	1) НМС 12401.1; 2) НМС 12402.1-04	Пять каналов связи с импульсными датчиками; четыре канала управления приводом (четыре координаты); 64 входа и 32 выхода; четыре канала АЦП на девять разрядов
МС 2101.02 (трехблочное исполнение)	Фрезерно-сверлильные многоцелевые станки и ГПМ	1) НМС 12401.1; 2) НМС 12402.1-06; НМС 12402.1 (командоаппарат: 192 входа и 96 выходов)	Пять каналов связи с импульсными датчиками; четыре канала управления приводом; 64 входа и 32 выхода

нальные возможности делают его высокоэффективным при решении многочисленных технологических задач. Возможность подключения внешних периферийных устройств и сопряжения с ЭВМ верхнего уровня обеспечивает использование устройства в комплексно-автоматизированных линиях и на участках станков с ЧПУ.

Функциональные возможности, реализованные в устройстве 3С150: программируемое управление электроавтоматикой станка на языке, доступном пользователю; коррекция лифтов станка и шага шпинделя. Система позволяет простое программирование за счет развитой техники подпрограмм, параметрического задания геометрической и технологической информации, наличия условных и безусловных переходов в управляющей программе, возможности повторения отдельных участков программы, возможности программирования стандартных циклов пользователем, широкого использования макропроцедур, обеспечивающих упрощенное описание контуров обработки, и т. д.

УЧПУ осуществляет программируемый контроль исходного положения; при отключении питания в памяти сохраняется информация для запоминания управляющих программ, значений коррекций, постоянных значений (станочных констант).

В память микроЭВМ УЧПУ заложен расширенный состав стандартных и специальных циклов. УЧПУ может реализовать адаптивные режимы управления. Устройство имеет систему ПМО, обеспечивающую редактирование УП.

Программы можно вводить с перфоленты и магнитной ленты, с клавиатуры пульта оператора. Система позволяет архивирование УП на перфоленту, магнитную ленту или другой носитель, а также фиксирование УП с использованием кассет внешней памяти. УЧПУ имеет развитую систему диагностирования станка и самодиагностирования и многое другое.

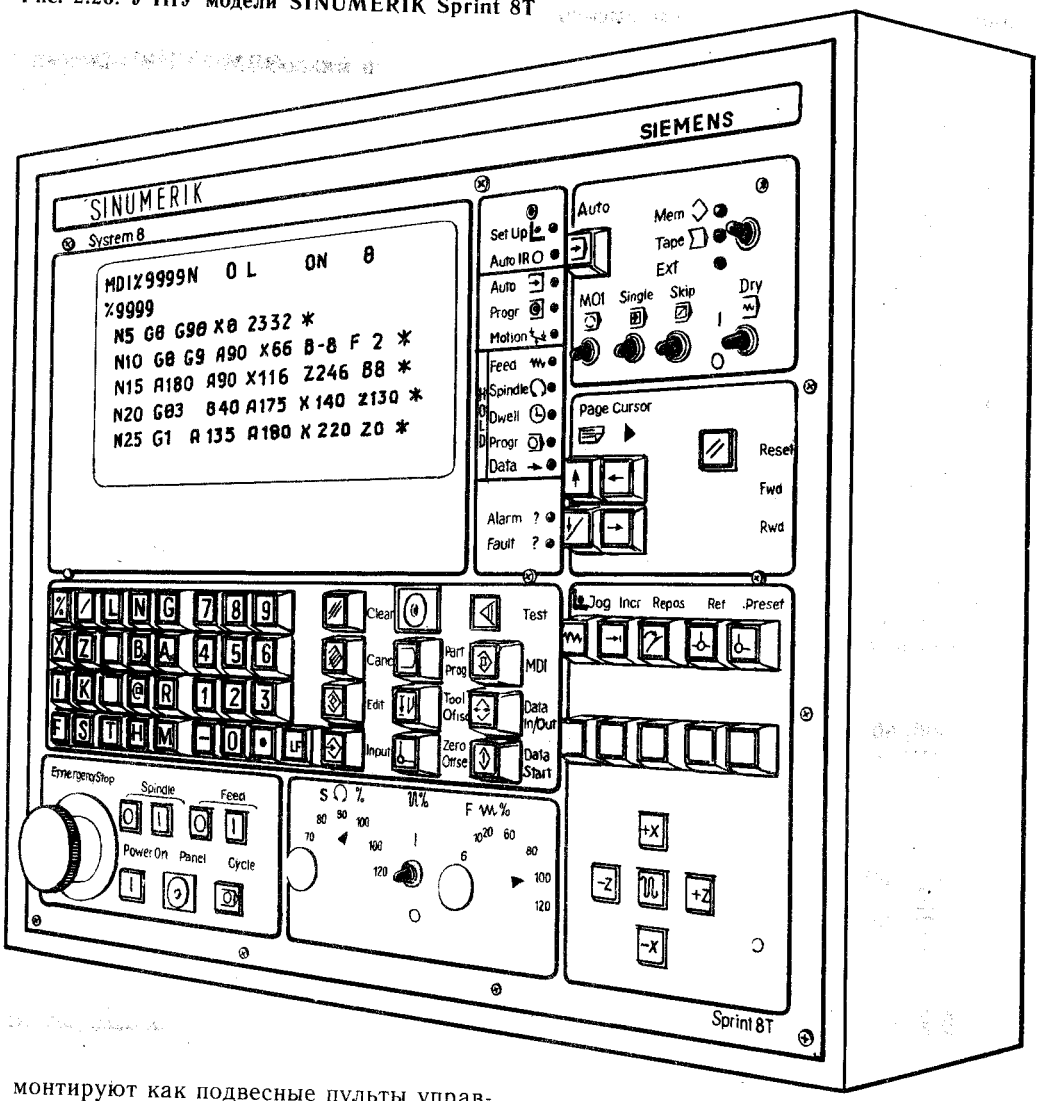
Конструктивно устройство оформлено в виде отдельного блока с развитой панелью пульта оператора.

УЧПУ зарубежных фирм достаточно широко используются со станками отечественного производства. Наиболее распространенные из них указаны в табл. 2.4. Конструктивно УЧПУ реализуют по-разному. Чаще всего устройство придается к станку как отдельный агрегатированный элемент — шкаф (стойка) с различными панелями и целевыми устройствами на лицевой стороне. Некоторые УЧПУ

Таблица 2.4. Некоторые модели УЧПУ зарубежного производства, применяемые с отечественным оборудованием

Модель УЧПУ	Страна-изготовитель
FANUC 3000C; FANUC 2; FANUC 6M; FANUC 6T; FAN UC 6BE; FANUC 10; FANUC 11; FANUC 7M; FANUC 12	Япония
BOSCH MIKRO 8; BOSCH ALPHA 2; BOSCH ALPHA 3; BOSCH ALPHA 6; BOSCH MIKRO 5; BOSCH KK 100M	ФРГ
SINUMERIK 8T (Sprint 8T)	»
SINUMERIK 8M (8ME, 8ME-C, Sprint 8M, Sprint 8ME, Sprint 8ME-C)	»
SINUMERIK 8MC (8MCE, 8MCE-C, 8MC-Z2)	»
SINUMERIK 3T (3TE, 3M, 3ME, 3TT, 3TTE, 3G, 3GE, 3N, 3NE)	»
SINUMERIK 810T (810TE, 810M, 810ME)	»
SINUMERIK 850T (850TE, 850M, 850ME)	»
SINUMERIK 880T (880TE)	»
CONTOR; SIRIUS	США
GIUSTINA; HORIZON 22; HORIZON 23, 24; AUKTOR 22—25; VEKTOR	Италия
LJUMO-61 ISKRA	Югославия
PNC 712; PNC 721	ВНР
CNC 600; CNC 645; CNC 644	ГДР
NUM 750F; NUM 760T; NUM 750T; NUM 760TX; NUM 760R; NUM 760F; NUM 760E	Франция
SAAB	Швеция

Рис. 2.26. УЧПУ модели SINUMERIK Sprint 8T



монтируют как подвесные пульты управления станком или встраивают в какой-либо агрегат станка (например, суппорт) с выводом панели в необходимую сторону.

На рис. 2.26 показан внешний вид УЧПУ фирмы SIEMENS (ФРГ) — модель SINUMERIK Sprint 8T. Система обладает богатыми функциональными и сервисными возможностями, как и все остальные модели УЧПУ этой фирмы, среди которых следует отметить новейшие модели SINUMERIK 880T (880TE).

2.6. ПУЛЬТЫ УПРАВЛЕНИЯ СТАНКАМИ С ЧПУ

Широкое внедрение микропроцессоров в УЧПУ сделало допустимыми весьма сложные и развитые панели управления, в том числе и такие, с которых возможен полный ручной ввод управляющей программы, ее корректировка и изменение, вывод на перфоратор и др. В пультах УЧПУ классов NC и SNC появились различные устройства коррекции, зрительной индикации, элементы отображения

данных о работе различных подсистем УЧПУ и станка и др. Пульты УЧПУ класса CNC в ряде случаев содержат элементы, обеспечивающие отбор той части функционального математического обеспечения, которая необходима для отработки вводимой информации от УП и т. п. Все это делает необходимым вводить не только УП на перфоленте, но и самые разнообразные команды с помощью клавиш панели оператора, имеющих определенную символику.

Особенно активная работа технолога-программиста с пультами управления станком и УЧПУ предполагается в процессе отладки УП.

Символика станков с ЧПУ. Пульт УЧПУ и пульт управления станком имеют множество символов, позволяющих достаточно просто отразить на элементах управления большой объем информации, обеспечивающей связь оператора с СПУ. Все используемые в станках с ЧПУ языковые символы удобно сгруппировать в рамках того или иного режима работы станка или УЧПУ (табл. 2.5), поскольку основным понятием в языковых символах панелей оператора является «режим».

Таблица 2.5. Режимы и принадлежащие им языковые символы панели оператора

Режим	Языковые символы панели оператора
«Автомат из памяти» (воспроизведение программы, предварительно записанной в памяти устройства ЧПУ)	1 — покадровая отработка; 2 — пропуск помеченных кадров; 3 — останов с подтверждением; 4 — приостановка отработки; 5 — возврат на траекторию; 6 — повторный запуск; 7 — пробный нормальный прогон; 8 — пробный ускоренный прогон; 9 — пробный прогон без быстрых ходов и технологических команд; 10 — пробный прогон без воспроизведения на станке; 11 — повторная отработка программы; 12 — пуск ЧПУ
«Автомат с ленты» (через фотосчитывающее устройство)	1 — покадровая отработка; 2 — пропуск помеченных кадров; 3 — останов с подтверждением; 4 — приостановка отработки; 5 — возврат на траекторию; 6 — повторный запуск; 7 — пробный прогон
Ручное управление (наладочный режим)	1 — немерное перемещение с подачей №1, №2, ...; 2 — мерное перемещение на величину №1, №2, ...; 3 — движение к нулевой точке станка; 4 — движение к выбранному началу координат; 5 — движение к реперной точке измерительной системы; 6 — приводы подач заторможены; 7 — приводы подач расторможены; 8 — выбор координаты X; 9 — выбор координаты Y; 10 — выбор координаты Z; 11 — выбор четвертой координаты; 12 — коррекция рабочей подачи №1, №2, ...; 13 — коррекция быстрого хода №1, №2, ...; 14 — коррекция частоты вращения шпинделя №1, №2, ...
Манипуляции с управляющей программой и таблицей корректоров (с обращением к соответствующим массивам памяти)	1 — программу стереть; 2 — программу перфорировать; 3 — программу редактировать; 4 — удалить кадр; 5 — изменить кадр; 6 — добавить кадр; 7 — удалить слово; 8 — заменить слово; 9 — добавить слово; 10 — загрузить программу; 11 — обращение к каналу ввода через фотосчитыватель; 12 — обращение к каналу ввода из накопителя; 13 — обращение к каналу ввода от ЭВМ; 14 — программу исполнить
Поиск кадра	1 — найти кадр; 2 — найти начало программы при движении вперед (нормальный просмотр памяти); 3 — найти начало программы при движении назад (обратный просмотр памяти); 4 — найти начало кадра при движении вперед; 5 — найти начало кадра при движении назад; 6 — найти базовый (главный) кадр
Редактирование	1 — ввести команду; 2 — стереть команду; 3 — заменить команду; 4 — исключить кадр; 5 — заменить кадр; 6 — вставить кадр; 7 — возврат к предыдущему кадру; 8 — переход к следующему кадру; 9 — переход к следующей команде (движение курсора на дисплее или смена изображения на табло цифровой индикации)
Работа с внешними устройствами	1 — ввод; 2 — вывод; 3 — телетайп; 4 — накопитель; 5 — перфоратор; 6 — ЭВМ
Ввод таблиц корректоров	

Продолжение табл. 2.5

Режим	Языковые символы панели оператора
Наружная диагностика панели оператора	1 — проверка ламп индикации; 2 — контроль цифровой индикации; 3 — вывод знаков на дисплей
Внутренняя диагностика ЧПУ	1 — автоматическая проверка функционального математического обеспечения; 2 — автоматическая проверка исправности блока оперативной памяти; 3 — диагностика при помощи специальных диагностических лент
Работа с памятью	1 — выбрать зону памяти программ; 2 — выбрать зону памяти подпрограмм; 3 — выбрать зону памяти косвенной коррекции; 4 — ввести в память; 5 — замена слова (команды); 6 — программу стереть; 7 — переход к следующему кадру; 8 — сброс (установка в исходное состояние); 9 — покомандное движение программы вперед; 10 — покомандное движение программы назад; 11 — блокировка памяти (управление возможно); 12 — блокировка памяти (управление невозможно); 13 — разблокировка памяти; 14 — выбор программы №1, №2, ...; 15 — сброс отсчета перемещения; 16 — очистить память от данных, введенных вручную; 17 — стереть коррекции; 18 — стереть признак ошибки; 19 — стереть функциональное математическое обеспечение; 20 — запомнить точку прерывания для возврата на траекторию
Индикация на дисплее (выбираются режимным переключателем индикации)	1 — заданное и действительное положение по всем координатам; 2 — остаток пути по всем координатам; 3 — вызов информации нескольких смежных кадров; 4 — таблица корректоров; 5 — визуализация исполняемых команд; 6 — оперативная информация пробного прохода; 7 — вызов на дисплей кода ошибки; 8 — комментарий к сбою (открытым текстом); 9 — текущий кадр, следующий кадр; 10 — перейти к следующей странице главы; 11 — вернуться к предыдущей странице главы
Наружная индикация панели оператора (режим индикации не выбирают, он выполняется всегда)	1 — признак относительной системы координат; 2 — неисправность ЧПУ; 3 — ошибка в носителе информации; 4 — неисправность станка; 5 — неисправность привода; 6 — перегрев; 7 — идет отработка на станке; 8 — выдержка времени; 9 — исполнено (позиция достигнута); 10 — конец программы; 11 — работа с панелью оператора; 12 — индикация выбранного режима №1, №2, ...; 13 — память обнулена; 14 — нуль станка достигнут; 15 — достигнута реперная точка измерительной системы; 16 — начало координат достигнуто; 17 — готовность ЧПУ; 18 — отклонение напряжения питания; 19 — запрет управления; 20 — приостановка; 21 — повторный запуск; 22 — остановка кадра; 23 — остановка программы; 24 — стоп подачи; 25 — предупредительный сигнал; 26 — позиция не достигнута; 27 — останов с подтверждением; 28 — общая готовность; 29 — согласование приводов в системе координат станка выполнено; 30 — выполнение цикла; 31 — останов устройства ввода; 32 — пропуск кадра; 33 — пробный пуск; 34 — пошаговый ввод и наладочном режиме; 35 — подача в мм/мин; 36 — подача в мм/об; 37 — воздействие на ограничительные конечные выключатели; 38 — признак абсолютной системы координат; 39 — предупреждение о подходе к краю поля допуска по X, Y, Z. ... (в соответствии с рассогласованиями следящих приводов подачи); 40 — выход из поля допуска на погрешность воспроизведения контура; 41 — недопустимая погрешность измерительной системы; 42 — переполнение памяти; 43 — программируемый контроллер интерфейса работает

Следует отметить, однако, что такое группирование символов в рамках режима сравнительно условно, та[illegible]дни и те же символы в различ[illegible]кретных УЧПУ могут быть отнесены к различным режимам.

Отбор некоторых используемых подмножеств символов из состава полного

множества языковых символов панели оператора и из состава полного множества допустимых команд в коде УП (например, в коде ИСО-7 бит) для конкретной модели УЧПУ зависит от многих факторов и в первую очередь от класса системы. Анализ различных систем УЧПУ показывает, что внешние языковые средства процесса управления могут служить мерой функциональности устройства управления, т. е. чем большее количество команд можно ввести в УЧПУ в процессе управления станком с пульта оператора, тем выше класс системы и ее функциональные возможности.

Символика отечественных станков с ЧПУ должна отвечать требованиям ГОСТ 24505—80*, ГОСТ 124040—78 и ОСТ НО 3-5—79 (Символы органов управления).

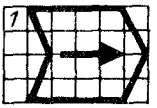
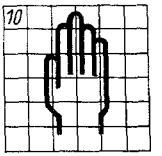
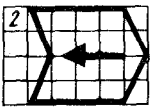
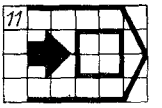
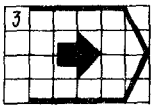
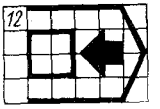
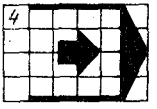
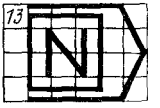
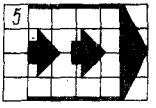
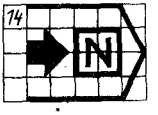
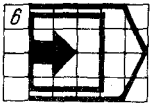
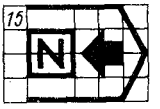
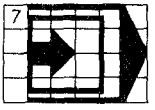
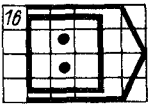
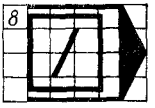
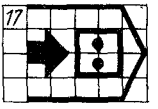
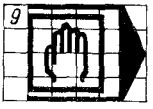
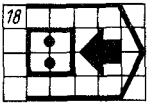
Большинство символов на пультах управления станками с ЧПУ основано на комплексном (совместном) использовании так называемых базовых символов (табл. 2.6), которые обозначают: направление и характер движения (поз. *1*, *13*, *14* в табл. 2.6); определенные элементы — такие, как носитель данных (поз. *3*), управляющая программа (поз. *4*), фиксированная точка (поз. *7*), отработка УП (поз. *5*) и др.

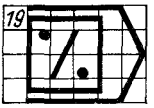
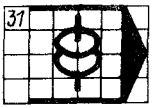
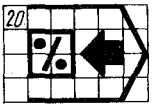
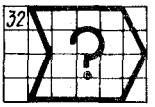
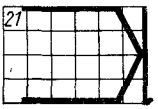
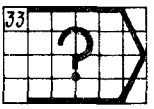
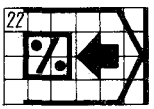
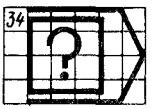
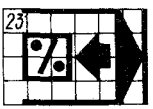
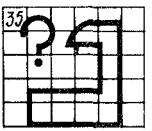
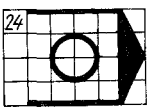
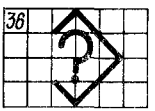
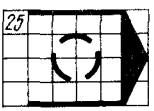
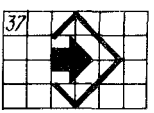
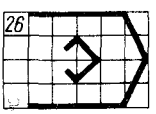
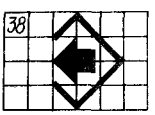
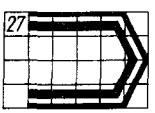
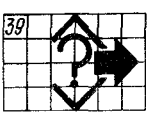
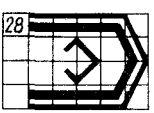
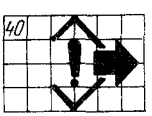
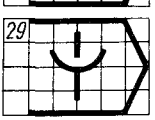
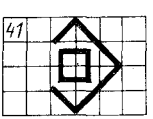
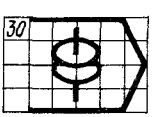
Таблица 2.6. Базовые символы на пультах управления УЧПУ (ГОСТ 24505—80*)

Смысловое значение символа	Символ	Смысловое значение символа	Символ
Направление движения	1	Память	9
Функциональная стрелка	2		
Носитель данных	3	Замена	10
Управляющая программа	4	Редактирование	11
Отработка управляющей программы	5	Прямолинейное непрерывное движение в двух направлениях	12
Кадр управляющей программы	6	Ограниченное прямолинейное движение	13
Фиксированная точка	7	Ограниченное вращательное движение	14
Коррекция	8	Непрерывное вращательное движение в одном направлении	15
		Вращательное движение в двух направлениях	16

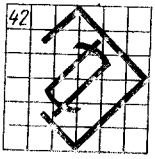
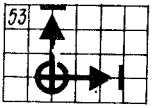
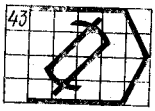
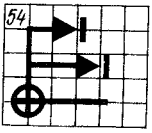
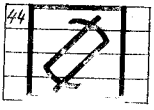
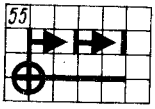
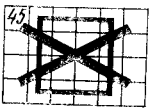
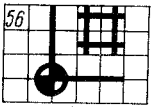
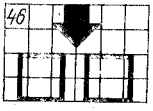
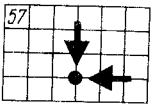
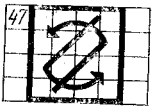
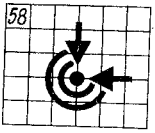
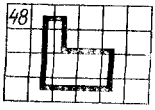
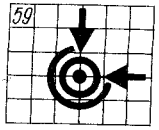
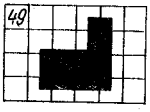
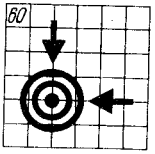
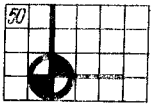
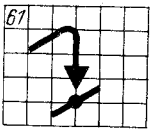
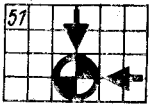
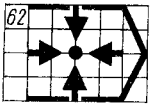
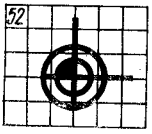
Сочетание базовых символов определяет конкретные символы пультов управления (табл. 2.7). Так, сочетание символа «носитель данных» с символами направлений движения дает символы «перемотка носителя данных вперед (назад)» (табл. 2.7, поз. *1*, *2*); сочетание символа «отработка управляющей программы» с рядом символов определяет целый ряд информативных знаков, например таких, как «покадровый ввод» (поз. *6*), «ручной ввод данных» (поз. *9*), «пропуск кадра» (поз. *8*) и др.

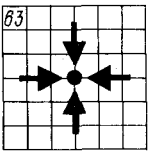
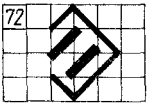
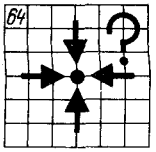
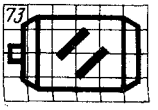
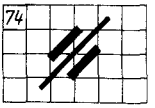
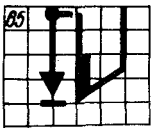
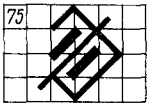
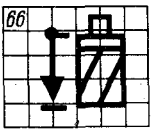
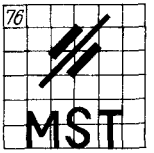
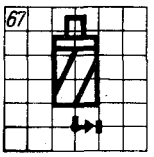
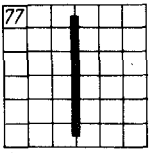
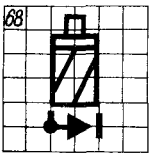
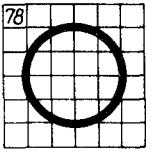
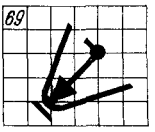
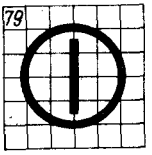
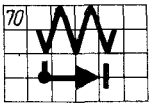
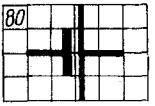
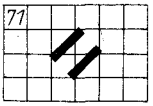
Таблица 2.7. Символы пультов управления УЧПУ (ГОСТ 24505—80 *)

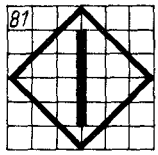
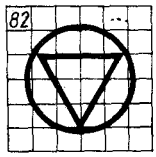
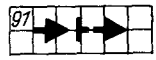
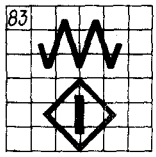
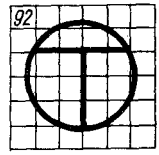
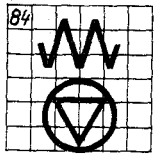
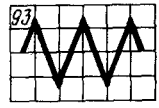
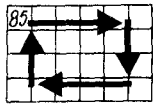
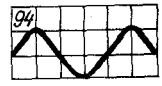
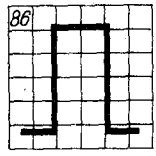
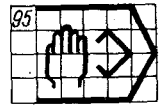
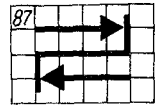
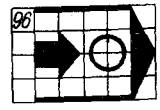
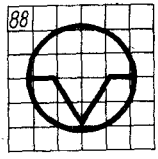
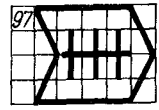
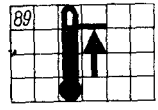
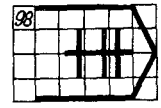
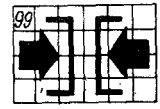
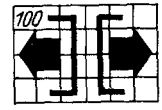
Смысловое значение символа	Символ	Смысловое значение символа	Символ
Перемотка носителя данных вперед		Ручное управление	
Перемотка носителя данных назад		Поиск определенных данных при движении носителя данных в прямом направлении	
Считывание управляющей программы		Поиск определенных данных при движении носителя данных в обратном направлении	
Автоматическая работа		Поиск кадра управляющей программы	
Ускоренная отработка управляющей программы		Поиск кадра вперед	
Покадровый ввод		Поиск кадра назад	
Покадровая отработка управляющей программы		Поиск главного кадра	
Пропуск кадра		Поиск главного кадра вперед	
Ручной ввод данных (РВД)		Поиск главного кадра назад	

Смысловое значение символа	Символ	Смысловое значение символа	Символ
Начало управляющей программы		Управление от ЭВМ с отработкой управляющей программы	
Поиск начала управляющей программы		Дефект носителя данных	
Конец управляющей программы		Ошибка в управляющей программе	
Конец управляющей программы с автоматической перемоткой носителя данных до начала программы		Ошибка считывания управляющей программы	
Конец управляющей программы с автоматической перемоткой носителя данных до начала программы с возобновлением отработки управляющей программы		Сбой станка	
Останов управляющей программы		Ошибка запоминающего устройства	
Останов с подтверждением		Ввод данных в память	
Хранение управляющй программы		Считывание данных из памяти	
Подпрограмма		Переполнение памяти	
Хранение подпрограммы		Предупреждение переполнения памяти	
Ввод управляющей программы от внешнего устройства (кроме ЭВМ)		Буферное запоминающее устройство	
Ввод управляющй программы от ЭВМ без отработки управляющей программы			

Продолжение табл. 2.7

Смысловое значение символа	Символ	Смысловое значение символа	Символ
Редактирование данных в памяти		Смещение нуля отсчета	
Редактирование управляющей программы		Абсолютные размеры	
Редактирование кадра управляющей программы		Размеры в приращениях	
Исключить кадр управляющей программы		Точки сетки	
Ввести кадр в управляющую программу		В позицию	
Заменить кадр управляющей программы		Точное позиционирование	
Нормальная отработка управляющей программы		Нормальное позиционирование	
Зеркальная отработка управляющей программы		Грубое позиционирование	
Исходная точка		Повторное позиционирование	
Установка в исходную точку		Программируемая позиция	
Нуль станка			

Смысловое значение символа	Символ	Смысловое значение символа	Символ
Фактическая позиция		Сброс памяти	
Погрешность позиционирования		Сброс привода	
		Отмена	
Коррекция на положение инструмента		Стирание данных в памяти	
Коррекция на длину инструмента		Отмена технологических команд	
Коррекция на радиус инструмента		Включено	
Коррекция на диаметр инструмента		Выключено	
Коррекция на радиус конца инструмента		Включение и выключение с фиксированными положениями	
Коррекция скорости подачи		Батарея	
Сброс			

Смысловое значение символа	Символ	Смысловое значение символа	Символ
Пуск		Смена инструмента	
Стоп		Наезд подвижных органов станка на путевой ограничитель	
Пуск подачи		Включение при постоянном нажатии	
Останов подачи		Подача	
Постоянные циклы УЧПУ		Ускоренное перемещение	
Перемещение рабочих органов на единицу дискретности отработки перемещений		Обучение	
Компенсация люфта		Автоматическая работа — один цикл	
Пауза		Разметка носителя данных	
Перегрев		Поиск зоны	
		Зажим	
		Разжим	

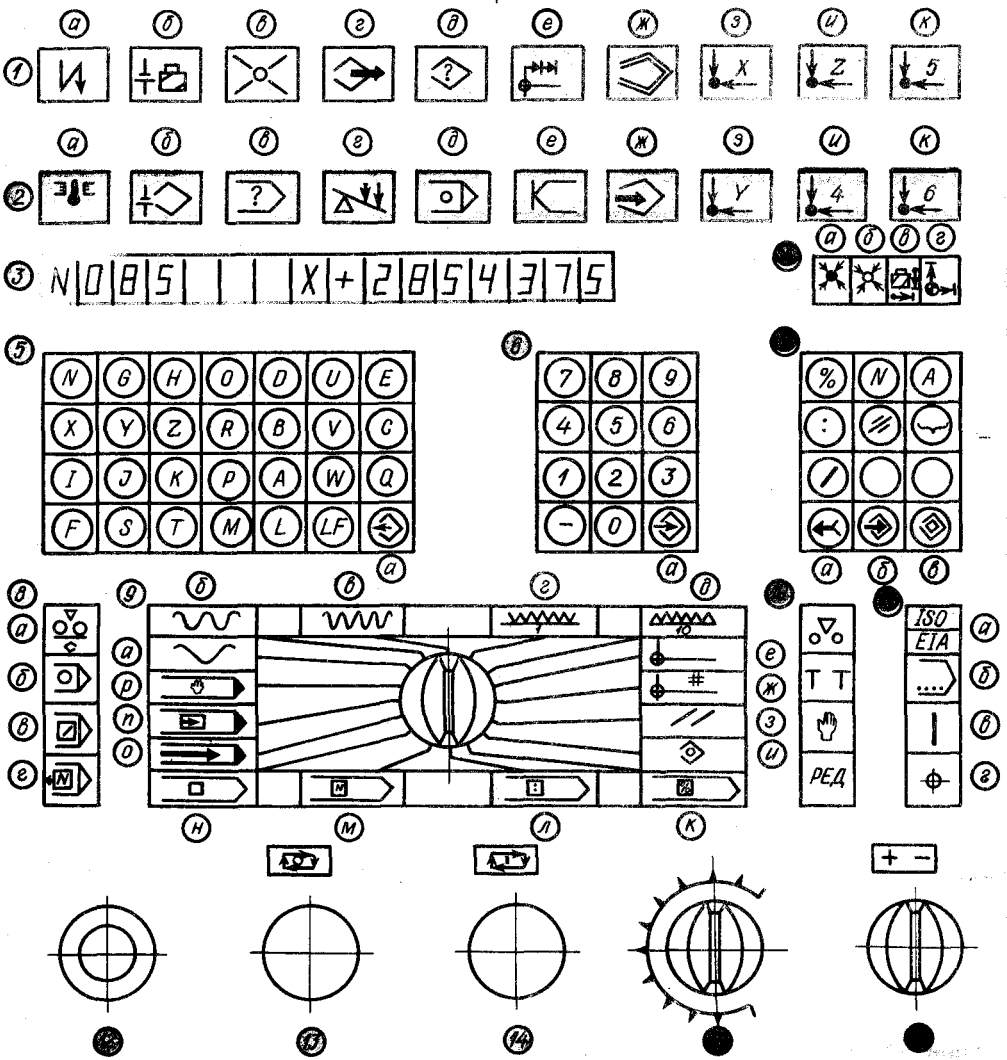


Рис. 2.27. Представительная панель УЧПУ

Построение пультов УЧПУ. Все пульты УЧПУ строят по единой системе, которая может быть пояснена на примере некоторой общей (*представительной*) панели управления УЧПУ станка. Панель (рис. 2.27) содержит зоны управления и индикации. Для идентификации сигналов и команд на пультах используют мнемонические изображения (см. табл. 2.6 и 2.7).

Зоны *1* и *2* отведены под световую индикацию. Сигнализация лампочек зоны *1* означает соответственно (слева направо): *1а* — сеть; *1б* — работа автономной батареи буферной памяти коррекций инструмента (при аварийном отключении сети); *1в* — обнаружение ошибки в отработке перемещения; *1г* — переполнение промежуточной памяти; *1д* — переполнение памяти, отведенной программе; *1е* — работа в относительных приращениях (в относительной системе координат); *1ж* — передача данных в память; *1з* — подача по оси *X*; *1и* — подача вдоль оси *Z*; *1к* — подача по пятой координате. Сигнализация лампочек зоны *2* означает соответственно (также слева направо): *2а* — перегрев; *2б* — работа автономной

батареи питания памяти, отведенной программе (при аварийном отключении сети); *2в* — обнаружение ошибки при считывании; *2г* — обнаружение сбоя в приводе подачи; *2д* — стоп программы; *2е* — конец программы; *2ж* — ввод программы; *2з* — подача вдоль оси *Y*; *2и* — подача по четвертой координате; *2к* — подача по шестой координате.

В зоне *3* расположена панель цифровой индикации, на которую может быть вызвана любая информация, перерабатываемая системой. В зоне *4* размещены четыре клавиши. Первая слева (*4а*) вызывает на панель цифровой индикации фактическое (т. е. текущее) значение некоторого параметра, а вторая (*4б*) — заданное программой значение этого параметра (нужный параметр может быть выбран на панели *5* буквенных регистров). Третья кнопка (*4в*) зоны *4* при одновременном обращении к панелям *5* и *6* позволяет в процессе отладки установить коррекцию инструмента, а четвертая (*4г*) — также при обращении к панелям *5* и *6* — переместить нулевую точку.

Зоны буквенных и цифровых регистров *5* и *6* предназначены для ручного ввода любых команд (в соответствии с кодом ИСО 7 бит) в пределах объема памяти СЧПУ. При этом правые нижние кнопки зон *5* и *6* позволяют обратиться к предыдущему кадру, ввести (кнопка *6а*) набранную на буквенных и цифровых регистрах информацию в память или вывести ее (кнопка *5а*) на табло индикации.

Зона *7* при одновременном использовании буквенных и цифровых регистров (зоны *5* и *6*) позволяет отредактировать управляющую программу. Любой кадр может быть выбран из памяти кнопкой *N* (далее следует номер кадра). Кнопкой *A* осуществляется построчная визуализация информации кадра на панели цифровой индикации. Кнопка с символом двоеточия придает некоторому кадру смысл «главного» (например, такого, с которым сопрягается подпрограмма). Правее расположена кнопка для стирания информации. Фигурная скобка открывает кадр, вводимый дополнительно сверх того, что было предусмотрено первоначальной программой. Наклонная черта — символ пропуска кадра. Кнопки нижнего ряда зоны *7* предназначены: *7а* — для возврата на панель индикации предыдущей строки кадра; *7б* — для перехода к следующему кадру; *7в* — для возврата вызванного кадра обратно в память.

В зоне *8* назначение кнопок следующее (обозначение кнопок сверху вниз): *8а* — переключение режима — работа от перфоленты и фотосчитывателя или работа с извлечением информации из памяти; *8б* — технологический останов (в каком-то кадре должна быть соответствующая метка, по которой этот останов и произойдет); *8в* — кадры пропускаются; *8г* — программа воспроизводится только до кадра номера *N*.

В зоне *9* расположен переключатель рода работы. Режимы обозначены указателями (по часовой стрелке): *9а*, *9б*, *9в* — три синусоиды возрастающей частоты — указатели ручной подачи трех различных уровней; *9г*, *9д* — указатели, означающие нормальную и десятикратно увеличенную цену одного импульса при перемещении одиночными шагами в наладочном режиме; *9е* — указатель выхода к началу координат; *9ж* — указатель выхода к реперной точке измерительной системы; *9з* — указатель сброса размеров «в нуль» при выборе нового начала координат; *9и* — фиксация в памяти установленного начала координат; *9к*, *9л*, *9м*, *9н* — указатели перехода к началу программы, к главному кадру, к кадру номера *N*, к последовательному просмотру всей программы; *9о*, *9п*, *9р* — указатели, означающие выбор одного из следующих режимов: ввод всей программы, покадровый ввод, ручной ввод с буквенных и цифровых регистров.

Зона *10* предназначена для выбора способа ввода управляющей программы в память УЧПУ с помощью перфоленты (верхняя кнопка), через внешний телетайп (кнопка *ТТ*), вручную — с помощью панелей буквенных и цифровых регистров (третья сверху кнопка). Нажатием нижней кнопки можно обратиться к программе редактирования.

В зоне *11* расположена панель управления внешним перфоратором, изготовляющим управляющую перфоленту. Верх-

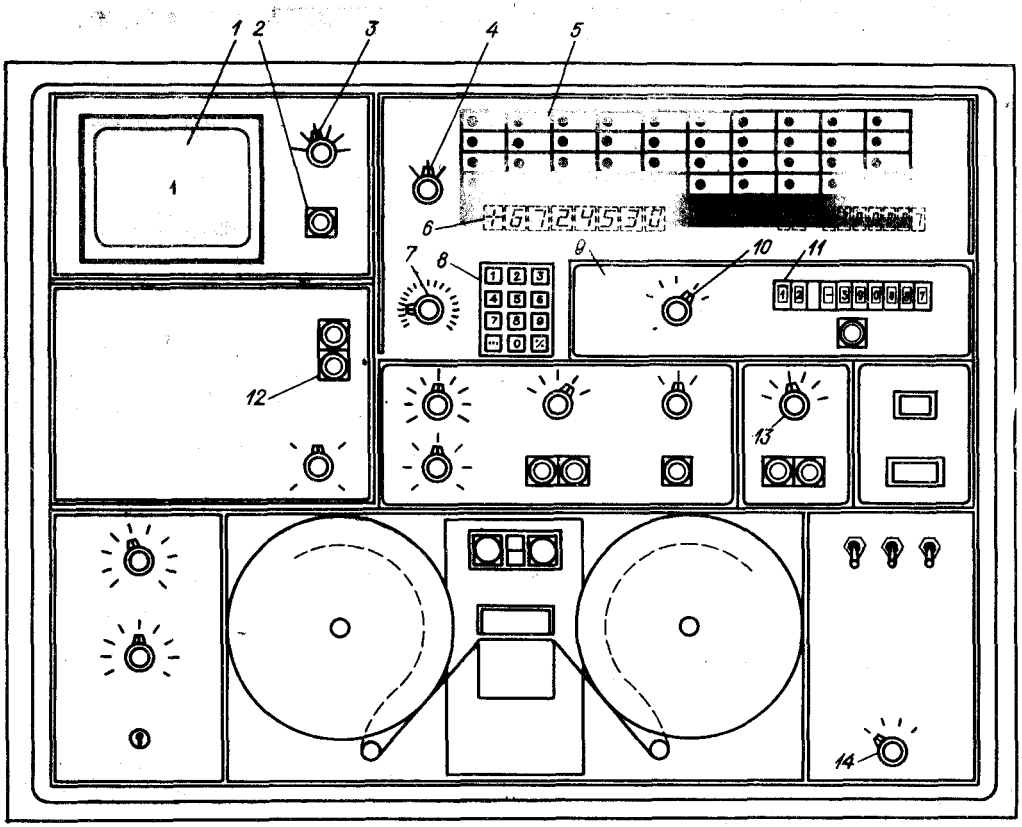


Рис. 2.28. Панель оператора УЧПУ класса CNC третьего поколения

няя кнопка (*11а*) выбирает один из кодов управляющей программы — ISO или EIA; следующая (*11б*) вводит признак ошибочной информации (забой); две нижние кнопки предназначены соответственно для пуска (*11в*) и останова (*11г*) процесса перфорирования.

С помощью кнопки *12* осуществляется аварийный останов; *13* и *14* — световая индикация соответственно прекращения подачи и пуска подачи. Переключатель *15* позволяет вручную уменьшить скорость подачи против значения, выбранного в УП. Переключатель *16* предназначен для ручного управления приводами подачи в положительном или отрицательном направлении.

В общем случае работа с панелью управления УЧПУ преследует, таким образом, одну из трех целей: 1) ввод, отладку управляющей программы, изготовление управляющей перфоленты; 2) контроль за работой; 3) выбор одного из режимов работы. Практически включение того или иного режима станка может осуществляться и с панели управления самого станка.

Панель оператора УЧПУ класса CNC третьего поколения показана на рис. 2.28. Работу начинают с установления режима переключателем *13* (ручной, автоматический, покадровый, поиск кадра, пуск после поиска кадра). В ручном режиме осуществляют согласование координатных приводов, устанавливая их в базовые точки, после чего система готова к работе. Прогон программы при помощи переключателя *14* (нормальный, ускоренный, без быстрых ходов и включения рабочих режимов станка, без воспроизведения на станке) может показать необходимость ее редактирования. Редактируемый кадр выбирают по его номеру, набираемому клавиатурой *8*, после чего можно удалить

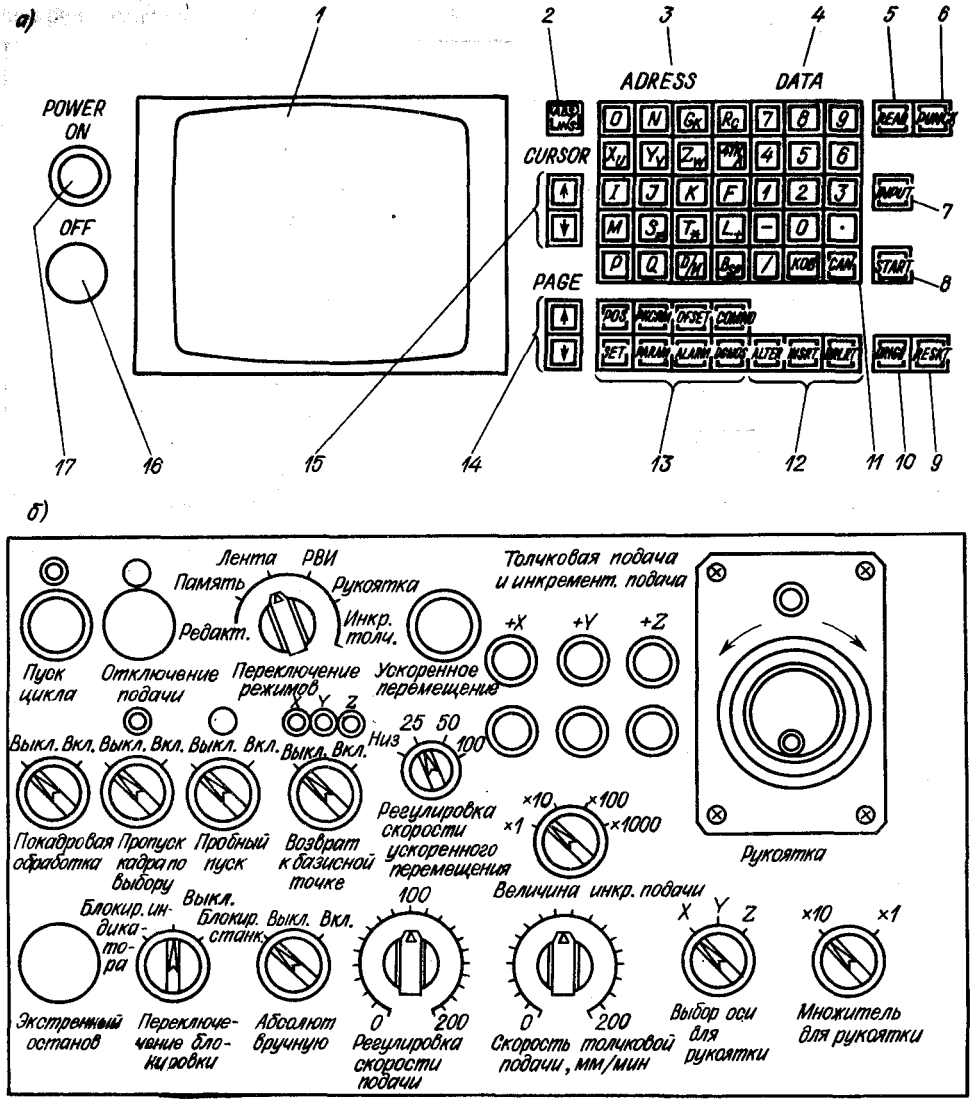


Рис. 2.29. Общий вид панели оператора УЧПУ модели FANUC 6M (*а*) и пульта управления станком (*б*):

1 — дисплей; *2* — кнопка переключения заданий в абсолютных размерах или в приращениях в режиме РВИ (ручной ввод информации); *3* — адресные кнопки; *4* — числовые кнопки; *5* — кнопка для регистрации программы с перфоленты в память; *6* — кнопка ленточного перфоратора; *7* — кнопка ввода; *8* — кнопка пуска; *9* — кнопка сброса; *10* — кнопка начала отсчета; *11* — кнопка аннулирования; *12* — кнопка редактирования УП (замена, вставка, исключение слова); *13* — функциональные кнопки; *14* — кнопка переключения страниц на экране; *15* — кнопка перемещения указателя — курсора; *16* — кнопка выключения питания; *17* — кнопка включения питания

кадр, изменить его, добавить один или несколько кадров, удалить или заменять отдельные слова.

Вид коррекции устанавливают на панели *9* переключателем *10* (на величину подачи, на частоту вращения шпинделя, на положение спутника, на длину инструмента, на диаметр инструмента, по осям X, Y, Z). Величина коррекции высвечивается на индикаторе *11*. Во время обра-

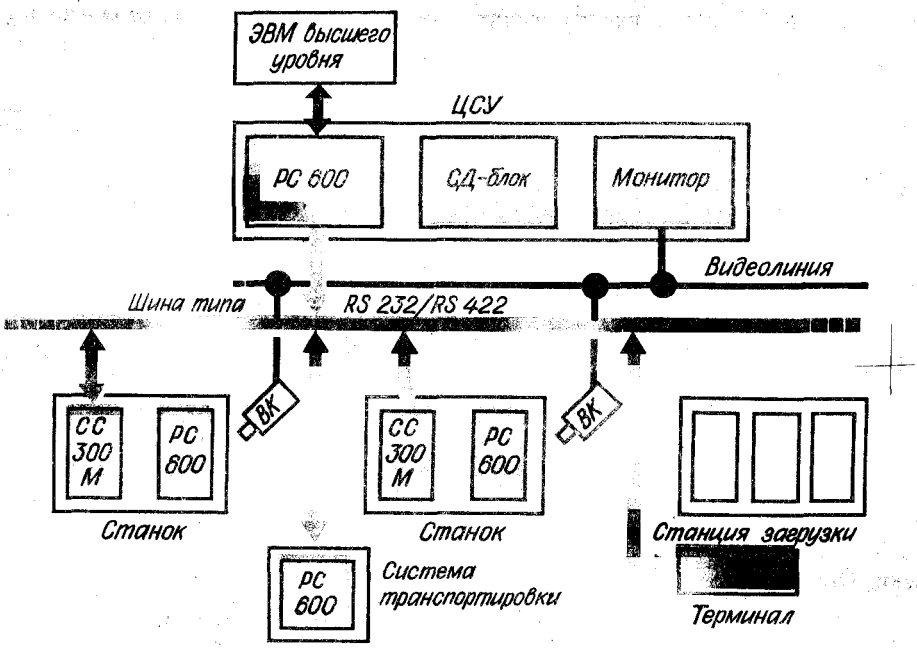


Рис. 2.30. Схема управления работой ГАЛ с помощью системы СС 300М

ботки может возникнуть необходимость в прерывании исполнения программы. Тогда используют клавиши *12* для запоминания точки прерывания, после этого может последовать серия ручных отводов (перемещений) инструмента, а затем и автоматический возврат на контур.

Важными компонентами сервисных возможностей устройства являются дисплей и средства световой индикации. На дисплее *1* можно отобразить шесть различных «глав индикации», соответствующих положению переключателя *3*: ввод (текущий кадр, следующий кадр, содержимое промежуточной памяти при ручном вводе); положение (текущий и оставшийся до конца кадра путь по всем координатам); скорость (номинальное и фактическое значения, погрешности скорости и погрешности контура); входы-выходы (состояния интерфейса); таблица корректоров (инструмента, подачи, частоты вращения шпинделя); смещение (начала отсчета). В полном объеме глав индикации имеется 27 различных по форме и содержанию страниц, которые можно «перелистывать» с помощью клавиши *2* смены изображения.

Помимо дисплея имеется универсальный индикатор *6*, на котором переключателем *4* выбирают для визуализации номинальный путь в кадре (соответственно адресу, установленному переключателем *7*), путь из промежуточной памяти, текущее положение.

Поле *5* световой индикации информирует оператора об основных состояниях системы управления: согласование приводов в системе координат выполнено; общая готовность; выполнение цикла; прекращение подачи; останов устройства ввода; конец программы; останов программы; пропуск кадра; пробный пуск; выполнение программы; пошаговый ввод в наладочном режиме; подача в мм/мин или мм/об; дюймовая или метрическая система измерения; абсолютный или относительный отсчет; выдержка времени; базовые точки раздельно по пяти координатам (оси X, Y, Z и др.) достигнуты; воздействие на конечный выключатель «+» или «—»; ошибка в данных; повышенная температура; циклы; предупреждение о подходе к краю поля допуска по пяти координатам; выход из поля допуска на погрешность контура; недопустимая погрешность измерительной системы; переполнение памяти; инди-

кация работы программируемого интерфейса. На поле *5* имеются свободные места, куда путем программирования интерфейса можно вывести индикацию, специфическую для конкретного объекта.

Для некоторых станков панель дублируется и размещается на консоли или на подвесном пульте в рабочей зоне станка. Одной из форм дублируемой панели является ручной пульт, который подвешен к шкафу УЧПУ и связан с ним кабелем и который оператор может снять и держать перед собой.

Определенной особенностью *УЧПУ модели FANUC 6M* (рис. 2.29) является дисплей, обеспечивающий одновременную индикацию как графической, так и алфавитно-цифровой информации. Сервисные возможности устройства очень высоки. Они позволяют программирование обработки по чертежу детали в режиме диалога с ручным вводом базовых данных.

Фирмой BOSCH (ФРГ) создан *комплект аппаратуры для управления гибкой автоматизированной линией* (ГАЛ). Основой системы управления является *программируемый контроллер (PC 600)*, который исполняет все основные функции ЭВМ и обеспечивает вычислительные функции, обработку всей внутренней и внешней информации, интерфейс средств управления и т. д. Контроллер выполнен в виде отдельного блока с большим числом разъемов. Система ЧПУ СС 300М обеспечивает (самостоятельно или совместно с контроллером) программное управление станочными модулями. Система допускает одновременное управление по восьми координатам (каналам). Дисплейный блок с функциональными клавишами позволяет вести программирование в любых режимах. Вследствие связи с ЭВМ верхнего уровня система может работать в режиме централизованной подачи УП.

Специальный символьный дисплейный блок (СД-блок) обеспечивает вывод в зоне центральной станции управления (ЦСУ) информации в условных символах о работе всех систем ГАЛ. Оперативная производственная информация выдается на цветной экран и позволяет в каждый данный момент оценить состояние всех участков и зон системы.

Видеокамеры (ВК), установленные на рабочих местах, позволяют получить на мониторе истинную ситуацию, в частности в зонах обработки деталей. Оператор ЦСУ по своему усмотрению может подключать видеокамеры к монитору.

Возможная схема размещения рассмотренных устройств для управления работой ГАЛ приведена на рис. 2.30.

ГЛАВА 3
КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ

3.1. КЛАССИФИКАЦИЯ И ИНДЕКСАЦИЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Классификация. Металлорежущие станки с ЧПУ можно классифицировать по различным признакам.

В зависимости от вида основных операций обработки станки с ЧПУ подразделяют на технологические группы: токарные; фрезерные; сверлильные; координатно-расточные; сверлильно-фрезерные (фрезерно-расточные); сверлильно-фрезерно-расточные; шлифовальные; многоцелевые (многооперационные); для электрообработки; разные.

По принципу управления движением, который определяется системой ЧПУ (СЧПУ), различают три группы станков: с позиционными СЧПУ; с контурными СЧПУ; с комбинированными СЧПУ.

По количеству используемого инструмента: одноинструмент-

ные, многоинструментные. Многоинструментными принято считать станки с числом инструментов до 12. Станки, обеспечивающие особо высокую концентрацию операций, имеющие более 12 инструментов и снабженные специальным магазином для размещения инструментов, относят к многоцелевым. Особенность многоцелевых станков [22] — наличие стола или делительного приспособления с периодическим или непрерывным (по программе) движением.

Подразделяют станки с ЧПУ и по ряду других признаков [18, 21].

Современным достижением является комплекс оборудования, носящий название модуль ГПС.

Примечание. Модуль ГПС в ряде источников именуется роботизированным технологическим комплексом, гибким производственным модулем, робототехническим комплексом, станочным комплексом и др.

В ГПС под модулем понимают обрабатывающую ячейку, состоящую из станка с ЧПУ, промышленного робота для загрузки и выгрузки деталей, устройств накопления и ориентации заготовок и деталей.

Индексация станков с программным управлением. В соответствии с классификацией систем программного управления (СПУ) принята следующая схема обозначения станков. К основному обозначению станка добавляют один из индексов: Ц — станки с цикловым управлением; Ф1 — станки с цифровой индексацией положения рабочих органов, а также станки с цифровой индексацией и ручным вводом данных; Ф2 — станки с позиционными СПУ; Ф3 — станки с контурными СПУ; Ф4 — станки со смешанными СПУ. Кроме того, введены индексы, отражающие конструктивные особенности станков, связанные с автоматической сменой инструмента: Р — смена инструмента поворотом револьверной головки; М — смена инструмента из магазина. Индексы Р и М записывают перед индексами Ф2, Ф3, Ф4. Например, РФ2 — станок с позиционной СПУ и револьверной инструментальной головкой; МФ3 — станок с контурной СПУ и инструментальным магазином и т. д. Индекс МФ4 многоцелевого станка модели 262ПМФ4 означает, что станок оснащен смешанной СПУ и магазином инструментов.

Некоторые модели станков с ЧПУ имеют и другую индексацию — буквенные индексы заводов-изготовителей с указанием порядкового номера. Например, ГФ1813-С1 — станок Горьковского завода фрезерных станков.

В станках с ЧПУ сохраняется индексация по точности, принятая для универсальных станков: нормальная точность — класс Н, повышенная точность — класс П, высокая точность — класс В, особая точность — класс А, особо высокая точность (мастер-станки) — класс С. Индекс класса точности (за исключением Н) в обозначении станка приводится после всех цифровых индексов, например: 6Б76ПМФ4 — многоцелевой станок повышенной точности.

3.2. ТИПАЖ СТАНКОВ

Типаж металлорежущих станков с ЧПУ характеризуется их технологическим назначением (для обработки определенных групп деталей: валов, фланцев, плит, кулачков, корпусных и других деталей), характером производства (мелкосерийное, серийное), требуемой точностью обработки (повышенной, высокой и особо высокой), а также возрастающими требованиями промышленности к станкам с ЧПУ по повышению производительности, надежности, удобства обслуживания и эксплуатации. Отличительной особенностью типажа является включение в него большого числа многоцелевых станков с ЧПУ, позволяющих комплексно обрабатывать различные детали за один установ.

Типаж металлорежущих станков с ЧПУ в силу интеграции операций, выполняемых на одном рабочем месте, претерпевает большие изменения, и из традиционных типажных групп, названных выше, выделены две основные группы:

для обработки тел вращения и для обработки корпусных деталей.

Токарные станки с ЧПУ по основным параметрам обработки, т. е. по отношению длины обработки L к диаметру D, можно разбить на патронные (для обработки деталей с $L/D=0{,}25\div1{,}0$) и центровые (патронно-центровые), обеспечивающие обработку деталей с $L/D=1{,}0\div10$ и выше.

В типаж токарных станков с ЧПУ включены как базовые модели, так и их модификации (с револьверной головкой, с инструментальным магазином, многосуппортные, двухшпиндельные и др.). Наиболее важной характеристикой токарных станков является схема размещения на станке инструментальных блоков. Эти схемы могут быть самыми различными, но в станках с ЧПУ должна быть обеспечена автоматическая смена инструментов. В традиционной схеме инструмент крепят в резцедержателе суппорта. Большую емкость обеспечивает схема с револьверной головкой на суппорте; эта головка может быть размещена за осью центров станка или выше нее при соосном или перпендикулярном размещении инструмента в головке. Для прутковых и патронных токарных станков применяют схемы, при которых инструмент располагается на оси шпинделя, при этом ось револьверной головки может быть перпендикулярной к основанию станка или к фронтальной его плоскости. Достаточно распространенными являются конструкции токарных станков с двумя револьверными головками, с револьверной головкой и суппортом, с двумя суппортами. В крупносерийном производстве применяют двух- и трехшпиндельные токарные станки с револьверными головками.

В ряде конструкций токарных станков с ЧПУ встречаются и нетрадиционные схемы размещения револьверных головок.

Новые отечественные токарные станки отвечают современному мировому техническому уровню по всем основным параметрам, технической характеристике, технологическим возможностям, точности обработки, жесткости конструкции, автоматизации смены инструмента и заготовок и др.

Фрезерные станки с ЧПУ выпускают с консольным столом размерами 250×1000, 320×1250, 400×1600 мм. Фрезерные станки с бесконсольным столом имеют повышенные жесткость и точность обработки. Ширина столов таких станков составляет ряд, мм: 250, 400, 500, 630, 1000. Из бесконсольных вертикально-фрезерных станков наиболее распространены станки с размерами стола 250×630 и 500×1070 мм, имеющие револьверную головку для автоматической смены инструмента.

Находят применение станки с ЧПУ и других типов [11, 29, 57 и др.]. Выпускаются станки, оборудованные лазерным инструментом. В частности, уже широко используются лазерные прошивочные станки с ЧПУ с шаговым приводом.

3.3. ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

Многоцелевые станки с ЧПУ позволяют выполнять множество операций с одной установкой детали на станке, что особенно выгодно при большом числе переходов. Станки классифицируют по технологическому назначению с учетом типа деталей (тела вращения, корпусные, плоские и др.), точности обработки (повышенной, высокой и др.) и серийности производства. По конструктивному признаку многоцелевые станки с ЧПУ делят на станки с горизонтальным шпинделем и поворотным столом для комплексной фрезерно-расточно-сверлильной обработки корпусных деталей (ширина стола 250—4000 мм); с вертикальным шпинделем для комплексной обработки плоских деталей (ширина стола 250—1000 мм); с продольным столом для комплексной обработки длинномерных деталей (ширина стола 400—2500 мм). Начат выпуск многоцелевых станков для обработки тел вращения.

Многоцелевые станки часто разрабатывают на основе фрезерных, расточных и сверлильных станков.

Из анализа обрабатываемых деталей установлено, что наиболее целесообразной является бесконсольная компоновка станка средних размеров с крестовым столом и с горизонтальным или вертикальным шпинделем, причем в первом случае станки часто оснащают встроенным поворотным столом. Эта компоновка обладает повышенной жесткостью по сравнению с консольным расположением стола, что обеспечивает повышение точности обработки, а постоянное расположение стола по высоте дает возможность оснащать станки с ЧПУ устройствами для автоматической смены заготовок.

Многоцелевые станки с ЧПУ в одно- и двустоечном исполнениях с продольным движением стола обеспечивают обработку заготовок повышенной длины. Эта компоновка также имеет повышенную жесткость по сравнению со станком, обладающим крестовым столом.

Современный технический уровень выдвигает повышенные требования к производительности труда и технологическим возможностям станков с ЧПУ за счет повышения (у моделей последних выпусков) жесткости станка, мощности главного привода (в 1,5 раза), верхнего предела частоты вращения шпинделя (до 4000 об/мин), скоростей рабочих подач (до 3000 мм/мин) и быстрых ходов (до 10 м/мин), за счет снижения времени автоматической смены инструмента (до 3—5 с), применения многоинструментальных головок, механизированной загрузки заготовок, высокомоментных двигателей постоянного тока с высокоэнергетическими магнитами (такие двигатели обеспечивают хорошее динамическое качество приводов подач, особенно при переходных процессах), за счет применения контурных УЧПУ, в том числе устройств с интегральными элементами, а также электронной автоматики взамен релейной, за счет использования современных датчиков типа индуктосина в целях обратной связи, применения фрезерных, расточных, шлифовальных бабок различного технологического назначения, гидростатических направляющих и передач червяк — рейка для тяжелых станков с ЧПУ.

Большинство моделей многоцелевых станков построены по схеме с горизонтальным расположением шпинделя.

Из отечественных моделей на предприятиях страны наиболее распространены многоцелевые станки Ивановского станкостроительного объединения им. 50-летия СССР, имеющие отличные технические характеристики. Станки выпускаются в широком диапазоне типоразмеров, в том числе ряд станков поставляются как модули ГПС.

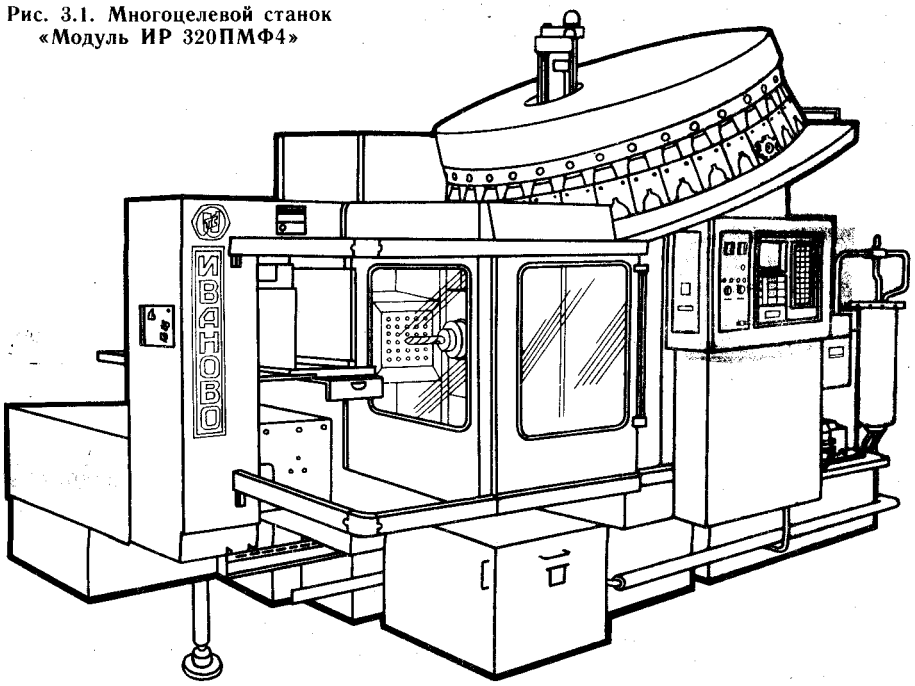
Многоцелевые станки для обработки корпусных деталей

«Мини-центр ИР 200АМФ4». Этот прецизионный станок высокого технического уровня — одна из современных моделей станков отечественного производства. Он предназначен для комплексной обработки сверхсложных корпусных деталей малых размеров. На станке кроме традиционных видов работы можно производить шлифование, в том числе по контуру с линейной и круговой интерполяцией.

Техническая характеристика

Размер рабочей поверхности стола, мм	200×200
Количество позиций поворота стола	360 000 через 0,001°
Конус шпинделя (ISO)	№ 30
Частота вращения шпинделя, об/мин:	
обычное исполнение	70—7000
специальное исполнение	70—12 000
Мощность привода вращения шпинделя, кВт	5,5
Скорость быстрых установочных перемещений, мм/мин	12 000—15 000
Количество инструментов в магазине, шт.	20
Класс СЧПУ	CNC
Число управляемых координат, шт.:	
обычное исполнение	4
специальное исполнение	5
Габаритные размеры станка, мм (ориентировочно)	1600×1700×1600
Масса станка, кг (ориентировочно)	4500

Рис. 3.1. Многоцелевой станок «Модуль ИР 320ПМФ4»



Станок оснащен современными системами диагностики и контроля, его уровень автоматизации делает станок пригодным для работы в условиях безлюдной технологии в составе ГПС. ГПС на базе «Мини-центров ИР 200АМФ4» с моечным устройством, накопителями заготовок и готовых деталей и транспортным средством в виде промышленного робота дает потребителю комплексное решение организационных и технологических проблем при обработке малых корпусных деталей.

«Модуль ИР 320ПМФ4». Этот современный станок (рис. 3.1) предназначен для высокопроизводительной обработки малогабаритных корпусных деталей сложной конфигурации, обладает рядом принципиально новых конструктивных решений и обеспечивает качественно новые технологические методы изготовления деталей. В станке предусмотрена автоматическая смена инструмента, он имеет вертикально-подвижную шпиндельную бабку, продольно-подвижный шпиндель, стол с вертикальным расположением рабочей поверхности. Все подвижные узлы станка перемещаются по закаленным направляющим на роликовых плоских опорах качения.

Инструментальный магазин емкостью 36 инструментов расположен на торце стойки, безманипуляторный. Выбор инструментов — в любой последовательности. Деталь обрабатывается на вертикальном столе размерами 320×320 мм с четырех сторон за один установ, смена обрабатываемых деталей происходит автоматически. Автоматическое устройство накопителя столов-спутников на четыре позиции установлено перед станком.

Рабочие органы станка имеют надежное ограждение, что позволяет значительно повысить уровень безопасности обслуживающего персонала, рационально организовать сбор и отвод стружки и смазочно-охлаждающей жидкости, а также создать дополнительную звуковую изоляцию.

Для охлаждения инструмента предусмотрены восемь отверстий, расположенных в корпусе шпинделя, через которые на инструмент подается смазочно-охлаждающая жидкость. Ее расход достигает 150 л/мин в зависимости от режимов резания. При этом охлаждаются шпиндельный узел и деталь, а также удаляется стружка.

На станке можно производить токар-

ные операции с помощью ускоренного вращения стола. Широкий диапазон частот вращения шпинделя (до 5000 об/мин) и скоростей подач позволяет выбрать наиболее оптимальный режим обработки деталей из различных конструкционных материалов: от легких цветных сплавов до высокопрочных, легированных, вязких и жаропрочных сталей. Конструкция станка позволяет осуществлять три режима вращения стола:

1) режим позиционирования — поворот стола на любой угол с точностью ±5 угловых секунд;

2) режим непрерывной подачи для кругового фрезерования — частота вращения стола до 10 об/мин;

3) режим токарной обработки — частота вращения стола 200 об/мин.

Станок «Модуль ИР 320ПМФ4» имеет компактную конструкцию, он оснащен СЧПУ класса CNC.

Станок ИР 500МФ4. Этот станок (рис. 3.2) предназначен для обработки корпусных деталей средних размеров в условиях серийного производства. Мощный шпиндель *3* и шпиндельная бабка *4* станка размещены не сбоку, как у горизонтально-расточного станка, а в проеме стойки *7*, где бабка перемещается по направляющим, охватывающим ее с двух боковых сторон. Такая компоновка, сочетающаяся с массивной, усиленной ребрами жесткости стойкой портального типа, обеспечивает высокую жесткость шпиндельного узла и точность его линейных перемещений.

На поворотный стол *1* станка можно устанавливать заготовку массой до 7 т. Поворачивая стол, можно изменять угловое положение заготовки по отношению к шпинделю и обрабатывать ее с четырех сторон при одном установе. Позиционно-контурная СЧПУ позволяет выполнять разнообразную обработку плоских и фасонных поверхностей и отверстий, включая контурное фрезерование с линейной и круговой интерполяцией. Плоскости можно обрабатывать торцовыми фрезами диаметром до 160 мм или концевыми фрезами. Возможно сверление отверстий в стали средней твердости при диаметрах до 40 мм, растачивание до

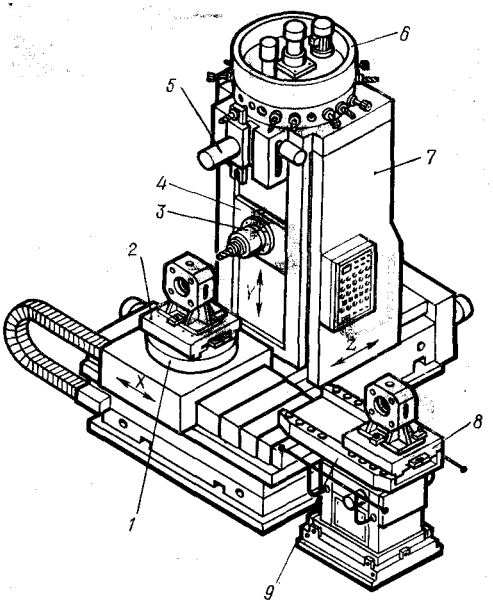


Рис. 3.2. Многоцелевой станок ИР 500МФ4

160 мм, нарезание резьб до М20 метчиками, закрепленными в специальных патронах. Наибольшие перемещения подвижных узлов составляют: шпиндельной бабки (по оси *Y*) — 800 мм; стола (по оси *X*) — 800 мм; стойки (по оси *Z*) — 500 мм.

Координаты положения нуля станка: $X=400$ мм (расстояние от оси поворота стола до оси шпинделя); $Y=600$ мм (расстояние от плоскости стола до оси шпинделя); $Z=620$ мм (расстояние от оси поворота стола до торца шпинделя).

Дискретность задания координатных размеров 0,002 мм. Перемещения шпиндельной бабки, стола и стойки контролируются датчиками обратной связи — индуктосинами или (на некоторых модификациях станка) резольверами.

Режущие инструменты, закрепленные вне станка в унифицированных инструментальных оправках, размещаются при наладке в гнездах инструментального магазина *6*. Над каждым гнездом имеется номер (в станке принята система кодирования гнезд магазина). Для передачи инструментов из магазина в шпиндель и обратно служит двухзахватный автооператор *5* (на рисунке показан момент,

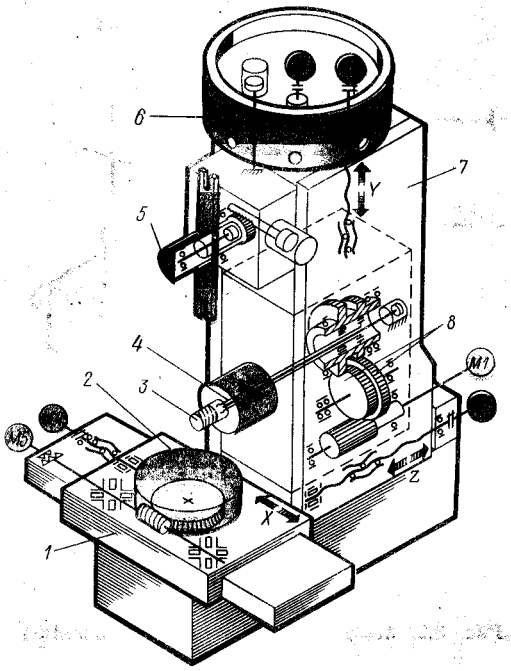


Рис. 3.3. Кинематическая схема станка ИР 500МФ4

когда верхний захват извлек нужный инструмент из магазина).

Для сокращения вспомогательного времени на установку и снятие заготовок имеется двухпозиционный поворотный стол *9*.

Заготовки закрепляют в приспособлениях-спутниках. Один из спутников (*2*) находится на основном поворотном столе станка вместе с обрабатываемой заготовкой. На другом спутнике *8* в это время устанавливают следующую заготовку. После окончания обработки первой заготовки она автоматически передвигается вместе со спутником *2* вправо, на двухпозиционный стол *9*. После этого стол *9* поворачивается на 180° и спутник *8* со «своей» заготовкой поступает на стол *1* в рабочую зону станка, где начинается обработка заготовки. Обработанная деталь снимается со спутника *2*, и вместо нее устанавливают и закрепляют следующую заготовку.

Станок оснащен УЧПУ высокого класса.

Главное движение у станка (рис. 3.3) — вращение шпинделя *4* с закрепленным в нем инструментом *3*. Движения подачи: по оси X — перемещение стола с заготовкой; по оси Y — вертикальное перемещение шпиндельной бабки; по оси Z — горизонтальное перемещение стойки.

Вращение шпинделя *4* обеспечивается электродвигателем *М1* постоянного тока типа 2ПФ-80Г мощностью 14 кВт (номинальная частота вращения 1000 об/мин; номинальное напряжение 220 В). Частоту вращения шпинделя изменяют путем регулирования двигателя и с помощью двухступенчатой коробки скоростей. Для переключения механических диапазонов служит подвижный блок зубчатых колес *8*, который может занимать два положения, соответствующие первому и второму диапазону. Блок перемещается гидроцилиндром и вилкой (на схеме не показаны). При включении первого механического диапазона можно получить частоту вращения шпинделя 21,2—1000 об/мин при большом постоянном крутящем моменте (700 Н·м). Второй диапазон обеспечивает частоту вращения шпинделя 1000—3150 об/мин при постоянной мощности 14 кВт. Направление вращения изменяют реверсированием электродвигателя.

Шпиндельная бабка, стойка *7* и стол *1* перемещаются одинаковыми высокомоментными электродвигателями *М2—М4* с возбуждением от постоянных магнитов. Мощность каждого двигателя 2,8 кВт (при $n = 1000$ об/мин).

Установленные электродвигатели позволяют без применения коробки передач получать рабочую подачу по любой из координат в пределах 1—2000 мм/мин и быстрые установочные перемещения со скоростью 8000 или 10 000 мм/мин (последняя зависит от принятой СЧПУ). Наибольшая сила подачи стола и стойки 8 кН, шпиндельной бабки — 4 кН. Такие же электродвигатели использованы для вращения поворотного стола *2* (двигатель *М5*) и инструментального магазина *6* (двигатель *М6*). Станок имеет автооператор *5*.

Модификации станков ИР 500ПМФ4 снабжены многоместными круговыми накопителями столов-спутников. Такой накопитель может иметь до восьми позиций и обеспечивать загрузку станка деталями

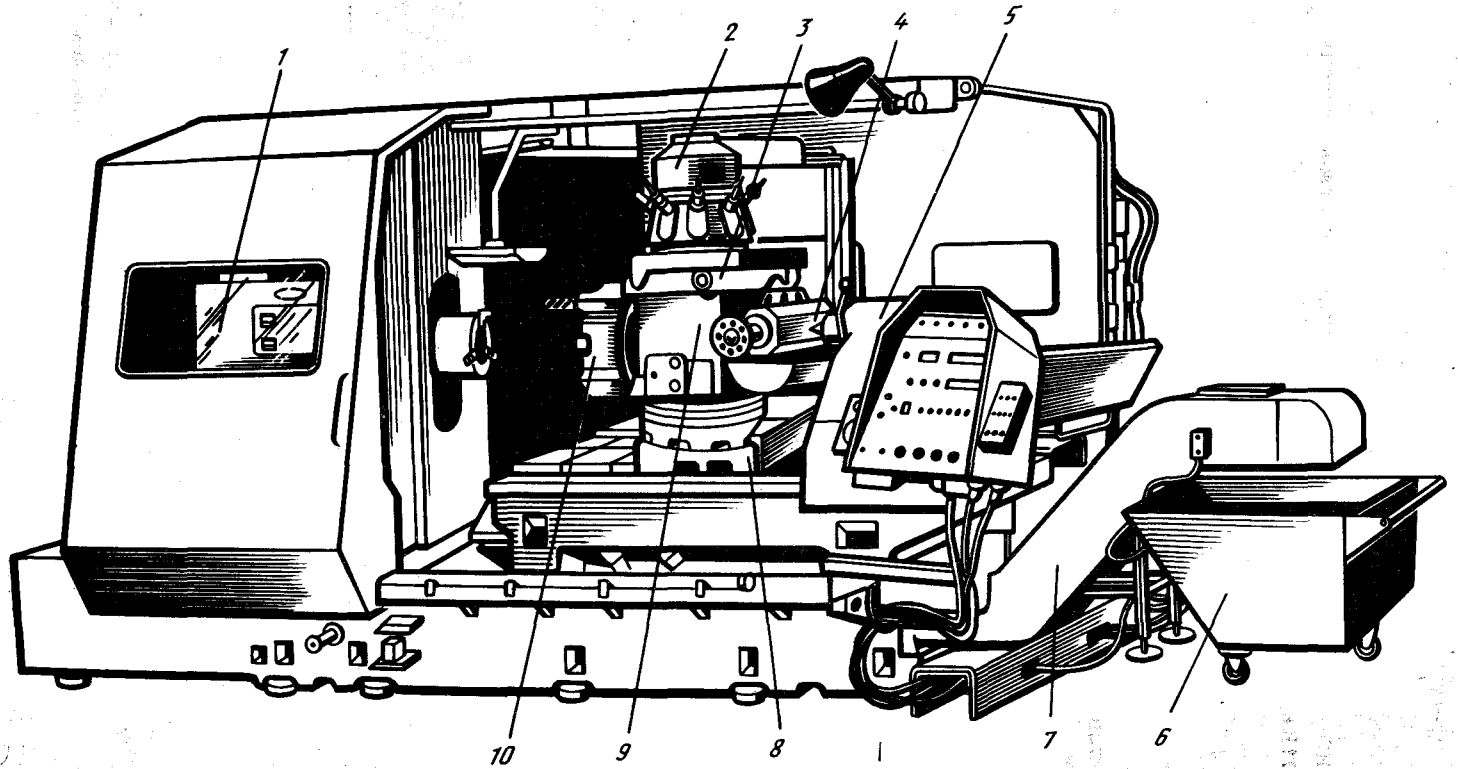


Рис. 3.4. Многоцелевой токарный станок LM70-AT

на смену. Кроме того, наличие накопителя позволяет просто вписать станок в ГПС.

Токарные многоцелевые станки (для обработки тел вращения)

Токарные многоцелевые станки получили меньшее распространение, чем станки для обработки корпусных деталей, но их выпуск и освоение стремительно растет. Такие станки помимо токарной обработки валов и фланцев позволяют за один установ детали обрабатывать отверстия, параллельные или перпендикулярные по отношению к оси вращения заготовок, фрезеровать пазы и т. д.

Станок LM 70-АТ. Станок показан на рис. 3.4. Шпиндельная бабка *1* может перемещаться по вертикальным направляющим. Благодаря этому заготовка способна изменять положение относительно инструментального шпинделя *4*. В шпиндель *4* с помощью автооператора *3* передаются инструменты, закрепленные в оправках, находящихся в магазине *2*. В позиции смены инструмента оправка опрокидывается вместе с гнездом магазина в горизонтальное положение. Автооператор, поворачиваясь относительно горизонтальной оси, захватывает одновременно оправки обоих инструментов, вынимает их из гнезда магазина и шпинделя и меняет местами. Магазин, автооператор и инструментальный шпиндель установлены на массивном корпусе *9*, размещенном на суппорте *8* станка. Корпус может поворачиваться вокруг вертикальной оси. Это нужно, например, для сверления инструментальным шпинделем центрального и параллельных ему отверстий в заготовке, а также для выполнения сверлильных, фрезерных и других переходов при различном положении инструментов по отношению к заготовке. Шпиндель станка, несущий заготовку, имеет (кроме основного привода вращательного движения) дополнительный привод для поворота на заданный угол.

Инструменты, предназначенные для выполнения типично токарных работ — обтачивания, растачивания и т. п., закрепляют в гнездах револьверной головки *10*, имеющей горизонтальную ось поворота и размещенной на корпусе *9* со стороны, противоположной инструментальному шпинделю.

На станке можно выполнять токарную обработку заготовок типа валов, устанавливаемых в патроне с опорой на задний центр *5* или в центрах. В этом случае с помощью инструментов, закрепляемых в шпинделе *4*, можно обрабатывать шпоночные канавки, пазы, отверстия и другие элементы, расположенные вдоль вала или на его образующей. Для удаления и сбора стружки служат скребковый конвейер *7* и тележка *6*.

3.4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОДУЛЕЙ

Гибкий производственный модуль (ГПМ) — единица технологического оборудования, оснащенная устройствами для автоматической смены инструмента и заготовок, удаления отходов, контроля и подналадки технологического процесса и управляемая с помощью сменяемых программ, что обеспечивает переналадку на заданный объем производства определенного класса объектов. Особенность ГПМ — его приспособленность для объединения с другими ГПМ в составе гибких производственных линий и участков [8, 52, 54].

Модуль, объединяющий станок с ЧПУ, транспортно-накопительную систему, промышленный робот и управляемый средствами вычислительной техники, является следующей после многоцелевых станков ступенью интеграции изготовления деталей, будучи основой ГПС.

Несколько объединенных модулей составляют определенный автоматизированный технологический комплекс.

Отечественная промышленность серийно выпускает модули различных типов, обеспечивающие автоматическое выполнение различных операций.

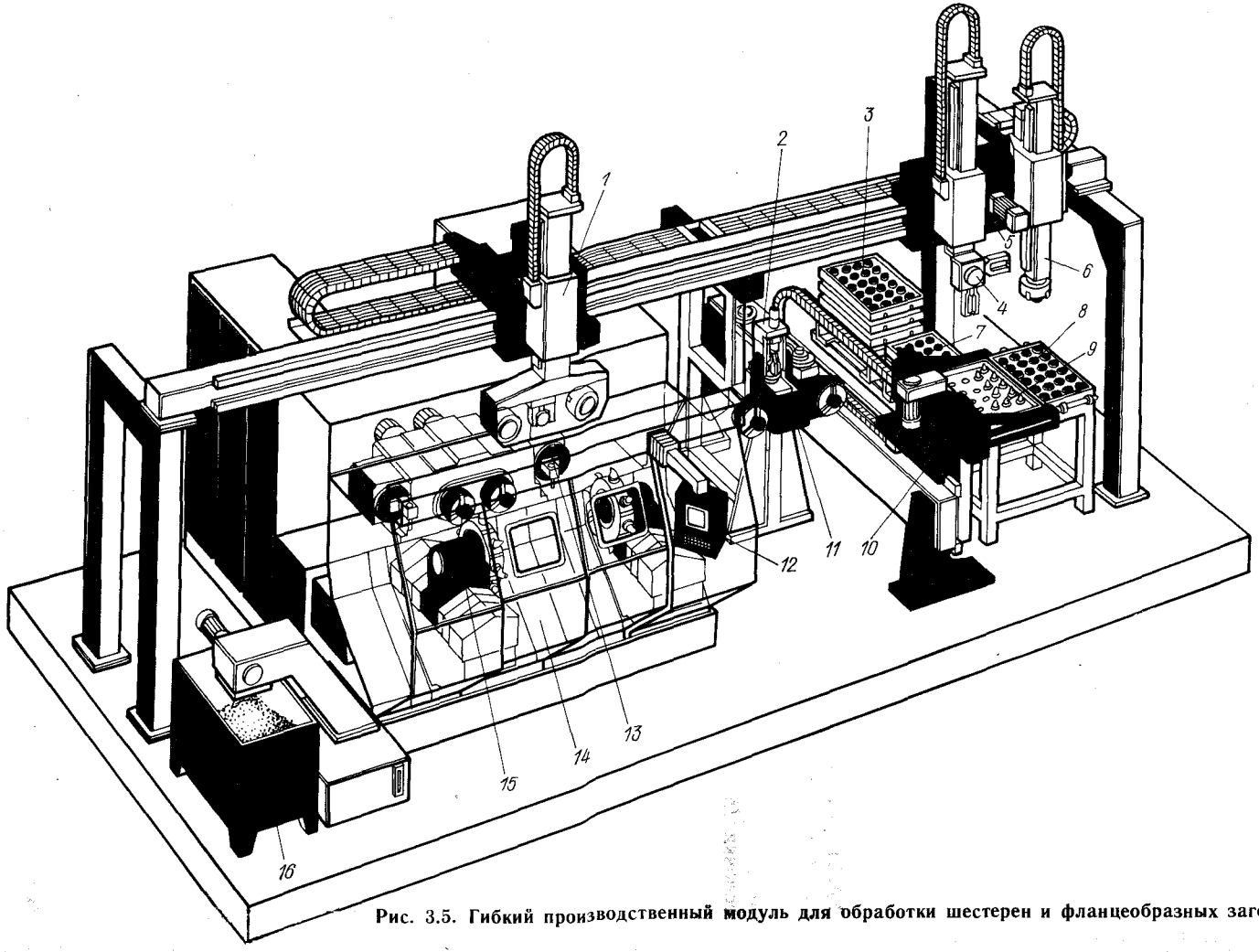


Рис. 3.5. Гибкий производственный модуль для обработки шестерен и фланцеобразных заготовок

Роботизированный технологический комплекс (модуль) РРТК-3Д31. Комплекс предназначен для токарной обработки деталей типа тел вращения дисков, колец) в цехах машиностроительных заводов при серийном и мелкосерийном производстве. Комплекс может работать самостоятельно или в составе автоматизированного участка или цеха, эксплуатироваться в различных климатических условиях.

Состав комплекса: токарный патронный полуавтомат с ЧПУ модели 1П756ДФ331; автоматический манипулятор агрегатной конструкции модели МА80Ц2509. Комплекс оснащен УЧПУ «Электроника НЦ 80-31», которая обслуживает станок и манипулятор.

Гибкий производственный модуль ЕМАГ. Этот модуль (рис. 3.5) построен на базе двухшпиндельного токарного автомата МСЦ12 с ЧПУ. Станок *14* имеет две восьмипозиционные револьверные головки *15*, позволяющие одновременно обрабатывать детали в двух шпинделях. За каждый такт со станка выходит деталь, обработанная с двух сторон. Если требуется только односторонняя обработка, то на станке можно одновременно обрабатывать две детали.

Модуль имеет специальное лазерное устройство *2* для автоматизированного клеймения деталей (нанесения любых графических знаков). Детали для нанесения надписей устанавливают в позиции *11* (позиции запаса изделий).

Портальный манипулятор *1* с двумя зажимными устройствами обеспечивает установку заготовок в патроны и съем изготовленных деталей. Между зажимными устройствами имеется поворотное устройство, которое во время перемещения заготовки от первого шпинделя ко второму поворачивает ее на 180°.

Портальная тележка *5* снабжена двумя манипуляторами. Один из них (*4*) обладает двумя схватами и служит для автоматической замены инструмента в револьверных головках. Требуемый инструмент берется из гнезд накопителя (палеты) *9* с 32 местами. После замены инструмента на станке изношенный инструмент укладывается в освободившееся гнездо палеты. Другой манипулятор (*6*) принимает детали из позиции *11* (после того как они прошли клеймение лазерным лучом) и транспортирует их в палету готовых изделий *8* или забирает заготовки из этой палеты.

В системе имеется специальный штабелер *10* с СЧПУ, который перемещает в требуемые положения палеты с заготовками, инструментом и готовыми деталями, забирая их из зон предварительной подготовки *3* и *7*.

В процессе работы станка с помощью измерительного устройства *13* проверяется степень изнашивания режущего инструмента по осям *X* и *Z*. Для этого каждый инструмент периодически подводится к измерительному щупу, защищенному от стружки и СОЖ. Данные контроля являются основанием для подачи команд на смену затупившегося инструмента.

Образующаяся при обработке деталей стружка транспортируется в стружкоприемник *16*.

Все управление модулем осуществляется с пульта *12* УЧПУ. При необходимости модуль может быть состыкован с другими модулями.

Гибкая линия с транспортными тележками и единой системой управления. Из гибких производственных модулей могут быть составлены гибкие производственные линии или участки по различным схемам [8, 52, 54]. В одном из вариантов (рис. 3.6) многоцелевые станки с ЧПУ, имеющие поворотные столы-накопители, объединены в единую линию транспортной системой и системой управления.

Многоцелевой станок *3* с магазином инструментов *1* и устройством его замены *2* управляется УЧПУ, смонтированным в шкафах *5*. УЧПУ состоит из программируемого контроллера и дисплейного блока. Заготовка на стол *11* станка подается закрепленной на столе-спутнике *19* и обрабатывается на нем. Рядом со станком размещен восьмипозиционный круговой накопитель *18*, на позициях которого находятся столы-спутники с деталями. Стол-спутник с деталью передается от накопителя на стол станка *11* с помощью погрузочно-разгрузочного поворотного стола *21*, который сначала

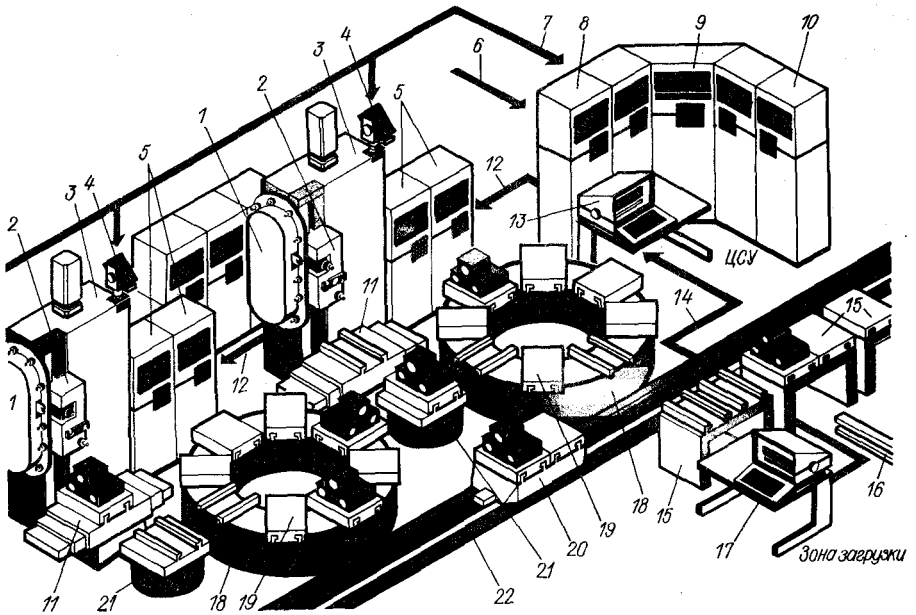


Рис. 3.6. Гибкая производственная линия на базе модулей со столами-накопителями

разворачивается в сторону накопителя и принимает стол-спутник. Далее стол *21* поворачивается направляющими в сторону стола *11* и подает стол-спутник на позицию обработки. После обработки детали погрузочно-разгрузочный стол возвращает стол-спутник на накопитель.

Для обеспечения накопителей столами-спутниками (с заготовками), передачи этих столов от накопителя одного станка к накопителю другого, приема столов-спутников с обработанными деталями и транспортирования их в зону загрузки служит двухпозиционная автоматическая транспортная тележка *20*. Перемещаясь вдоль направляющих *22*, тележка подходит к накопителю и передает (принимает) стол со спутником. За один ход тележка может загрузить две позиции накопителей заготовками и принять две обработанные детали или передать две заготовки с одного накопителя на другой.

Обработка начинается с зоны загрузки. Сюда из главной складской системы тележки *16* подают заготовки, закрепленные (в зоне склада) на столах-спутниках. Исходная накопительная система *15* позволяет создать запас заготовок. Эта же система служит зоной промежуточного складирования обработанных деталей, которые на столах-спутниках доставляются сюда от станочных круговых накопителей тележкой *20*. Далее изготовленные детали из зоны промежуточного складирования тележками *16* доставляются в главную складскую систему. Тележки *16* при необходимости подают к станкам из складской системы также и столы-спутники с палетами режущего инструмента. Доставленные к станкам, они позволяют автоматически заменять режущий инструмент в магазинах станков.

Весь рассмотренный комплекс управляется центральной системой управления (ЦСУ), состоящей из программируемого контроллера *8* с дисплеем *13*, символьного контрольного дисплейного устройства *9* и монитора *10*. Программируемый контроллер *8* решает общие вопросы программирования работы всего комплекса, ведет сбор и анализ информации о работе всех систем, хранит необходимые подпрограммы, обеспечивает сопряжение отдельных управляющих систем комплекса и координирует их работу, передает данные на ЭВМ высшего

уровня и т. д. Контроллер *8* линией связи *12* (шиной) связан с УЧПУ всех модулей, а линией связи *14* (шиной) — с блоком *17* системы управления зоной загрузки и далее с главной складской системой. Кроме того, на программируемый контроллер выходит линия связи (шина) *6* с ЭВМ высшего уровня. Используя дисплей *13* с клавиатурой, оператор комплекса всегда может вмешаться в работу того или иного элемента. Естественно, что программируемый контроллер не решает многих частных задач по обработке деталей и их транспортированию. Все эти задачи, включая работу кругового накопителя, решает «местное» управление — блоки УЧПУ, а работу элементов зоны загрузки обеспечивает блок управления *17*.

Рассматриваемый комплекс обычно работает в автоматическом режиме. Но это не исключает важной роли оператора, рабочее место которого расположено в зоне ЦСУ. Помимо информации, фиксируемой экраном управляющего дисплея *13* и печатающим устройством, к оператору непрерывно поступают данные от контрольного устройства *9*. Это может быть условная символьная информация о функционировании всех элементов комплекса в целом. Выведенные на цветной дисплей данные показывают в каждый данный момент положение всех заготовок, деталей, транспортных тележек и др. Детально рассматривать зоны обработки по выбору оператора можно на экране монитора *10*, который видеолинией *7* связан со всеми видеокамерами *4*. Такие камеры установлены возле каждого станка, они позволяют видеть в случае надобности весь процесс обработки детали по УП.

Большое количество информации позволяет оператору быстро ликвидировать отдельные возможные сбои систем и их неполадки.

Отечественная промышленность выпускает ряд специализированных многостаночных комплексов и участков.

Например, комплексно-автоматизированный участок «Талка 500» создан на базе многоцелевых станков ИР 500МФ4 и ИР 800МФ4 и транспортной системы ТС-500. В состав участка входят: четыре многоцелевых станка модели «Модуль 500» с автоматизированной системой замены инструмента в инструментальных магазинах, один многоцелевой станок модели ИР 800МФ4, транспортная система ТС-500, автоматизированный склад типа ПЖА-119, восемь консольно-поворотных кранов типа ОМ-756, четыре стенда для сборки приспособлений на столах-спутниках, сорок восемь столов-спутников, управляющий вычислительный комплекс на базе ЭВМ СМ-2. Зона резания имеет ограждение. Предусмотрена система уборки стружки.

Техническая характеристика участка

Размеры обрабатываемых корпусных деталей, мм	$400\times400\times400$; $800\times800\times800$
Наибольшая масса обрабатываемой детали, кг	500
Емкость автоматизированного склада, ячеек	176
Класс точности станков	П
Площадь, занимаемая участком, м^2	432

Комплексно-автоматизированный участок типа «Талка 500» предназначен для обработки корпусных деталей в условиях мелкосерийного производства. Станки внутри участка связаны транспортной системой ТС-500, позволяющей располагать станки как последовательно, так и параллельно.

Транспортная система доставляет заготовки на столах-спутниках от станции загрузки к многоместным накопителям станков, а от них — обработанные детали на станции разгрузки. Она же доставляет комплекты режущего инструмента в магазины станков в автоматическом цикле.

Гибкая линия с автоматической системой замены инструмента. В такой линии (рис. 3.7) эффективность работы станков особенно высока. Многоцелевые станки *6* тыльной стороной обращены к многоярусному инструментальному складу *2*. Вдоль стеллажей склада, на которых в определенных гнездах размещен режущий инструмент, по рельсовому пути передвигается программируемый робот *3*. По команде управляющей ЭВМ участка робот выполняет перезагрузку цепных магазинов *5* станков с ЧПУ. Робот забирает из магазинов отработанный инструмент, а устанавливает пригодный или необходимый для очередной работы.

Таким образом, в любой момент цепные магазины станков могут быть загружены (или перекомплектованы) необходимым работоспособным инструментом, комплект которого зависит от вида

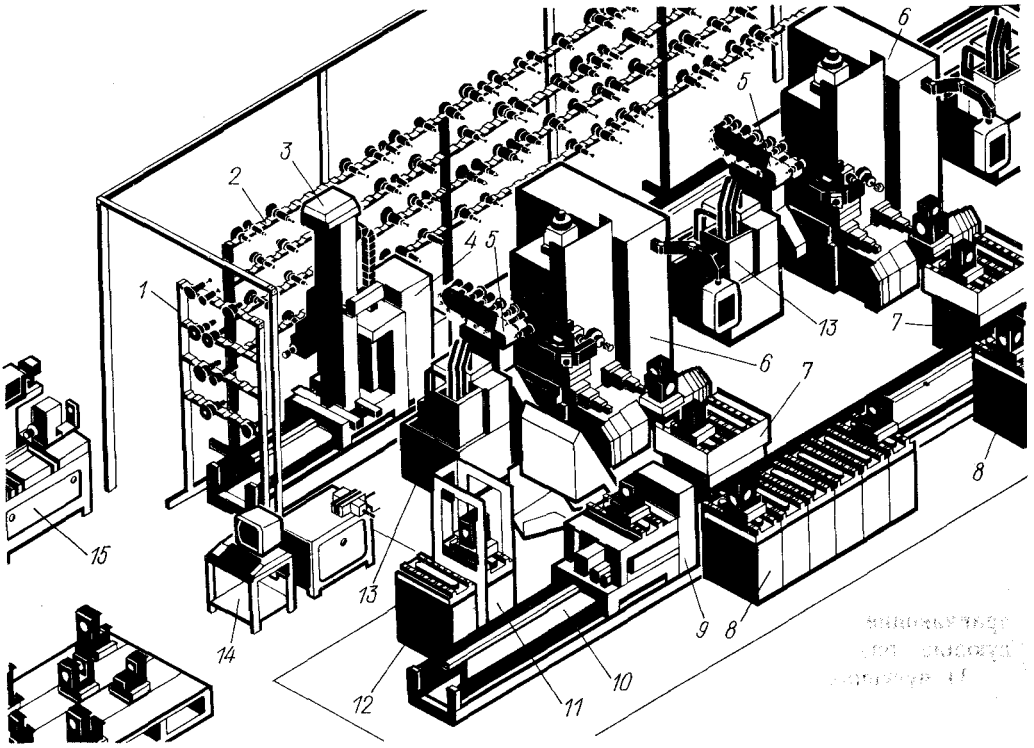


Рис. 3.7. Гибкая производственная линия с единой автоматической системой замены инструмента

детали и характера операций по ее обработке. Отработанный работоспособный инструмент робот, взяв его в магазине станка, устанавливает в нужную ячейку стеллажа инструментального магазина. Изношенный инструмент робот отправляет в зону его приемки в конце инструментального склада (на рисунке не показано). Инструментальный склад пополняется новым инструментом через промежуточный стеллаж *1*. В гнезда этого стеллажа рабочий-наладчик укладывает комплекты, в которые входят режущий инструмент и базовая (типовая) оправка, предварительно проверенные на полуавтоматической инструментально-контрольной установке *15*. При контроле инструмента на этой установке по линии связи в управляющую ЭВМ передаются данные о фактических размерах и вылетах каждого инструмента, а также код каждой базовой оправки. В дальнейшем эта информация передается в УЧПУ *4*, которое вводит в задаваемые программы обработки деталей соответствующие коррекции.

Заготовки в данной автоматической линии подаются через посты загрузки-выгрузки *8*. С этих постов, оснащенных столами, заготовки на столах-спутниках перегружаются на тележку *9*, которая по рельсовому пути *10* перемещается вдоль всех станков. Состыкованная со столом-накопителем *7* тележка может передать на стол станка заготовку и принять обработанную деталь. Эту деталь вместе со столом-спутником тележка автоматически транспортирует к другому станку (на стол *12* контрольно-измерительного автомата *11*) или возвращает на один из столов поста загрузки-выгрузки. Автоматизированная транспортно-складская система (на рисунке не показана) забирает с постов *8* готовые детали и доставляет на эти посты новые заготовки.

Рассматриваемая линия имеет единую систему сбора и удаления стружки от станков. Система предусматривает на-

копление стружки в пристаночных бункерах *13*, очистку СОЖ от стружки, возврат СОЖ в баки станков и удаление стружки от каждого бункера по единой (скрытой ниже уровня поля) транспортно-стружечной системе участка.

Оперативный пульт управления *14* позволяет быстро устранять возможные сбои в работе отдельных систем или управлять отдельными системами (например, загрузкой инструментального склада, работой контрольно-измерительной машины) индивидуально, независимо от работы всех остальных систем.

3.5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТАНКОВ С ЧПУ

Механические базовые узлы станков с ЧПУ изготовляют с повышенной точностью, жесткостью, виброустойчивостью, надежностью, так как станки с ЧПУ, будучи дорогостоящим автоматизированным оборудованием, должны работать более двух смен в сутки.

Станины. Станины станков с ЧПУ являются основными базовыми элементами, поскольку на них размещают направляющие станков. Встречаются следующие разновидности этих деталей:

1) чугунные станины, оснащенные стальными закаленными и шлифованными направляющими (как роликовыми направляющими качения, так и гидростатическими);

2) сварные станины и стойки, имеющие закаленные направляющие, чаще всего прямоугольной формы; специальная технология сварки и термообработки обеспечивает сохранение первоначальной точности на длительное время;

3) станины токарных станков с ЧПУ, имеющие вертикальное или наклонное расположение плоскости направляющих для обеспечения схода стружки.

Направляющие. Различают направляющие скольжения, качения и комбинированные. В станках с ЧПУ наибольшее распространение получили направляющие качения и комбинированные. В таких направляющих используют стальные закаленные приворачиваемые массивные планки, по которым перемещаются предварительно нагруженные роликовые опоры (направляющие качения с циркулирующими роликами).

Роликовые опоры (их иногда называют танкетками) монтируют на станине *11* с помощью различных регулирующих устройств (рис. 3.8). Опора *1* закреплена на клине *2*, который может смещаться в продольном направлении с помощью двух винтов *15*. Вторая опора *6*, расположенная с другой стороны станины, может перемещаться с помощью винта *8*, связанного с клиновой опорой *5*. Клинья *2* и *5* опираются на клиновые опоры *3* и *7*, которые с боковых сторон ограничены планками *14* и *9* и опираются на штифты *10*, *13* со сферической головкой. Между опорами размещена прокладка *4*.

После окончательной выверки узла в сборе (регулирования положения всех опор) полости *12* заливают жидкой быстротвердеющей пластмассой. Когда она затвердеет, путем перемещения клиньев *2* и *5* создается предварительный натяг, обеспечивающий жесткость узла.

К недостаткам направляющих качения можно отнести некоторое удорожание конструкции, а также пониженную демпфирующую способность в направлении перемещений. Для устранения последнего недостатка в станках используют комбинированные направляющие.

При обработке деталей перемещающиеся элементы станков в ряде случаев необходимо закреплять. Это осуществляется различными зажимными устройствами. Достаточно оригинальным является трубчатый зажим (рис. 3.9), используемый в станке 2623ПМФ4. Под действием давления масла трубки *1* деформируются и через планки *2* создают натяг, фиксирующий исполнительный орган станка *3* относительно направляющих *7*. Трубчатый зажим обеспечивает быстродействие, жесткость фиксации, надежность, исключает задиры.

В станках с ЧПУ находят достаточно широкое применение направляющие других типов: гидростатические, аэростатические и др. [22, 29].

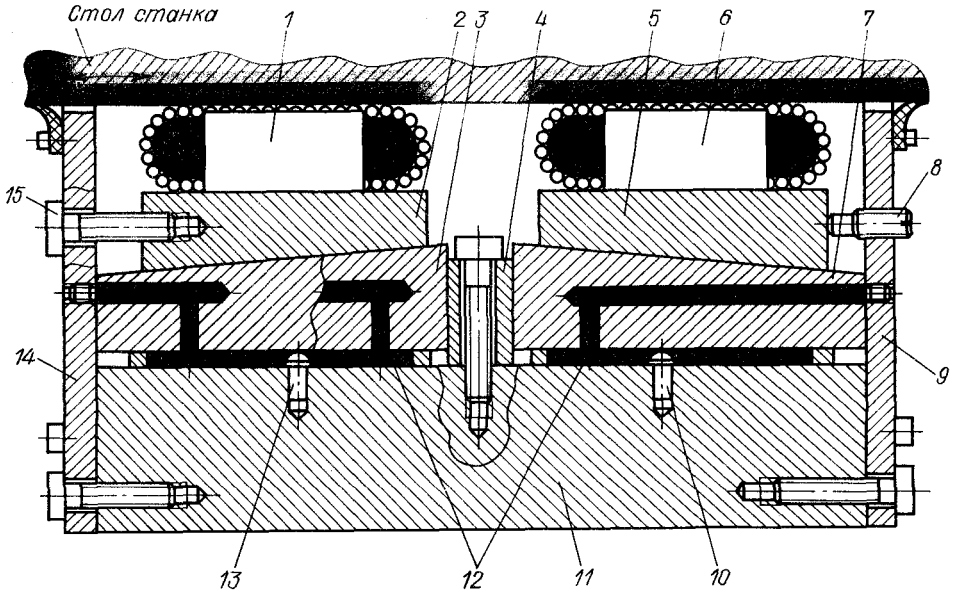


Рис. 3.8. Схема установки роликовых опор на станине

Главный привод. К главному приводу станков с ЧПУ предъявляют требования повышенной мощности и бесступенчатого регулирования скорости при управлении от УЧПУ. Используют различные типы главного привода: с асинхронным электродвигателем; с регулируемым электродвигателем постоянного тока; с электродвигателем, применяемым совместно с гидроусилителями.

Шпиндель. К шпинделю станка с ЧПУ предъявляют требования повышенной жесткости и высокой точности вращения. Особое значение в шпиндельных узлах станков уделяется теплоотводу, который осуществляется обычно специальной системой смазки и охлаждения.

Привод подач. Привод подач для станков с ЧПУ должен удовлетворять следующим требованиям: 1) иметь расширенный диапазон регулируемых подач — от 1 до 10 000 мм/мин; 2) обладать повышенной жесткостью кинематических цепей и плавностью хода, особенно при медленных перемещениях; 3) иметь повышенную долговечность и возможность дистанционного управления от УЧПУ.

Типы приводов подач, используемых в станках с ЧПУ:

привод от асинхронного двигателя через коробку подач (механический) с переключением от электромагнитных муфт;

привод от электродвигателя постоянного тока с преобразователями для регулирования частоты вращения в широких пределах, например с тиристорным регулированием;

электрический привод с использованием низкооборотного двигателя постоянного тока (1000 об/мин) на высо-

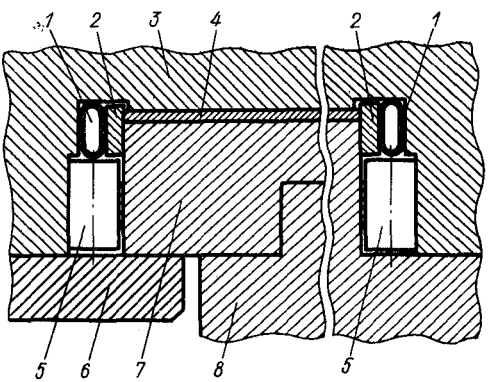


Рис. 3.9. Комбинированные направляющие (качения-скольжения):

1 — трубки; *2* — планки; *3* — подвижный стол; *4* — направляющая скольжения стола; *5* — роликовая опора; *6* — прижимная планка; *7* — накладная направляющая станины; *8* — станина

коэнергетических постоянных магнитах; этот привод в металлорежущих станках с ЧПУ часто соединяют непосредственно с ходовым винтом станка без промежуточного редуктора;

гидропривод — от гидроцилиндров или гидродвигателей, при этом гидродвигатель обычно устанавливают на конечное звено привода (чаще всего это пара винт — гайка качения).

Передача винт — гайка качения в приводах подач станков с ЧПУ нашла широкое применение благодаря тому, что по сравнению с винтовыми парами скольжения у них более высокий КПД, хотя коэффициенты трения покоя и движения почти одинаковы, а силы трения не зависят от скорости движения. При выборе зазора в паре образуется беззазорная передача с достаточно высокой осевой жесткостью. У передач с винтами класса 0 накопленная ошибка составляет 3 мкм на 300 мм и 7 мкм на 1000 мм, а класса 1—10 мкм на 300 мм и 20 мкм на 1000 мм.

В станках с ЧПУ звеном привода подачи могут быть также передачи с автоматическим регулированием натяга. Это позволяет при быстрых перемещениях (до 20 м/мин) избежать нагрев за счет уменьшения натяга, а при рабочих перемещениях обеспечить высокую жесткость путем увеличения натяга. Используются также конструкции передач с самоустанавливающейся гайкой.

В целях осуществления адаптивного управления разработаны приводы подач, снабженные датчиками осевой составляющей силы резания. Кроме шариковых пар в приводах подач тяжелых станков с ЧПУ применяют и гидростатические передачи винт — гайка [22].

Присоединительные размеры. В настоящее время основные и присоединительные размеры для большинства типов станков с ЧПУ определены государственными стандартами. Например, фланцевые концы шпинделей токарных, револьверных и других станков с ЧПУ, а также размеры столов и Т-образных пазов столов расточных и координатно-расточных, фрезерных и других станков с ЧПУ соответствуют стандартам на металлорежущие станки общего назначения.

Датчики обратной связи. В настоящее время все станки с ЧПУ являются замкнутыми системами управления (с обратной связью) и имеют датчики обратной связи. В станках с ЧПУ нашли применение датчики самых различных конструкций: магнитные, фотоэлектрические, индукционные, электрические, оптические, ультразвуковые и др. Из них постепенно выделяются предпочтительные типы. Кроме того, в целях унификации систем управления в отечественной промышленности предполагается переход на единую конструкцию многоотсчетного устройства.

Датчики обратной связи делят на линейные и круговые. Предпочтительными являются: из линейных — линейный индуктосин (0,01 мм) и оптическая шкала (0,001 мм); из круговых — круговой индуктосин (0,01 мм) и вращающийся трансформатор, или резольвер (0,01 мм). В последнее время интенсивно ведутся работы по созданию лазерных датчиков (0,001 мм) на основе интерферометра, которые будут применять для точных станков с ЧПУ.

Линейный индуктосин (рис. 3.10, *а*) состоит из линейки *I*, жестко закрепляемой на неподвижной части станка, и движка (слайдера) *II*, перемещаемого вместе с подвижной частью станка. Основой линейки индуктосина является несущая деталь *1*, изготовляемая из алюминия или изоляционного материала. Эту деталь покрывают слоем изоляционного материала *2*, на который наносят медную обмотку *3* (меандр с шагом 2 мм). Сверху медную обмотку покрывают слоем лака *4*. Слайдер *II* оснащен экраном *5*, представляющим собой медную полоску. На слайдере выполняют две печатные обмотки *С1—С3* и *С2—С4*, сдвинутые относительно друг друга на 1/4 шага, или на 90° по фазе (рис. 3.10, *б*).

Слайдер является статором, и его обмотки питаются переменным напряжением с частотой 4000 Гц. Линейка индуктосина является ротором, и с ее обмоток снимается сигнал U_a в виде синусоидального напряжения (рис. 3.10, *в*). Магнитное поле слайдера перемещается с начала до конца и возвращается к началу, чтобы снова идти до конца. Сдвиг

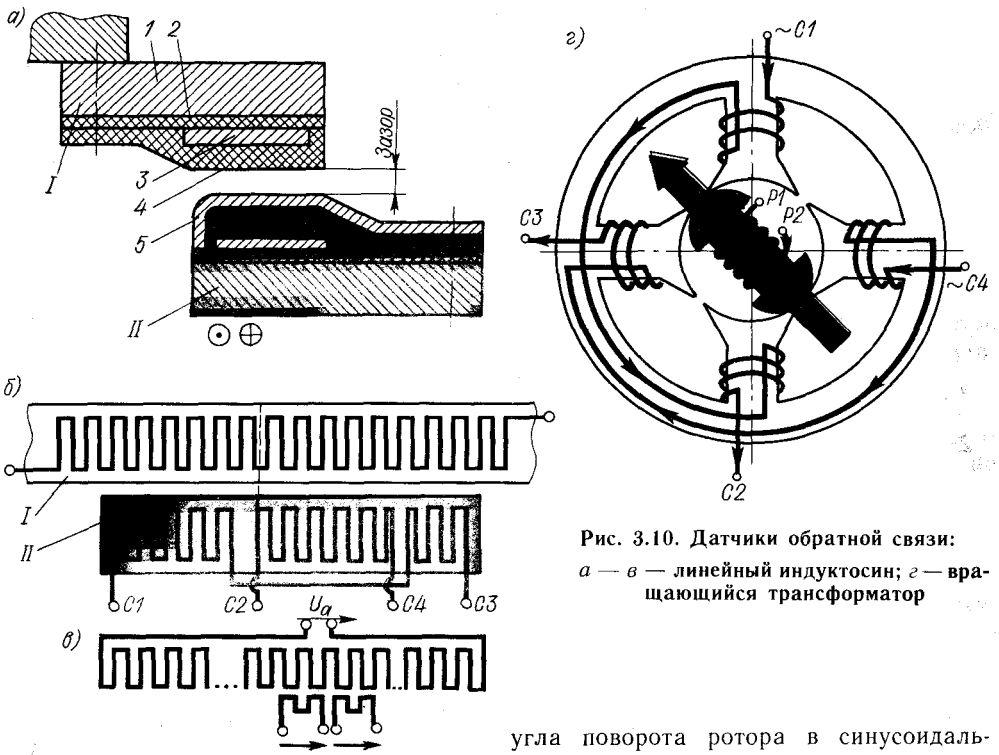


Рис. 3.10. Датчики обратной связи:
а — в **— линейный индуктосин;** *г* **— вращающийся трансформатор**

по фазе напряжения, индуцированного на линейках, зависит от положения обмоток линеек относительно обмоток слайдера. Смещение слайдера периодически приводит к изменению сдвига фаз от максимума до минимума, что обеспечивает соответствующий электрический сигнал-импульс в системе преобразователя сдвига фаз в импульсы (в код). Сумма импульсов, подсчитанная счетчиком, за любой промежуток времени дает перемещение исполнительного органа станка.

Оптическая шкала — это линейная оптическая измерительная система, имеющая существенное преимущество перед индуктосинами. Она нечувствительна к загрязнению и требует менее точного регулирования расстояния между головкой считывания и линейкой. Работа системы основана на считывании отраженного луча фотодиодами преобразователя [22].

Вращающийся трансформатор (резольвер) — это микромашина переменного тока, служащая для преобразования угла поворота ротора в синусоидальное напряжение.

Статор вращающегося трансформатора (рис. 3.10, *г*) имеет две однофазные обмотки *C1—C2* и *C3—C4*, сдвинутые на 90° относительно диффузора. Ротор также имеет две обмотки, включенные последовательно (на рисунке для упрощения показана одна обмотка *P1—P2*). Магнитопровод изготовляют из листов электрической стали или пермоллоя. На роторе и статоре равномерно расположены пазы, в которых размещены взаимно перпендикулярные обмотки. Первичными обмотками вращающегося трансформатора (ВТ) чаще всего являются обмотки статора, а вторичными — обмотки ротора, который связан с перемещающимся элементом. При повороте ротора, который собственно и является первичным датчиком, с него снимается синусоидальное напряжение.

Токосъем с обмоток ротора происходит с помощью контактных колец и щеток. Статорные обмотки ВТ питаются переменным напряжением с частотой 400, 1000, 2000 или 4000 Гц. Закон изменения напряжения питания может быть синусоидальным или прямоуголь-

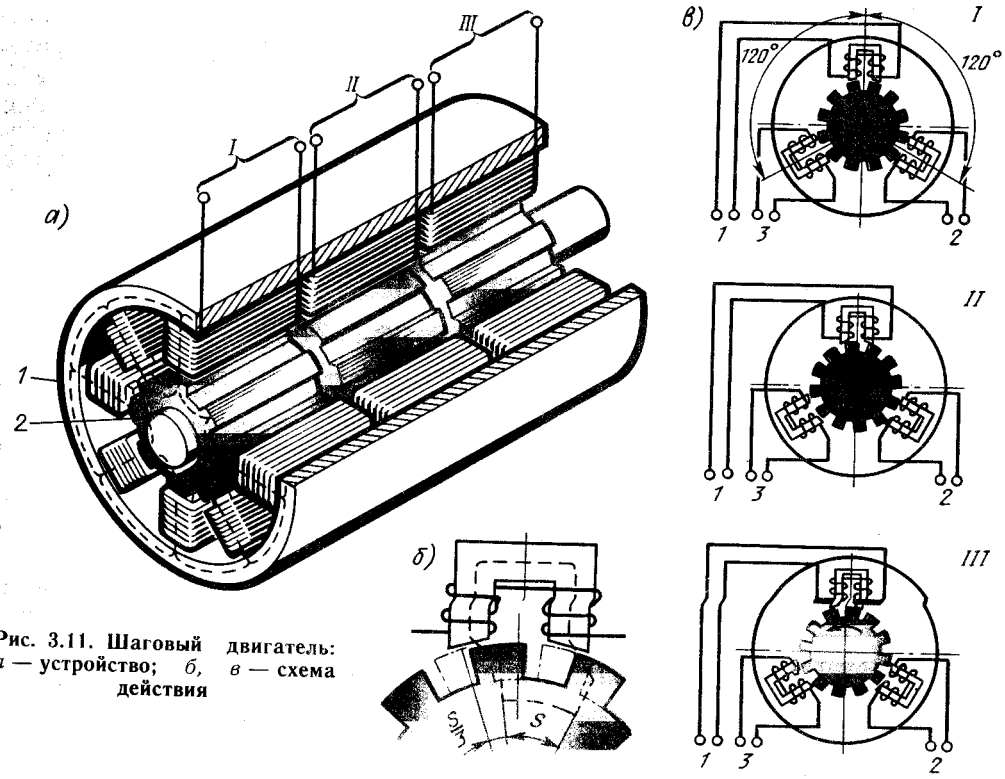


Рис. 3.11. Шаговый двигатель: *а* **— устройство;** *б, в* **— схема действия**

ным. При подключении обмоток статора к сети переменного тока образуется вращающееся магнитное поле. Стрелка на рис. 3.10, *г* показывает результирующий магнитный поток, проходящий через ротор в данный момент времени. Магнитное поле вращается со скоростью, соответствующей частоте питания обмоток статора. Вращающееся магнитное поле индуцирует в обмотке ротора переменное напряжение, амплитуда которого почти постоянная.

Индуцированное в обмотке ротора напряжение является выходным сигналом, фаза которого сдвинута относительно синусоидального входного сигнала статора. Этот сдвиг фазы зависит от положения ротора. Если ротор расположен вертикально, то в нем будет индуцироваться положительное максимальное напряжение, тогда и его синусоидальная обмотка будет иметь положительное максимальное возбуждение. В этом случае фазы выходного и входного сигналов совпадают. Таким образом, при повороте вала ротора механический угол вращения преобразуется в электрический, т. е. в сдвиг фаз.

Широкое применение находят многополюсные ВТ. Принцип действия десятиполюсного ВТ такой же, как и двухполюсного. Различие этих двух ВТ состоит в электрическом сдвиге фаз относительно механического угла вращения.

Электрический шаговый двигатель. Такой двигатель широко используют в приводе *подач металлорежущих станков* с ЧПУ. Он представляет собой синхронную машину с сосредоточенными обмотками и реактивным ротором.

Отечественные шаговые двигатели для приводов металлорежущих станков (ШД-4, ШД-5) строят по трехфазной схеме. Принцип работы такого двигателя следующий. Статор *1* (рис. 3.11, *а*) имеет три пары полюсов и обмоток (*I—III*). Ротор *2* также разделен на три секции, но каждая из них смещена по окружности относительно смежной на 1/3 межполюсного расстояния. Таким образом, когда полюса первой секции ротора совмещены с полюсами статора, полюса второй

секции смещены относительно полюсов статора на 1/3, а полюса третьей секции — на 2/3 межполюсного расстояния.

Если в обмотки первой фазы (*I*) статора подан постоянный ток, а в других обмотках тока нет, то ротор двигателя установится в такое положение, что его полюс будет находиться напротив полюса статора. Если затем выключить ток в первой фазе и одновременно включить ток во второй фазе, ротор повернется на 1/3 шага (рис. 3.11, *б*). При последовательной подаче тока в обмотки *I*, *II*, *III* ротор будет вращаться по часовой стрелке (рис. 3.11, *в*). Если включить фазы в обратном порядке (*I*, *III*, *II*), ротор будет вращаться в обратную сторону.

Угол поворота ротора может составлять соответственно 1,5° или 3°, максимальная частота импульсов в двигателе ШД-4 с шестиконтактным включением 800 Гц. Такой двигатель обеспечивает скорость подачи (при цене импульса 0,01 мм) до 1200 мм/мин. В настоящее время разработаны и серийно выпускаются шаговые двигатели с большой частотой импульсов тока, они обеспечивают скорости подач до 5—10 м/мин.

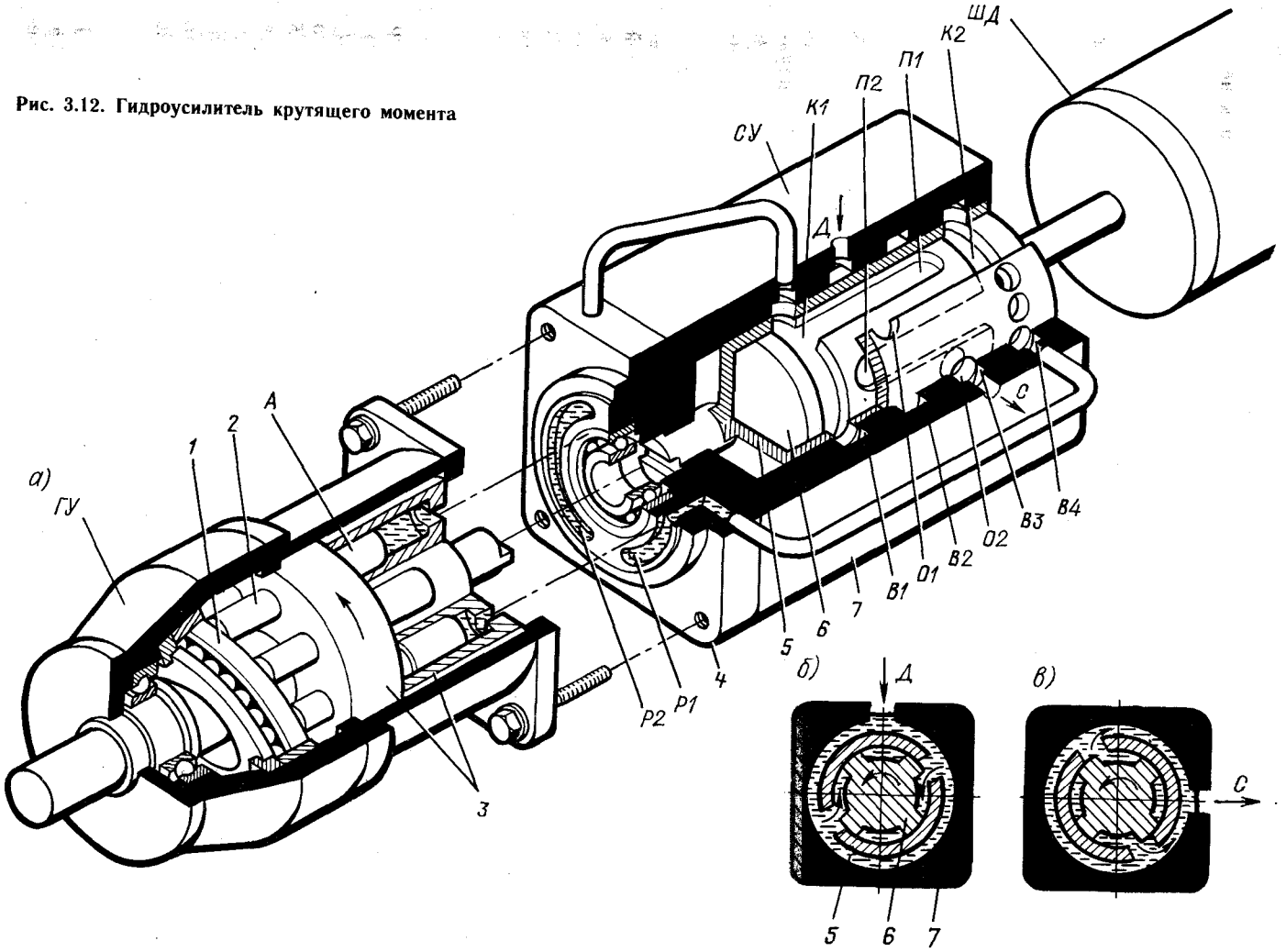
Электрогидравлический шаговый привод. Ввиду того, что выпускаемые шаговые электродвигатели обладают небольшой мощностью, усиление крутящего момента обеспечивают гидравлические усилители. Крутящий момент увеличивается за счет использования энергии масляного потока от гидростанции. В станках с ЧПУ используют гидроусилители момента с шаговым электродвигателем и малоинерционным высокомоментным гидроприводом.

Гидроусилитель (ГУ) представляет собой аксиально-поршневой гидромотор со следящим управлением (рис. 3.12, *а*). Он обеспечивает увеличение крутящего момента, развиваемого шаговым двигателем. В роторе *3* гидромотора расположены поршни *2*, которые могут перемещаться в осевом направлении. Под давлением масла, поступающего в двигатель через полукольцевой паз *P1* распределителя *4*, поршни *2* упираются в кольцо *1* упорного шарикоподшипника. Кольцо расположено наклонно, и поршни, скользя по наклонной плоскости, образованной подшипником, заставляют ротор поворачиваться в направлении, показанном на рисунке стрелкой. Когда поршень займет положение *А*, приток масла к нему прекращается, так как отверстие ротора попадает на перемычку распределителя. При дальнейшем повороте масло из-под поршня через полукольцевой паз *P2* распределителя поступает на слив. Таким образом, каждый поршень за половину оборота ротора совершает рабочий ход, а за другую половину — обратный (холостой) ход.

Для изменения направления вращения ротора масло под давлением подают в паз *P2*, а из паза *P1* направляют на слив. Управление потоком масла обеспечивает следящее устройство (СУ), управляемое шаговым двигателем (ШД). Вал этого двигателя соединен с плунжером *6* следящего устройства. На плунжере имеются кольцевые канавки *К1* и *К2* и продольные пазы *П1* и *П2*. Плунжер вставлен во втулку *5*, соединенную с валом гидроусилителя. Втулка *5* заключена в корпус *7*, имеющий кольцевые канавки *В1*, *В2*, *В3*, *В4*. К кольцевой канавке *В2* по каналу *Д* подводится масло под давлением; канавки *В3* служат для отвода масла на слив (канал *С*); канавки *В1* и *В4* соединены каналами с полостями распределителя *4*. В положении, показанном на рис. 3.12, *а*, плунжер *6* перекрывает доступ масла к гидроусилителю, и он не работает.

Но достаточно повернуть плунжер на очень небольшой угол (рис. 3.12, *б*), чтобы масло от гидронасоса по каналу *Д*, кольцевой канавке корпуса следящего устройства и отверстию *О1* втулки *5* попало в паз *П1* плунжера и далее через канавки *К1*, *В1* и распределитель *4* в ротор гидроусилителя, поворачивая его в том же направлении, что и плунжер. Масло на слив удаляется из гидроусилителя через кольцевую канавку *В4*, паз *П2* плунжера, отверстие *О2* втулки *5*, канавку *В3* и канал *С* (рис. 3.12, *в*). Если вращать плунжер с помощью шагового двигателя непрерывно, то одновременно («догоняя» его) будет вращаться и ротор гидроусилителя, а вместе с ним и ходовой винт привода подач. Останав-

Рис. 3.12. Гидроусилитель крутящего момента



ливаясь, плунжер перекроет отверстия втулки, движение потоков масла прекратится, и ротор гидроусилителя немедленно остановится. Для реверсирования гидроусилителя достаточно переключить направление вращения вала шагового двигателя: направление потоков масла в следящем устройстве изменится на противоположное.

Следящий электропривод. Основной особенностью электродвигателей, применяемых в следящих приводах, является широкий и плавный диапазон регулирования скоростей с изменением направления вращения. Наибольшее распространение для этих целей получили электродвигатели постоянного тока, обладающие наряду с плавностью регулирования скоростей в широком диапазоне и достаточно высоким КПД.

Регулируемый электропривод постоянного тока для механизмов главного движения станков с ЧПУ обеспечивает возможность выбора скорости резания с любым знаменателем ряда, коррекцию скорости во время резания с применением адаптивных устройств, упрощение управления изменением скорости.

В ряде новых моделей станков в механизмах главного движения установлен привод с тиристорными преобразователями.

В СССР разработаны серии следящерегулируемых тиристорных электроприводов и для механизмов подач станков с ЧПУ [19, 22].

Помимо быстродействующих электроприводов постоянного тока в станках с ЧПУ применяют и регулируемые электроприводы переменного тока [19, 22, 29].

Устройства автоматической смены инструмента. Автоматическая смена инструмента — одна из главных особенностей многоцелевых и многоинструментальных станков с ЧПУ. В общем случае для автоматизации смены инструмента используют систему устройств и механизмов, состоящую из двух основных элементов: магазина, служащего для создания запаса инструментов, достаточного для обработки одной или нескольких заготовок; устройства автоматической смены инструмента (АСИ), перемещающего инструмент из магазина в шпиндель станка и обратно.

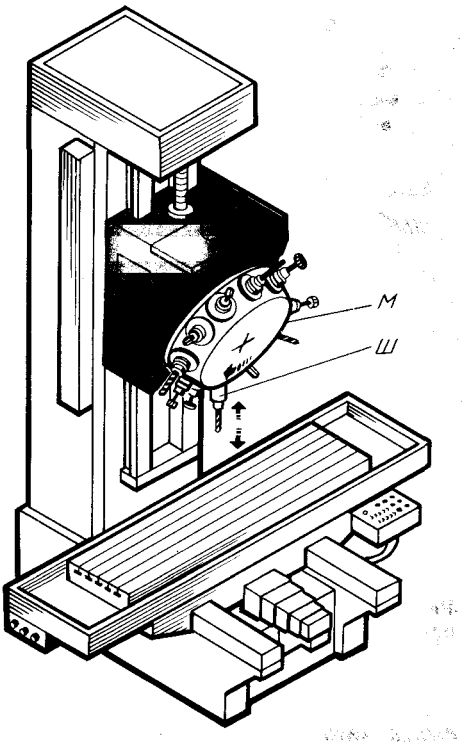


Рис. 3.13. Схема смены инструментов при соосном их расположении в магазине и шпинделе станка

При *соосном расположении инструментов в гнезде магазина и шпинделе станка* для их смены достаточно повернуть магазин до совмещения гнезда магазина с осью шпинделя, а затем, перемещая шпиндель вдоль оси, вытолкнуть инструмент из магазина и закрепить в шпинделе. Отработавший инструмент возвращают в шпиндель в обратном порядке. Способ привлекает своей простотой, так как не требует транспортирующих механизмов.

Схема действия таких устройств понятна из рис. 3.13. В устройстве на 12 инструментов магазин *М* выполнен в виде массивного барабана с наклонной осью поворота. Ось инструментального гнезда, находящегося в момент смены инструмента в нижнем положении, совмещается с осью шпинделя *Ш*. При движении пиноли вниз шпиндель захватывает инструмент за оправку и перемещает

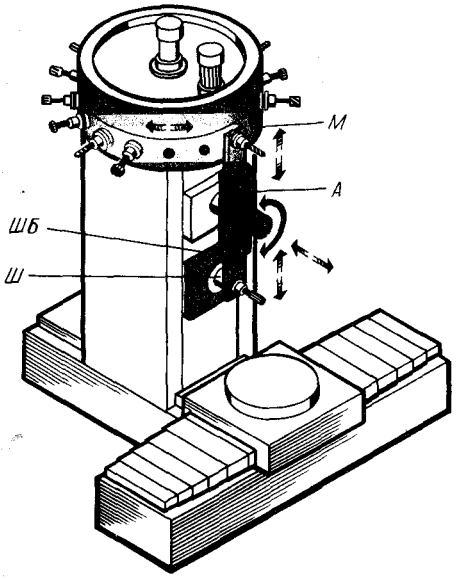


Рис. 3.14. Схемы смены инструментов при параллельном расположении инструментов в магазине и шпинделе

его к заготовке. Оправка в шпинделе зажимается автоматически. При ходе пиноли в верхнее положение инструментальная оправка с инструментом автоматически отсоединяется от шпинделя и остается в гнезде магазина. При крайнем верхнем положении шпинделя магазин поворачивается, происходит поиск следующего заданного программой инструмента. Угол поворота определяется номером гнезда, в котором находится нужный инструмент. После использования инструмент возвращается в то же гнездо. Поиск инструмента происходит при остановленном шпинделе (в его верхнем положении). Время на поворот магазина не совмещается с машинным временем. В некоторых станках магазин (револьверная головка) перемещается вместе со шпинделем при его рабочей подаче.

Рассмотренный способ имеет существенные недостатки: 1) пиноль шпинделя совершает длительные вспомогательные ходы, необходимые для подачи инструмента в рабочую зону; из-за увеличенного вылета жесткость шпиндельного узла недостаточна для точной обработки чугунных и стальных заготовок; 2) максимальная емкость магазина при допустимых габаритных размерах ограничена необходимостью размещения гнезд для инструментальных оправок на значительном расстоянии друг от друга, иначе выступающие из них неработающие инструменты будут мешать инструменту в рабочей позиции; 3) для поиска инструмента магазин должен отводиться от заготовки на значительное расстояние; 4) инструментальный магазин находится в рабочей зоне станка или в непосредственной близости от нее. Режущий и вспомогательный инструменты и механизмы магазина легко загрязняются металлической пылью, разбрызгиваемой СОЖ, мелкой стружкой.

Чтобы разместить инструментальный магазин вне рабочей зоны станка, его поднимают над шпиндельной бабкой или выносят в сторону от нее, иногда устанавливают на отдельную стойку. Во всех этих случаях *оси инструментов в магазине и шпинделе* металлорежущего станка *не совпадают,* но могут быть *параллельными* между собой (рис. 3.14). Тогда перенос и смена инструментов осуществляются с помощью автооператора.

На металлорежущем станке с горизонтальным шпинделем инструментальный магазин *М* устанавливают на стойку станка (рис. 3.14). Для связи магазина со шпинделем *Ш* станка используют автооператор *А* с двумя захватами.

При смене инструментов автооператор совершает ход снизу вверх и захватывает оправку инструмента, находящегося в гнезде магазина. Одновременно вверх поднимается шпиндельная бабка *ШБ* со шпинделем *Ш*, и оправка с инструментов входит в нижний схват автооператора. Далее автооператор вытаскивает обе оправки в направлении оси шпинделя и поворачивается вокруг своей оси на 180°, подводя к шпинделю сменяемый инструмент. Ходом вдоль оси инструмент «заталкивается» в шпиндель, где автоматически закрепляется. Одновременно отработавший инструмент устанавливается в гнездо магазина.

В станках, где *инструменты в магазине М размещены вертикально* (рис. 3.15), они закреплены в поворотных втулках-гнездах *Г*. Попадая в позицию смены

инструмента, втулка поворачивается в горизонтальное положение, и ось инструмента становится параллельной оси шпинделя *Ш*. Цикл смены инструмента простой. Из нейтрального положения автооператор *А* с помощью гидроцилиндра *Ц1* и реечно-зубчатой передачи поворачивается относительно своей оси, захватывая одновременно оправки инструментов, находящихся во втулке магазина и шпинделе. Затем с помощью гидроцилиндра *Ц2* автооператор перемещается вдоль своей оси, вытаскивая инструменты из магазина и шпинделя, поворачивается вместе с ними на 180° и меняет инструменты местами. После возврата автооператора в нейтральное положение шпиндель начинает выполнение очередного перехода.

Отработавший инструмент подается в освободившуюся втулку, на место вынутого оттуда. Если кодируются гнезда втулок магазина, то перед подачей отработавшего инструмента в его гнездо потребуется повернуть освободившуюся втулку на 90° (вверх), магазин — в положение поиска гнезда отработавшего инструмента, а затем установить втулку в горизонтальное положение. Все это время шпиндель не работает, и время на

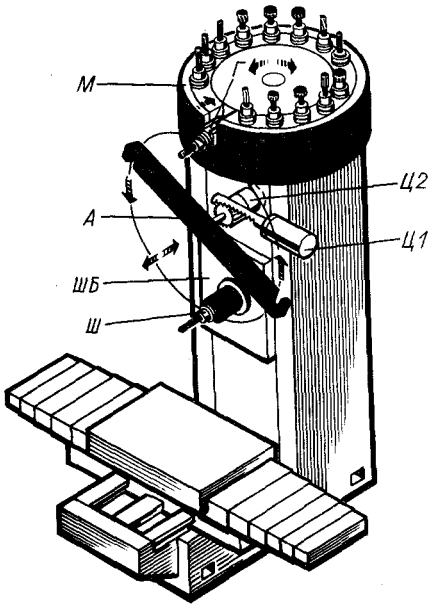


Рис. 3.15. Схема смены инструментов поворотным автооператором

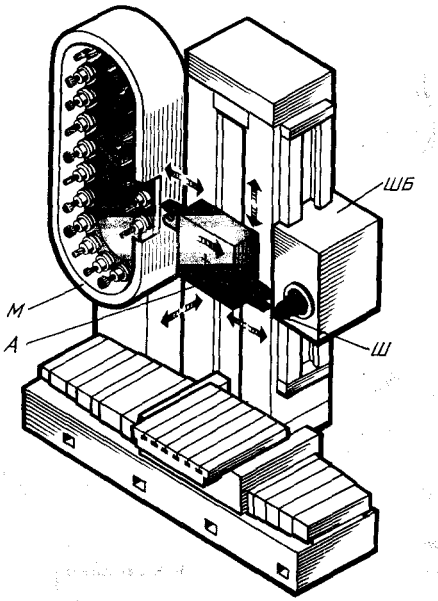


Рис. 3.16. Схема смены инструментов на станках с цепным магазином

смену инструмента существенно возрастает. Смена инструмента возможна только при одном — верхнем — положении шпиндельной бабки *ШБ*.

В большинстве станков с рассмотренными устройствами *АСИ* смена инструментов может выполняться только при заданном положении шпиндельной бабки. Этого недостатка лишено устройство АСИ для крупных металлорежущих станков *с горизонтальным шпинделем и дисковым или цепным* (рис. 3.16) *магазином*. Из корпуса каретки автооператора *А* могут выдвигаться захваты, а вся каретка — перемещаться вверх и вниз на стойке станка и в направлении, параллельном осям магазина *М* и шпинделя *Ш*. В нижнем положении каретки, показанном на схеме, левый захват автооператора, выдвигаясь, захватывает инструмент из магазина. При ходе каретки вдоль оси инструмента он вынимается из магазина, после чего каретка перемещается по стойке в положение напротив шпиндельной бабки *ШБ*. Совершая аналогичный цикл движений, правый захват автооператора вытаскивает сменяемый инструмент из шпинделя, затем автооператор поворачивается

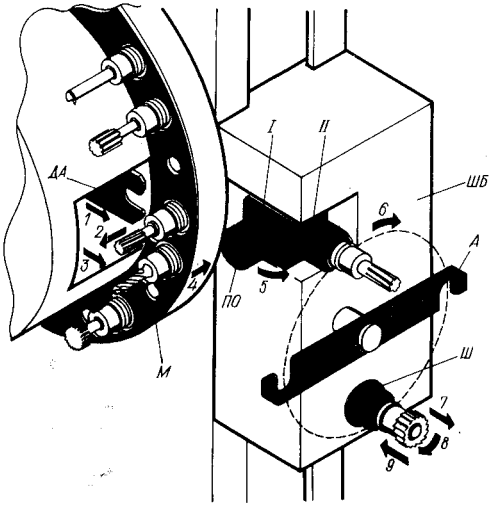


Рис. 3.17. Схема смены инструмента устройством с позицией ожидания

и сменяет инструменты. Недостаток данной компоновки — размещение дискового или цепного магазина в непосредственной близости от рабочей зоны, что мешает загрузке и разгрузке магазина. Недостаток устройства АСИ — сложность конструкции автооператора из-за раздельного движения захватов.

Особую группу составляют устройства смены инструмента *с позицией ожидания*. В таких устройствах (рис. 3.17) в промежуточном гнезде — позиции ожидания (*ПО*) может находиться инструмент, подготовленный для подачи в шпиндель, или инструмент, уже закончивший работу и ожидающий возврата в гнездо магазина. В рассматриваемом станке магазин *М* размещен на боковой стороне стойки; оси инструментов в магазине и шпинделе взаимно перпендикулярны. Поэтому позиция ожидания выполнена в виде гнезда, поворачивающегося относительно вертикальной оси. Основной *А* и дополнительный *ДА* автооператоры совершают перемещения во взаимно перпендикулярных плоскостях.

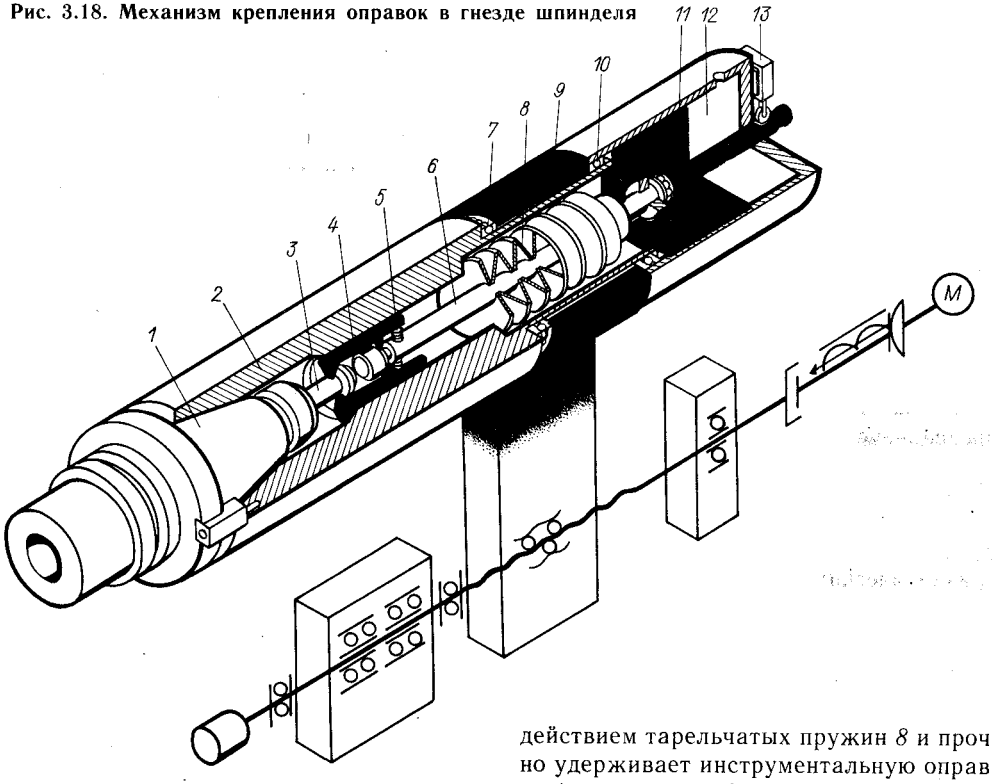
Инструмент, предназначенный для подачи в шпиндель *Ш*, подается в позицию смены поворотом дискового магазина *М*. Дополнительный автооператор движением в направлении стрелки *1* захватывает инструментальную оправку и ходом по стрелке *2* вытаскивает ее из магазина. Следует движение *3* автооператора до совмещения оси инструментальной оправки с осью гнезда позиции ожидания. Ходом *4* оправка с инструментом подается в гнездо, и дополнительный автооператор *ДА* возвращается в исходное положение. Подготовка к смене инструментов, выполняемая во время работы станка, заканчивается поворотом гнезда *ПО* на 90° вокруг вертикальной оси — из положения *I* в положение *II* (движение *5*). По окончании работы инструмента, находящегося в шпинделе, автооператор *А*, поворачиваясь относительно горизонтальной оси (движение *6*), захватывает одновременно оправки сменяемого и нового инструмента, вытаскивает их (ход *7*) из гнезда и шпинделя и, поворачиваясь на 180° (ход *8*), меняет местами. Ходом *9* оправки подаются в гнездо *ПО* и шпиндель *Ш*.

Для возврата отработавшего инструмента в магазин гнездо *ПО* поворачивается на 90°, после чего вступает в работу автооператор *ДА*.

В станке принята система кодирования гнезд магазина: каждый инструмент должен быть возвращен в свое гнездо. Поэтому во время выполнения рабочего перехода и смены инструмента в шпинделе осуществляется поиск нужного гнезда магазина. Инструмент сменяется при любом положении шпиндельной бабки *ШБ*, так как магазин перемещается по вертикальным направляющим стойки станка совместно со шпиндельной бабкой. Имеются и другие схемы устройств АСИ [22].

При наладке станка инструменты в кодируемых гнездах магазина располагают в соответствии с программной картой и тщательно сверяют номер инструмента (оправки) с номером гнезда магазина. Однако существуют станки, где кодируется номер инструмента (оправки). Это делается различными методами. Один из методов предусматривает установку на каждом хвостовике оправки соответствующих колец. Кольца увеличенного диаметра определяют кодовый сигнал «единица», кольца малого диаметра — «нуль». Закодированный ин-

Рис. 3.18. Механизм крепления оправок в гнезде шпинделя



струмент можно устанавливать в любом гнезде магазина. Проходя мимо имеющихся в магазине датчиков, кольца увеличенного размера заставляют их срабатывать. Этим определяется место магазина для смены инструмента, код которого поступил в систему АСИ от УП.

У многоцелевых станков, работающих в ГПС, в ряде случаев организуют автоматическую смену инструмента в магазинах. Для этого используют специальный стеллаж, являющийся складом инструментов, и программируемый робот (см. рис. 3.7).

Обязательным элементом многоинструментальных станков с устройствами АСИ является автоматический механизм крепления инструментальных оправок в шпинделе. Крепление осуществляется после того, как оправка устройством АСИ установлена в гнездо шпинделя. Один из вариантов механизма крепления показан на рис. 3.18. В положении закрепления оправки тяга (шомпол *6*) находится в крайнем правом положении под действием тарельчатых пружин *8* и прочно удерживает инструментальную оправку *1* за хвостовик *3* рычагами *4* в посадочном гнезде шпинделя *2*. Для раскрепления оправки служит гидроцилиндр *12* одностороннего действия. При подаче масла под давлением в правую полость гидроцилиндра шток поршня *11* через упорный подшипник воздействует на тягу *6* и сдвигает ее влево, сжимая комплект тарельчатых пружин *8*. Рычаги *4*, попадая в расточку шпинделя, освобождают хвостовик *3*, а тяга при дальнейшем ходе упирается в хвостовик и выталкивает оправку с инструментом из шпинделя примерно на 6 мм. Автооператор легко вынимает оправку из шпинделя и заменяет ее следующей по программе. При наладке станка оправки вынимают или вставляют вручную. Для надежного захвата оправки рычагами *4* имеются пружины *5*, поджимающие левые концы рычагов к хвостовику в начале хода тяги вправо. При дальнейшем движении тяги под действием разжимающихся тарельчатых пружин рычаги попадают в суженную часть отверстия шпинделя и тем самым удерживаются в сжатом состоянии.

Чтобы исключить опасность включения вращения шпинделя при несжатой инструментальной оправке, установлен микропереключатель *13*, на который воздействует удлиненный правый конец штока гидроцилиндра *12*.

Шпиндель установлен на подшипниках *7* и *10* обоймы *9*.

3.6. ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СТАНКОВ С ЧПУ

Геометрические и рабочие параметры. *Геометрические параметры* станков с ЧПУ прежде всего характеризуются рабочим пространством (рабочей зоной), внутри которого инструмент и обрабатываемая деталь могут взаимодействовать в любой точке. В станках, предназначенных для обработки тел вращения (рис. 3.19, *а*), рабочее пространство — цилиндрическое, определяемое радиусом (высотой центров) и длиной, а в станках для обработки призматических деталей (рис. 3.19, *б*) рабочее пространство — прямоугольное (реже цилиндрическое), определяемое длинами координатных перемещений.

Характерные (граничные) точки рабочего пространства нумеруются подобно элементам матрицы. Наиболее удобен порядок нумерации, при котором первая цифра — порядковый номер точки по вертикальной координате, вторая — по поперечной координате, третья — по продольной. Начало координат рабочего пространства обычно выбирают так, чтобы возрастание номеров соответствовало положительному направлению осей координат.

К *рабочим параметрам* станков относятся скорости движений рабочих органов и мощность, реализуемая в процессе резания. Разнообразие деталей, обрабатываемых на одном станке, а для многоцелевых станков и разнообразие технологических операций, требует значительных диапазонов скоростей резания и рабочих подач. В зависимости от ведущего геометрического параметра (ширины стола — для станков фрезерно-сверлильно-расточной группы, максимального радиуса или высоты центров обработки — для станков токарной группы) анализ статистических данных позволил выработать рекомендации по целесообразным значениям мощности главного привода, диапазону частоты вращения шпинделя и диапазону скоростей в приводе подач.

Для примера приведем рекомендуемые рабочие параметры многоцелевых станков для обработки призматических деталей:

Ширина стола, мм	400—630	630—1000
Мощность главного привода, кВт	5—11	9—15
Наибольшая частота вращения шпинделя, об/мин	3150—4000	3150—4000
Наибольшая рабочая подача, м/мин	1—10	2,4—8,0

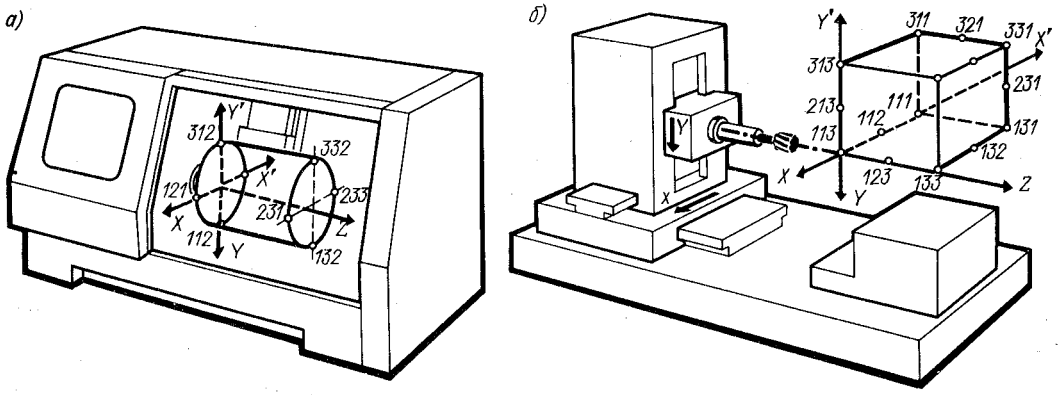


Рис. 3.19. Рабочее пространство (рабочая зона) станков

Скорость быстрых перемещений, м/мин	6—10	5—10
Время автоматической смены инструмента, с	3—7	3—10

Производительность станков с ЧПУ. Производительность станка определяется числом деталей, обработанных в единицу времени, и выбирается в зависимости от требуемой ритмичности производства. Производительность станка с ЧПУ, в том числе и целевого станка, может быть подсчитана как средняя штучная производительность

$$Q_c = \frac{1}{t_0} = \left[(m/n)\, t_{пз} + t_з + \sum_1^i t_р + \sum_1^{i-1} t_и + \sum_1^k t_к \right]^{-1},$$

где t_0 — среднее штучное время; $t_{пз}$ — подготовительно-заключительное время на партию деталей (несовмещенное); m — число партий деталей в год; n — общее число деталей в год; i — число рабочих операций при обработке данной детали; k — число контрольных операций; $t_и$ — время смены инструмента (несовмещенное); $t_з$ — время смены заготовки; $t_р$ — основное время; $t_к$ — время контрольной операции.

Производительность автоматической станочной системы, состоящей из ряда станков,

$$Q_{а.с} = Q_c a,$$

где a — среднее число одновременно обрабатываемых деталей.

Для повышения производительности станков с ЧПУ следует стремиться к сокращению подготовительно-заключительного времени на каждую партию деталей и к уменьшению общего числа партий деталей, обрабатываемых на станке. Первое условие обеспечивается за счет совершенствования приспособлений-спутников и оснастки, а также сокращения затрат времени на формирование УП. Уменьшение числа партий деталей, обрабатываемых на современных станках с ЧПУ, привело к тому, что обычно за станком закреплено не более 30—50 наименований деталей в год; дальнейшее сокращение в условиях мелкосерийного производства в большинстве случаев затруднительно. Уменьшить время на смену режущего инструмента можно (у станков с системой АСИ) за счет повышения динамических характеристик устройств АСИ и усовершенствования систем управления этими устройствами. Время смены инструмента в современных многоцелевых станках не превышает 3—5 с. Чтобы сократить время на смену инструмента в станках с ручной его заменой, необходимо использовать быстродействующие зажимные устройства.

В целях сокращения времени на смену заготовки станки с ЧПУ оборудуют многопозиционными устройствами автоматической смены обрабатываемых деталей, системой приспособлений-спутников.

Основное время обработки детали можно сократить за счет повышения скоростей резания и соответствующего увеличения мощности главного привода. Это позволяет использовать прогрессивные режущие инструменты, оптимальные режимы резания, применять одновременно несколько режущих инструментов. Вспомогательное время как составляющая основного времени сокращается за счет увеличения быстродействия узлов станка, главным образом повышения средней скорости быстрых перемещений до 10—15 м/мин.

Точность станков. Точность станка определяется точностью исполнительных движений его рабочих органов и их относительным расположением во время обработки. Суммарная погрешность обработки в станках с ЧПУ формируется множеством взаимосвязанных ошибок Δ_i, возникающих в несущей системе станка, приводе его рабочих органов, системах управления и контроля, в инструменте и самой обрабатываемой детали (рис. 3.20, 3.21). Анализ составляющих суммарной погрешности Δ_Σ обработки на конкретных станках свидетельствует о доминирующем значении нескольких источников ошибок, которые и предопределяют общую точность станка (рис. 3.22). Важнейшими составляющими общей погрешности станка обычно

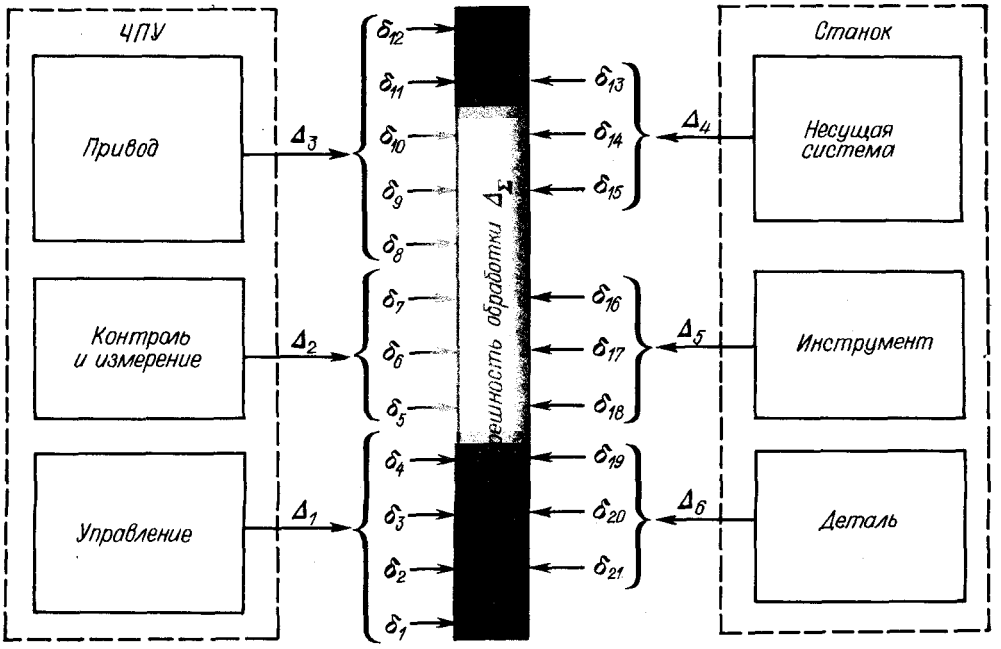


Рис. 3.20. Суммарная погрешность обработки на станках с ЧПУ:

δ_1, δ_2, δ_3, δ_4 — ошибки соответственно программирования, интерполятора, корректоров интерполятора и формирования команды «выход в нуль» δ_5, δ_6 — ошибки датчика — внутришаговая и накопленная; δ_7 — ошибка нормирующего преобразователя; δ_8 — ошибка дрейфа характеристик привода; δ_9, δ_{10}, δ_{11} — ошибки привода: динамическая, моментная и скоростная; δ_{12} — ошибка шариковой винтовой пары; δ_{13} — геометрическая ошибка станка; δ_{14}, δ_{15} — упругие перемещения соответственно станка и приспособления; δ_{16} — размерная ошибка установки инструмента; δ_{17} — износ инструмента; δ_{18} — упругие деформации инструмента; δ_{19} — геометрическая ошибка установки детали; δ_{20} — упругое перемещение детали; δ_{21} — температурная деформация детали

являются ошибки привода подач: ошибки позиционирования, геометрические погрешности и упругие перемещения несущей системы (см. гл. 12).

Надежность станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ в связи с их значительной стоимостью экономичны только при интенсивном использовании во времени (двухсменном, а иногда и трехсменном) и при эксплуатации без простоев. Станки работают в напряженном режиме, так как на них выполняют разнородные работы. Возрастают требования к сохранению станками определенной точности в течение всего периода эксплуатации.

Свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования, называют *надежностью*. В свою очередь, надежность характеризуется безотказностью, долговечностью и ремонтопригодностью.

Безотказность — свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени (наработки). *Долговечность* — свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов.

Безотказность и долговечность — свойства изделия сохранять работоспособность, различие между ними заключается в том, что безотказность охватывает ограниченное время, а долговечность распространяется на ресурс работы объекта с возможными перерывами на ремонт.

Основным показателем надежности (и в то же время безотказности) может

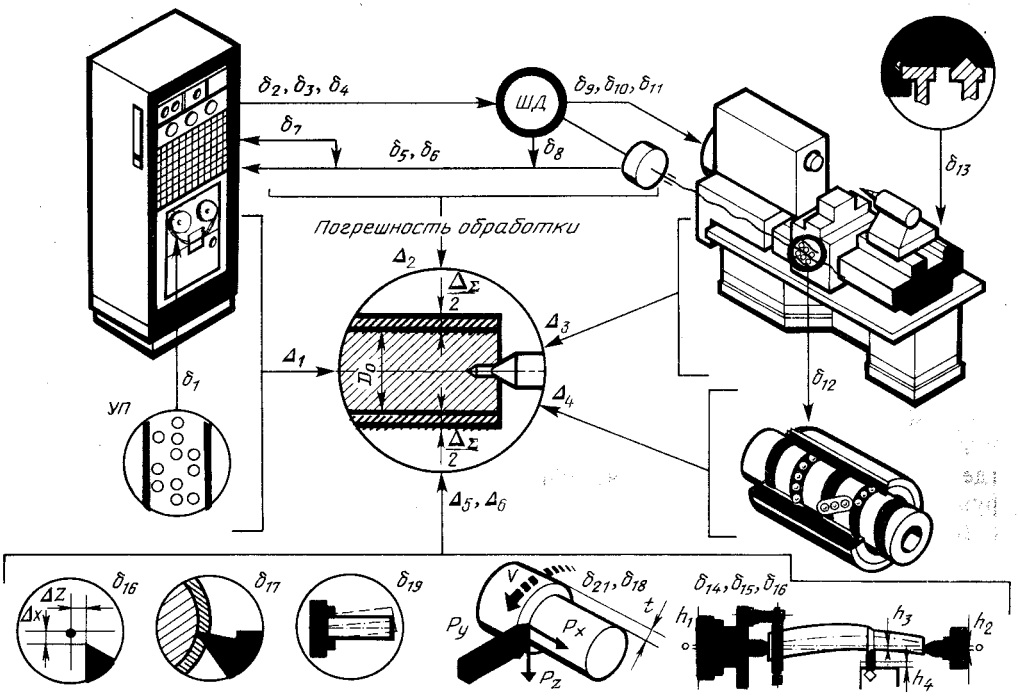


Рис. 3.21. Схема образования погрешностей при обработке на станках с ЧПУ

быть принята *вероятность безотказной работы* в пределах заданного периода времени. Например, если вероятность безотказной работы станка $P_н = 0{,}97$ в течение 1000 ч, то это значит, что 97 % за то, что в течение 1000 ч станок будет работать безотказно. Значение $P_н$ имеет смысл лишь при указании периода времени, в течение которого должно выполняться условие безотказности работы машины.

Свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения его отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения ремонта и технического обслуживания, называют *ремонтопригодностью*.

Конструкция станка, технология его изготовления и методы эксплуатации определяют надежность станка в целом и все три ее основные части: безот-

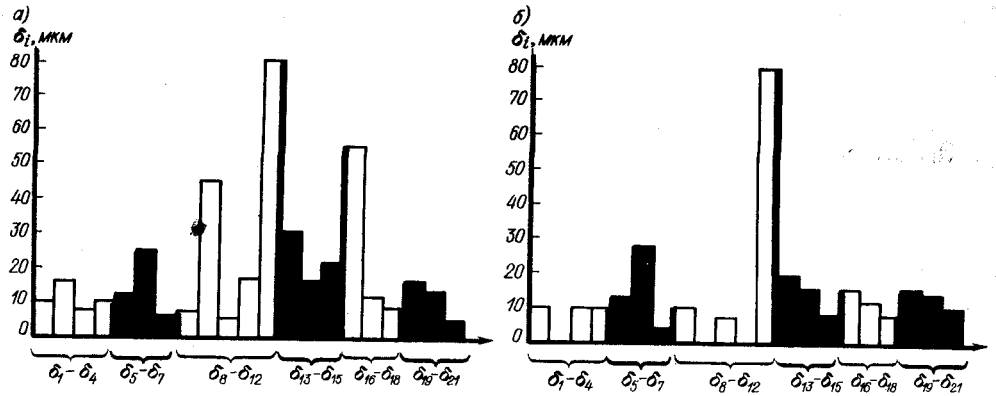


Рис. 3.22. Доля составляющих погрешности размера детали (максимальные значения) при обработке на тяжелом станке с ЧПУ: *а* **— позиционная обработка;** *б* **— контурная обработка**

казность, долговечность и ремонтопригодность. Для станков с ЧПУ особенно актуальны проблемы безотказности и ремонтопригодности. Это связано с большой сложностью конструкции, значительным числом элементов, взаимодействием разнородных устройств и механизмов.

Для станков с ЧПУ предложен комплексный показатель надежности — *удельная длительность восстановления* B, характеризующаяся отношением показателей ремонтопригодности $T_в$ и безотказности T станков:

$$B = \sum_{j=1}^{m} t_{вj} / \sum_{i=1}^{N} t_i = T_в/T,$$

где $t_{вj}$ — время, затрачиваемое на обнаружение причины и устранение последствий j-го отказа станка, ч; t_i — суммарная наработка i-го станка за период наблюдений, ч; N — число станков, находящихся под наблюдением; m — суммарное число отказов станков с ЧПУ.

Удельная длительность восстановления функционально связана с *коэффициентом готовности* $k_г$ — вероятностью того, что станок окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование станка по назначению не предусматривается:

$$k_г = 1/(1+B).$$

Для станков с ЧПУ установлены следующие нормы надежности: для станков с револьверной головкой и одноинструментальных $B = 0{,}05 \div 0{,}07$, т. е. допускается 5—7 ч простоев для непланового ремонта на 100 ч работы по управляющим программам; для станков с инструментальным магазином $B = 0{,}07 \div 0{,}10$; для устройств ЧПУ $B = 0{,}005 \div 0{,}02$.

Эксплуатационная надежность станков связана с отказами различного характера.

Отказ — событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта. В течение раннего периода эксплуатации станка отказы происходят чаще, чем при дальнейшей эксплуатации.

Так называемый *период приработки*, когда имеется повышенное число отказов, для станков с ЧПУ продолжается в течение нескольких десятков и даже сотен часов. Потребителю следует быть готовым к тому, что на заводе-изготовителе процесс приработки станка не был завершен и будет продолжаться в период пуска его и на первой стадии эксплуатации. Это требует от обслуживающего персонала заводов-потребителей знаний устройств всех механизмов и систем станков. Наиболее сложные проблемы возникают при освоении новых моделей станков, опыта эксплуатации которых завод-потребитель не имеет.

После завершения приработки станок вступает в *период нормальной эксплуатации*. Этот период характерен тем, что интенсивность отказов резко снижается по сравнению с периодом приработки и остается постоянной в течение нескольких тысяч часов. В любой равный отрезок времени этого периода частота отказов практически одинакова, и безразлично, будет ли это время, например, от 250-го до 400-го или от 2600-го до 2650-го часа работы станка. Отказы носят внезапный характер, предвидеть или предсказать их трудно. Возникают они вследствие внезапной концентрации нагрузок, превышающей расчетное значение для данных элементов, деталей или механизмов.

Под *элементами* в данном случае понимается все многообразие составляющих комплекса станок — устройство ЧПУ. Рабочие нагрузки также чрезвычайно многообразны и составляют совокупность разнородных параметров. Для механических систем это статические и динамические воздействия сил резания, приводов движений, трения; вибрации, высокие температуры; для гидравлических систем — повышенные температуры и давление, механические примеси и влага в рабочей жидкости; для электрических и электронных устройств — напряжение, сила тока, частота, температура, вибрации, загрязненность воздушной среды, ускорения, влажность и др. Интенсивность отказов элементов резко снижается, если снизить нагрузку на них. Это правило чрезвычайно важно на этапе проектирования, когда выбирают соотношения между номинальными уров-

нями прочности и нагрузки. Но многое можно сделать и на этапе эксплуатации станка, не нагружая его сверх допустимого уровня, обеспечив необходимый тепловой режим всех устройств и систем, не допуская запыленности, загрязнения, проникновения влаги и воздействия внешних вибраций.

В период нормальной эксплуатации вероятность безотказной работы $P_н$ определяется эксплуатационной зависимостью $P_н(t) = e^{-\lambda t}$, где $e = 2{,}71828$ — основание натурального логарифма; λ — постоянная, называемая интенсивностью внезапных отказов; t — произвольное время работы, для которого определяется надежность устройства.

Величина $P_н$ представляет собой вероятность того, что устройство с постоянной интенсивностью отказов не откажет в течение заданного времени t. Величина $m = 1/\lambda$ называется *средней наработкой на отказ* и исчисляется в часах.

Кривая интенсивности отказов в зависимости от времени эксплуатации приведена на рис. 3.23. Период приработки завершается к моменту $T_н$, период нормальной эксплуатации — к моменту $T_и$. Чтобы избежать отказов, связанных с изнашиванием, следует своевременно профилактически заменять износившиеся и устаревшие элементы. Такая замена позволяет почти полностью избежать отказов из-за изнашивания и повысить в конечном счете надежность станков. Заменять элемент следует раньше, чем он отработает весь срок M службы. Таким моментом должно быть время $T_и$, когда износ только начинает появляться и возникает вероятность первых отказов. Исходя из этого следует определить сроки профилактической замены элементов конструкции.

Исследование отказов и соответствующих простоев оборудования с ЧПУ позволяет разбить все виды отказов на определенные группы со свойственными каждой группе закономерностями.

Отказы электрооборудования станков, включая СЧПУ, распределяются по показательному закону $P(t) = e^{-\lambda t}$, где t — период времени безотказной работы; λ — интенсивность отказов (плотность вероятности возникновения отка-

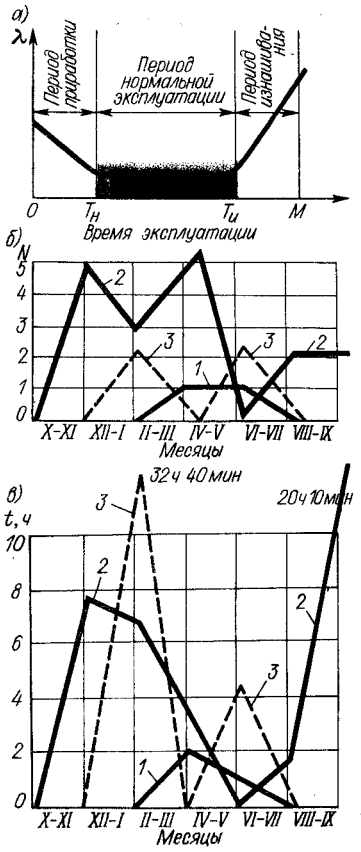


Рис. 3.23. Показатель работы многоцелевого станка в течение года эксплуатации: *а* **— интенсивность отказов λ в процессе эксплуатации станка;** *б* **— число отказов** N; *в* **— время простоев** t;

1—3 — отказы: *1* — организационные; *2* — электрооборудования; *3* — механической подсистемы

за). По мере совершенствования систем управления, перехода на микропроцессоры и бесконтактную автоматику отказы электрооборудования по сравнению с первыми моделями станков существенно снизились.

Отказы деталей и механизмов станка имеют разнообразный характер, и для их описания принимают обычно трехпараметрическое распределение Вейбулла

$$P(t) = e^{-(t/c-k)^b},$$

или иначе

$$P(t) = e^{-(1/a)(t-r)^b},$$

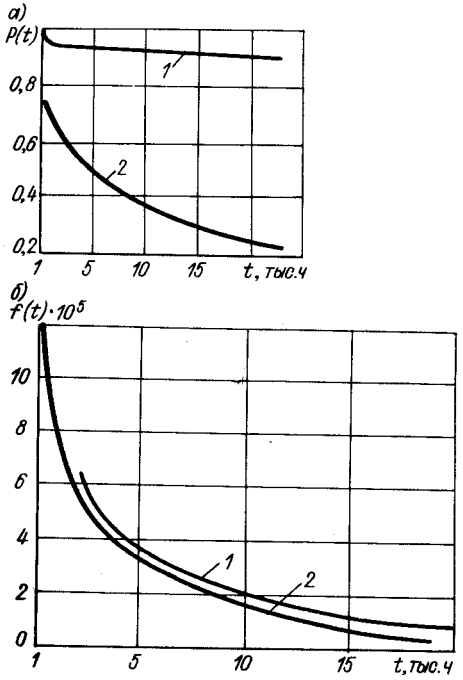


Рис. 3.24. Вероятность $P(t)$ ($а$) и плотность вероятности $f(t)$ ($б$) безотказной работы:
1 — одного многоцелевого станка; *2* — автоматической системы из четырех станков

где a, b, c, $r=kc$ — постоянные параметры распределения.

Иногда в целях упрощения обработки экспериментальных данных принимают двухпараметрическое распределение Вейбулла, полагая $r=k=0$.

В качестве примера на рис. 3.24 приведены данные по надежности взаимосвязанной группы станков с ЧПУ для обработки призматических деталей, состоящей из четырех многоцелевых станков.

Для оценки влияния надежности на производительность станка или станочной системы обычно вводят *коэффициент технического использования*

$$\eta_0=\left(1+\sum_{i=1}^{n}\lambda_i t_i\right)^{-1},$$

где n — число независимых элементов, подверженных отказам; λ_i — интенсивность отказов i-го элемента; t_i — среднее время на устранение отказа этого элемента.

С учетом коэффициента технического использования фактическая производительность одного станка выражается формулой $Q=Q_c\eta_0$, а группа станков в автоматической системе — формулой

$$a=Q_c a\eta_0,$$

где Q_c — производительность одного станка; a — среднее число одновременно обрабатываемых деталей.

Технологическая надежность станков с ЧПУ и автоматических станочных систем из этих станков — свойство сохранять во времени первоначальную точность оборудования и соответствующее качество обработки. Этот показатель играет важную роль в связи с большим сроком службы такого оборудования и интенсивной его эксплуатацией. В основе аналитических методов оценки технологической надежности станков с ЧПУ лежит разработка математической модели изменения точности обработки во времени. Если выбрать основные виды исходных погрешностей, наиболее существенно снижающих точность станков с ЧПУ во времени, то модель формирования суммарной ошибки можно привести к виду, изображенному на рис. 3.25.

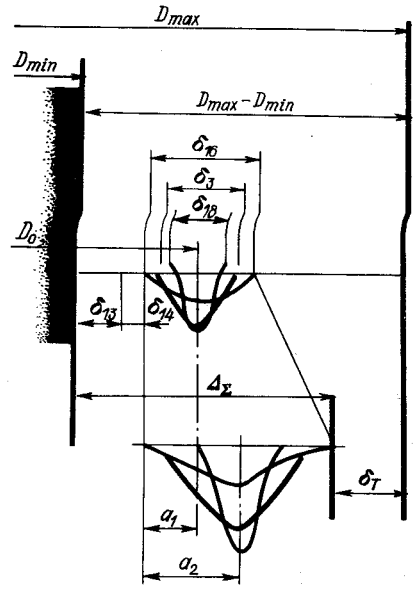


Рис. 3.25. Модель оценки уровня технологической надежности станка с ЧПУ: $\delta_т$ — запас станка по точности (обозначение исходных погрешностей см. в подписи к рис. 3.20)

Первичная настройка станка на размер D_0 контролируемого параметра осуществляется исходя из условия

$$D_0 = D_{\min} + \delta_{13} + \delta_{14} + a_1,$$

где $D_{\min}$ — минимально допустимое значение контролируемого параметра; δ_{13}, δ_{14} — систематические ошибки от геометрии и деформации станка (обозначение погрешностей см. в подписи на рис. 3.20); a_1 — зона рассеяния от действия случайных ошибок при установке детали (δ_{18}), при работе привода позиционирования (δ_3), при размерной установке инструмента (δ_{16}):

$$a_1 = \sqrt{(\delta_3/2)^2 + (\delta_{16}/2)^2 + (\delta_{18}/2)^2}.$$

По мере работы станка под воздействием возмущений, имеющих характер случайных процессов, центр зоны рассеяния размера D_0 смещается на некоторую величину $b(t)$, которую следует рассматривать как случайную функцию времени. Смещение происходит главным образом под воздействием температурных, износных и динамических факторов. К концу наладочного периода суммарная погрешность обработки достигает предельно допустимого значения

$$\Delta_\Sigma = \delta_{13} + \delta_{14} + 2a_2,$$

где $2a_2$ — зона рассеяния случайных ошибок к концу периода настройки.

Для оценки технологической надежности станка можно пользоваться запасом по точности обработки $\delta_т$ или коэффициентом запаса точности k:

$$\delta_т = D_{\max} - \delta_i - \Delta_\Sigma;\ k = (D_{\max} - D_{\min})/\Delta_\Sigma,$$

где δ_i — прочие неучтенные погрешности.

При эксплуатации станков с ЧПУ необходимо организовать наблюдение за работоспособностью станков и сбор статистической информации об отказах. Основной формой учета работы и отказов является эксплуатационный журнал — дневник, в котором фиксируют информацию о качестве выполнения отдельными системами станка требуемых функций, о всех нарушениях в нормальной работе, о проводившихся мероприятиях по восстановлению и поддержанию работоспособности с указанием времени выполнения каждого этапа эксплуатации станка. Из эксплуатационного журнала могут быть взяты все данные, необходимые для расчета удельной длительности восстановления. Наблюдения ведут за отдельными подсистемами станка и УЧПУ: механическими устройствами, гидросистемой, пневмосистемой, системой смазки и охлаждения, электрической аппаратурой, измерительными системами, устройством ввода информации, электронными блоками.

Диагностика является эффективным средством повышения надежности станков. При этом осуществляют направленный сбор текущей информации о состоянии станка и его важнейших узлов и элементов. Для сбора информации используют преобразователи, дающие сигнал по естественным для станка возмущениям или на основе специально возбуждаемых периодических воздействий. Поиск и диагностику ошибок, неисправностей, опасных отклонений от нормальной работы осуществляют различными методами. При использовании функциональной модели станок и отдельные его узлы (привод подачи, несущая система) разбивают на конечное число функциональных блоков с одним выходным контролируемым параметром. Совокупность выходных параметров, связанных в единую систему, служит основой модели всего узла или всего станка. Диагностика основана на алгебре логики; дефектное состояние функционального блока соответствует нулевому значению параметра, а нормальное состояние соответствует значению «1». Конкретный набор значений оценочных параметров характеризует определенный вид отказа и соответствующим образом кодируется. Для быстрого анализа ситуации и нахождения блока составляют диагностическую матрицу и соответствующую программу для ЭВМ. При этом методе диагностика носит *дискретный* характер.

При непрерывном действии станка или его узла используют *параметрический* метод диагностики. В этом случае математическую модель станка составляют в виде системы дифференциальных уравнений, а параметры в уравнениях

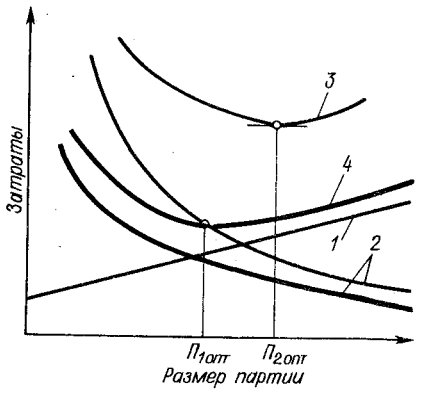


Рис. 3.26. Выбор оптимального размера партии обрабатываемых деталей для двух видов оборудования:

1 — затраты на амортизацию и «лишние» детали; *2* — затраты на переналадку; *3, 4* — суммарные затраты

уточняют по экспериментальным данным. В соответствии с принятой целевой функцией для станка или его узла выбирают критерии оптимизации, по которым на основе текущей информации осуществляются непрерывное регулирование (адаптивное управление) и диагностика.

Иногда используют энергетическую модель, основу которой составляет диаграмма распределения энергетического потока при оптимальный условиях работы станка. Значения параметров уточняют экспериментально. Изменение распределения потоков энергии, фиксируемое встроенными в станок датчиками, анализируют; оно является основой диагностического контроля.

Универсальность и экономическая эффективность станков с ЧПУ. *Универсальность* станков с ЧПУ и станочных систем определяется затратами на переход от обработки партии одних деталей к обработке партии других деталей. Для каждого вида оборудования существуют оптимальные условия эксплуатации, связанные с масштабом производства. Это относится и к отдельным станкам, и к станочным системам разной степени универсальности. В зависимости от соотношения затрат на переналадку оборудования и затрат, связанных с изготовлением «лишних» деталей, существует оптимальный размер партии деталей для каждого конкретного оборудования (рис. 3.26).

Универсальность и производительность — противоречивые требования, поэтому с уменьшением степени универсальности станков и станочных систем их производительность может быть повышена за счет концентрации технологических операций, совмещения времени рабочих и вспомогательных операций, применения многоинструментальной обработки.

Целесообразная степень универсальности оборудования в зависимости от масштаба производства для станков и станочных систем можно определить по рис. 3.27.

Экономическая эффективность является важнейшим параметром оценки работы станка и автоматической станочной системы, поскольку любой вид технологического оборудования направлен на снижение затрат труда в производстве. Как известно, снижение себестоимости связано со сроками обновления технологического оборудования, характеризуемыми определенными периодами T (рис. 3.28). Экономическую эффективность определяют суммированием приведенных затрат S как при со-

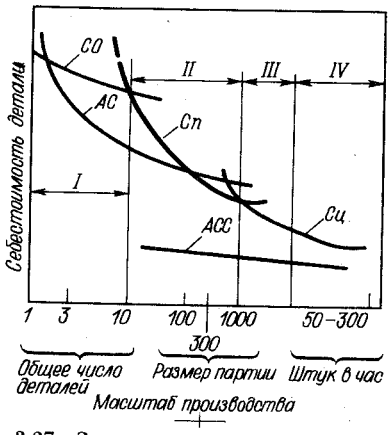


Рис. 3.27. Зависимость степени универсальности оборудования: от масштаба производства;

СО — станки общего назначения; *Сп* — специализированные станки; *Сц* — специальные станки; *АС* — автоматические системы из многоцелевых станков; *АСС* — автоматические системы из станков со сменными рабочими узлами; *I — IV* — виды производства: *I* — мелкосерийное; *II* — серийное; *III* — крупносерийное; *IV* — массовое

здании нового оборудования, так и при его эксплуатации. Таким образом, приведенные затраты S представляют собой сумму годовой себестоимости продукции c и нормативных отчислений от капитальных вложений F в производственные фонды:

$$S = c + kF,$$

где k — нормативный коэффициент окупаемости капитальных вложений.

Подробные методики расчета экономической эффективности оборудования приведены в литературе [43].

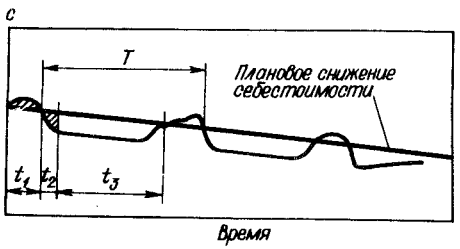


Рис. 3.28. Влияние экономической эффективности на сроки обновления технологического оборудования:

t_1 — срок внедрения; t_2 — срок окупаемости; t_3 — срок морального изнашивания

ГЛАВА 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

4.1. ОСОБЕННОСТИ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

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 в приспособлении, является одной из основных составляющих суммарной погрешности обработки. Следовательно, приспособления к станкам с ЧПУ *должны обеспечивать бóльшую 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 изготовлять 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 заготовок относительно установочных элементов приспособления, т. е. должны лишить ее всех степеней свободы. При этом необ-

ходимо 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 продольного 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.

Основные требования, предъявляемые к деталям, обрабатываемым на станках с ЧПУ, и влияющие на конструкцию приспособлений, могут быть сформулированы следующим образом.

1. Заготовки должны иметь хорошо оформленные установочные базовые поверхности, обеспечивающие точность базирования и надежность установки, а также удобные места для приложения сил зажима, обеспечивающие надежность закрепления без деформации. При отсутствии надежных установочных баз необходимо предусматривать технологические приливы, платики, бобышки, отверстия и т. д., обеспечивающие надежное базирование заготовок по трем плоскостям или по плоскости и двум отверстиям. При отсутствии удобных мест для приложения сил зажима необходимо предусматривать технологические выступающие платики, буртики, бобышки, гладкие или резьбовые отверстия и т. д., обеспечивающие возможность надежного зажима заготовок без перезакрепления их в процессе обработки. Места приложения сил зажима должны быть расположены так, чтобы зажимные устройства не препятствовали свободному подходу инструмента ко всем обрабатываемым поверхностям. На станках с ЧПУ наиболее целесообразно обрабатывать детали прямоугольных форм со сплошными платиками и приливами.

2. Для исключения переустановки детали или применения дополнительных приспособлений желательно, чтобы детали не имели поверхностей и отверстий, расположенных под углом.

3. Для обеспечения высокой точности базирования предпочтительно конструировать детали, позволяющие базировать их по трем плоскостям. При этом применяют в основном чистые базовые поверхности, которые на первых операциях подготовляют на обычных универсальных станках.

4. Если при обработке невозможно базировать заготовку по трем плоскостям, применяют менее точную схему базирования — по плоскости и двум отверстиям. При этом отверстия должны быть максимально удалены друг от друга и выполнены не ниже чем по 7-му квалитету.

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, сво-

дится лишь к замене программоносителя, 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 заготовки 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 времени 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.

Характерной особенностью применения станков с ЧПУ является увеличение затрат времени на технологическую подготовку производства. Даже при использовании работающих в автоматическом цикле многоцелевых станков, обеспечивающих автоматическую смену инструмента и заготовок, требуется значительное время на технологическую подготовку производства. Следовательно, обработка деталей на станках с ЧПУ увеличивает трудоемкость подготовки производства, и любое мероприятие, повышающее производительность труда на этапе технологической подготовки производства, значительно повышает эффективность применения станков с ЧПУ. В этом плане выгодно применять компоновки из заранее изготовленных унифицированных агрегатов, узлов и деталей или быстро переналаживать заранее изготовленные установочно-зажимные приспособления.

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 точ-

ность и долговечность, в результате чего повышается экономическая эффективность применения станков с ЧПУ за счет сокращения капитальных вложений на помещение и оборудование инструментальных цехов и высвобождения квалифицированных рабочих-инструментальщиков.

На станках с ЧПУ наиболее целесообразно применять системы обратимых переналаживаемых приспособлений, т. е. заранее изготовленных приспособлений многократного использования, не требующих затрат времени и средств на их проектирование и изготовление.

Поскольку на станках с ЧПУ обрабатывается максимально возможное число поверхностей с одной установки заготовки и, следовательно, время обработки велико, наиболее эффективно производить смену заготовок в приспособлениях вне рабочей зоны станка, совмещая время на смену заготовки с временем работы станка. Для этой цели целесообразно применять маятниковый способ обработки, двухпозиционные поворотные накладные столы, а также универсально-наладочные угольники с двумя или четырьмя установочными поверхностями, располагаемыми на поворотных столах. Таким образом, время смены заготовок в разгрузочной позиции совмещается со временем обработки заготовки, установленной в рабочей позиции.

При обработке заготовок корпусных деталей на многоцелевых станках особенно эффективно применение двух приспособлений, устанавливаемых на переходных плитах-поддонах (спутниках), обеспечивающих смену заготовок вне станка.

4.2. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИСПОСОБЛЕНИЙ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Системы приспособлений, применяемые на станках с ЧПУ, могут быть классифицированы [25] прежде всего по степени специализации (рис. 4.1).

Система универсально-безналадочных приспособлений (УБП). Конструкция УБП представляет собой законченный механизм долговременного действия с постоянными регулируемыми (несъемными) элементами для установки различных заготовок, предназначенный для многократного использования. УБП целесообразно применять на станках с ЧПУ в единичном и мелкосерийном производстве.

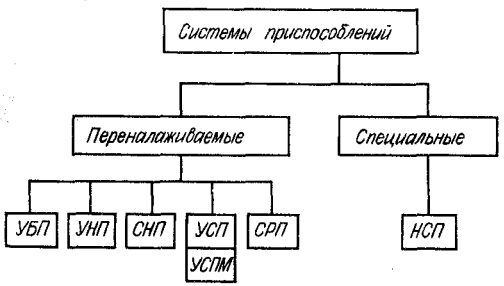


Рис. 4.1. Классификация систем приспособлений для станков с ЧПУ

К системе УБП относятся различные патроны, в частности поводковые. Эти патроны передают крутящий момент на заготовку от шпинделя станка с помощью или хомутика, или кулачков, или торцовых ножей, врезающихся в металл левого торца заготовки при поджиме ее задним центром к переднему.

Центробежные (инерционные) поводковые патроны выполняют двух или трехкулачковыми. Кулачки представляют собой независимые эксцентрики, которые под действием центробежных сил, воздействующих на грузы, приближаются к поверхности заготовки и зажимаются за счет сил самоторможения при воздействии на заготовку силы резания.

Патроны с торцовыми ножами (рис. 4.2, 4.3) не закрывают наружную поверхность заготовки и точно определяют положение торца по оси Z всех заготовок партии. Постоянство силы нажатия заднего центра и высокая жесткость ножевых опор обеспечивают достаточно стабильное положение левого торца заготовок всей партии. Если торец заготовки имеет отклонение от перпендикулярности к оси, то жесткие ножи (рис. 4.2) врезаются в нее неравномерно. Это приводит к смещению заготовки с оси и ее деформированию, уменьшается передаваемый крутящий момент.

У *патронов с плавающими ножами* (рис. 4.3) ножи выполнены в виде цилиндров, расположенных в гнездах корпуса оправ-

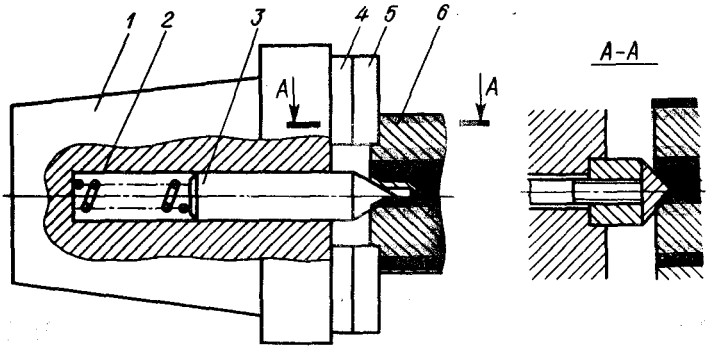


Рис. 4.2. Поводковый патрон с торцовыми ножами:

1 — корпус; *2* — пружина; *3* — центр; *4* — торцовый упор; *5* — нож упора из твердого сплава; *6* — обрабатываемая заготовка

ки. Задние концы цилиндров входят в кольцевую полость, заполненную гидропластом. При нажатии торцом вала на один из ножей давление в массе гидропласта возрастает, ножи, не имеющие контакта с торцом, смещаются вперед до тех пор, пока силы нажима на все ножи не станут одинаковыми. Такая конструкция обеспечивает по сравнению с жесткими ножами передачу большего крутящего момента. Сила поджима заднего центра в 20 кН дает возможность передать крутящий момент до 120 Н·м, что гарантирует возможность обработки заготовок в обычных режимах чернового точения. Число ножей у патрона может быть различным.

Система универсально-наладочных приспособлений (УНП). Состоит УНП 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.

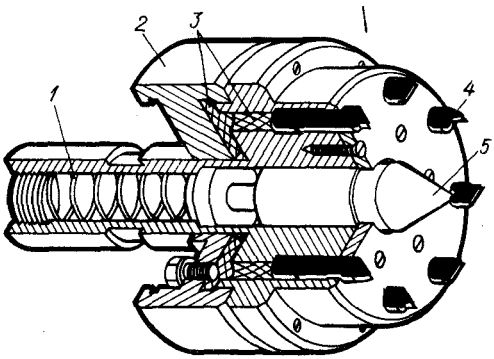


Рис. 4.3. Поводковый патрон с плавающими ножами:

1 — пружина; *2* — корпус; *3* — гидропласт; *4* — нож упора; *5* — центр

Для токарных станков с ЧПУ наиболее распространенными зажимными устройствами системы УНП являются трехкулачковые переналаживаемые патроны. Их переналадка чаще всего сводится к замене кулачков.

Патрон типа ПКС (патрон клиновой самоцентрирующий) имеет в корпусе радиальные пазы, в которых размещены три основных кулачка, с рифленой поверхностью которых сопрягаются сменные кулачки. Сменные кулачки закрепляют сухарями и винтами.

Приводом для быстродействующих патронов является (через промежуточную тягу) механизированный силовой привод от электромеханических головок, пневматических или гидравлических цилиндров, закрепляемых с помощью переходного фланца на заднем конце шпинделя. В конструкции отечественных станков наиболее часто применяют вращающиеся пневматические цилиндры с воздухоподводящей муфтой.

Система специализированных наладочных приспособлений (СНП). Эта система 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 возмож-

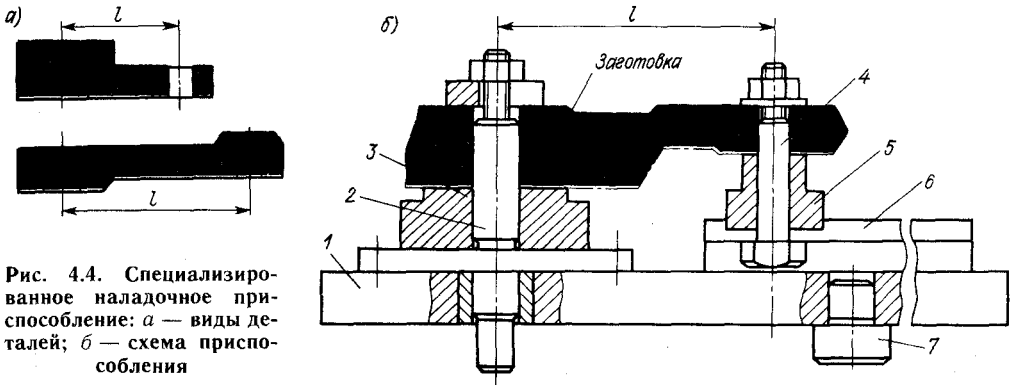


Рис. 4.4. Специализированное наладочное приспособление: *а* — виды деталей; *б* — схема приспособления

ность смены заготовок вне рабочей зоны станка. Эффективной областью применения СНП на станках с ЧПУ является серийное производство.

Приспособление, показанное на рис. 4.4, предназначено для установки заготовок деталей типа рычагов (рис. 4.4, *а*), кулачков и др., которые базируются по плоскости и двум отверстиям при обработке по контуру.

Приспособление (рис. 4.4, *б*) состоит из базовой плиты *1* и сменных оправки *2*, штыря *4* и опор *3*, *5*. Приспособление базируется на столе станка концом сменной оправки *2* и штырем *7*. Заготовка базируется по плоскостям опор *3* и *5*, и поверхностям оправки *2* и штыря *4* и закрепляется двумя гайками. Сменные штыри *4* вместе с опорой *5* можно при наладке приспособления устанавливать по пазу направляющих *6* приспособления в зависимости от расстояния *l* между базовыми отверстиями заготовки.

Если использовать приспособление для установки заготовок типа кулачков по отверстию и шпоночному пазу, то применяется сменная оправка *2* со шпонкой.

Система универсально-сборных приспособлений (УСП). Компоновки 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 доработки. 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.

Исходным для сборки приспособления (рис. 4.5), являются различные базовые элементы, с которыми (при компоновке и сборке приспособления) 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).

Компоновка четырех гидроприхватов на опорной базовой плите *4* с упорными базовыми элементами *1* отличается простотой (рис. 4.6, *а*), причем гидроприхваты обеспечивают достаточно большие усилия при креплении заготовки и являются быстродействующими. Основой гидроприхвата (с прижимной планкой *2*) является гидроцилиндр *3*, показанный на рис. 4.6, *б*. Он состоит из трех основных частей: корпуса *9*, поршня *5* с возвратной пружиной *7* и фиксирующей гайки *8*. При подаче масла под давлением через штуцер *6* поршень поднимается вместе с одним из концов планки, поворачивая ее относительно средней опоры (винт с гайкой). Происходит закрепление заготовки. После

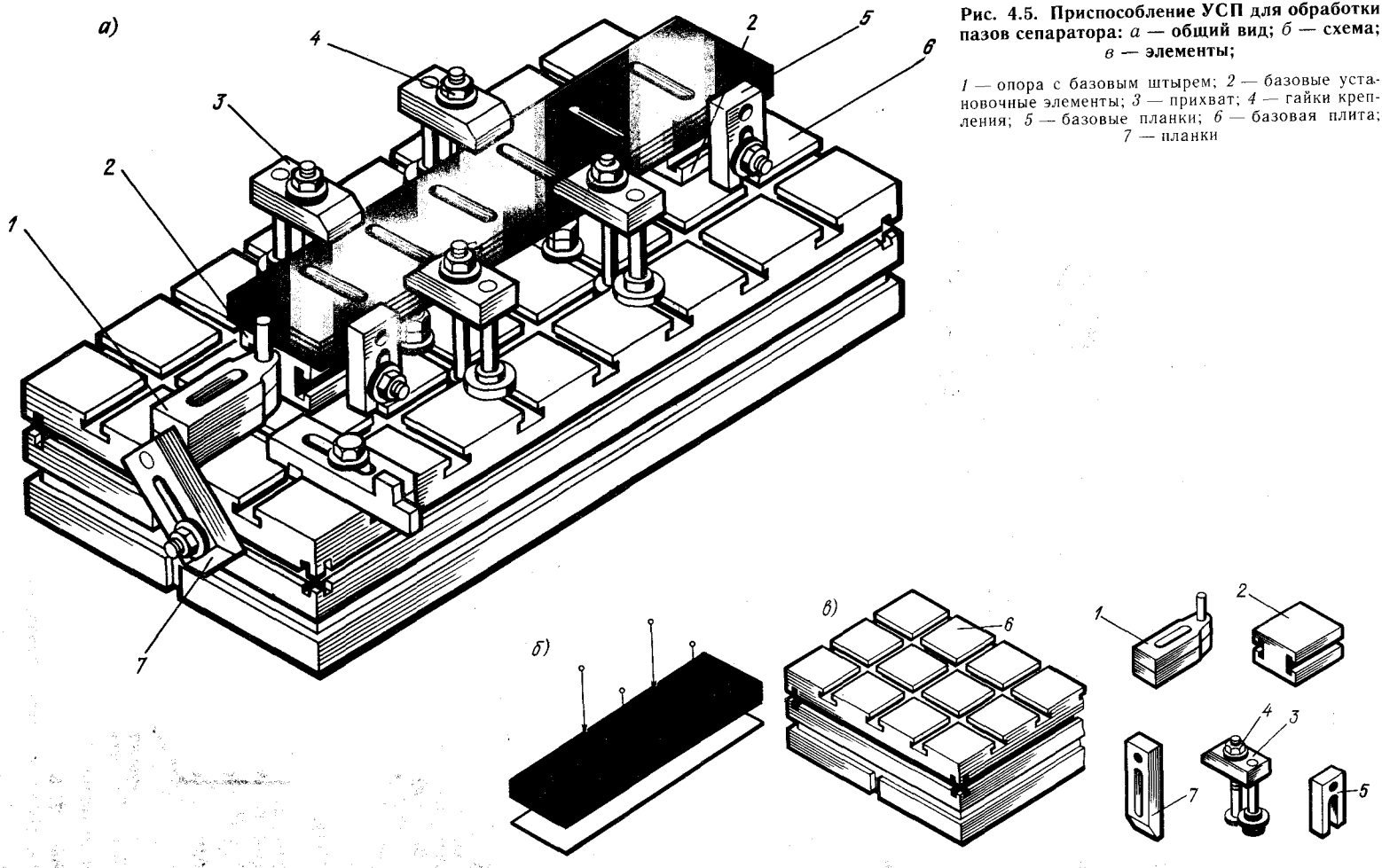


Рис. 4.5. Приспособление УСП для обработки пазов сепаратора: *а* — общий вид; *б* — схема; *в* — элементы;

1 — опора с базовым штырем; *2* — базовые установочные элементы; *3* — прихват; *4* — гайки крепления; *5* — базовые планки; *6* — базовая плита; *7* — планки

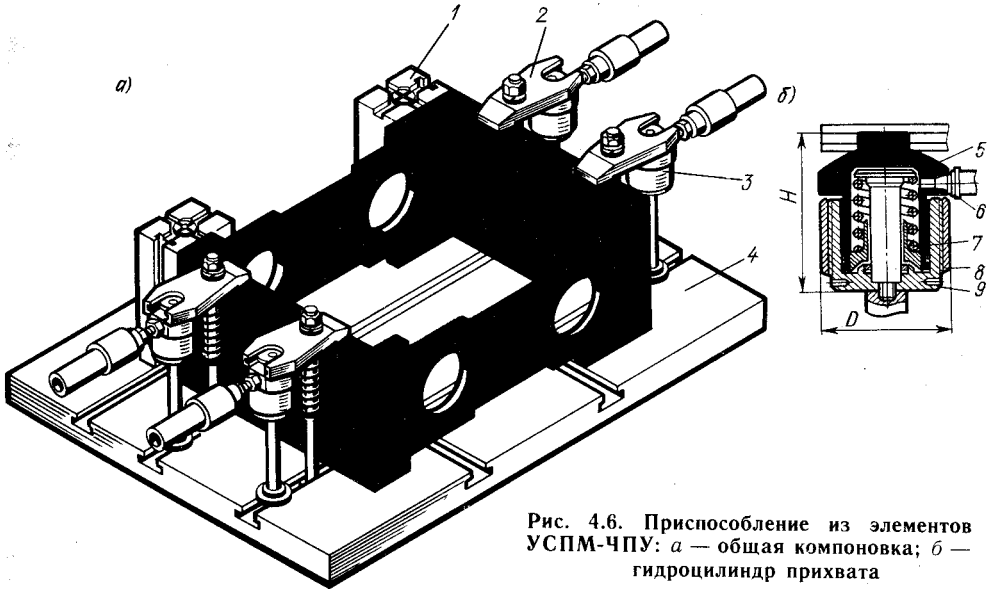


Рис. 4.6. Приспособление из элементов УСПМ-ЧПУ: *а* **— общая компоновка;** *б* **— гидроцилиндр прихвата**

этого, вращая вручную гайку *8* с накатанной наружной поверхностью, поднимают ее до упора в торец поршня. Теперь при снятом давлении масла в гидроцилиндре заготовка остается надежно закрепленной.

Сборно-разборные наладочные приспособления (СРП). Эти приспособления 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 высокие точность, жесткость и стабильность параметров приспособления. Фиксирующие от-

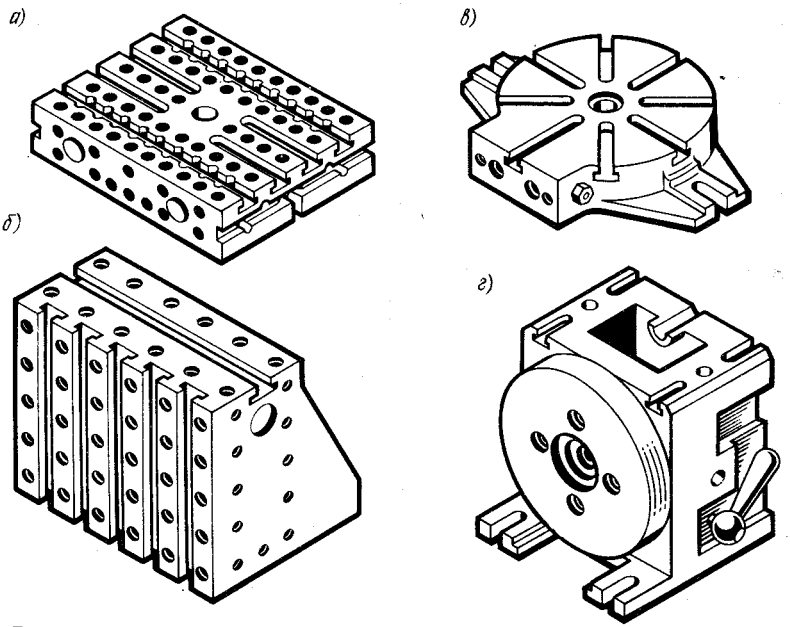


Рис. 4.7. Базовые сборочные единицы комплекта СРП-ЧПУ; *а* **— прямоугольная плита;** *б* **— стойка;** *в* **— круглая плита;** *г* **— делительная стойка**

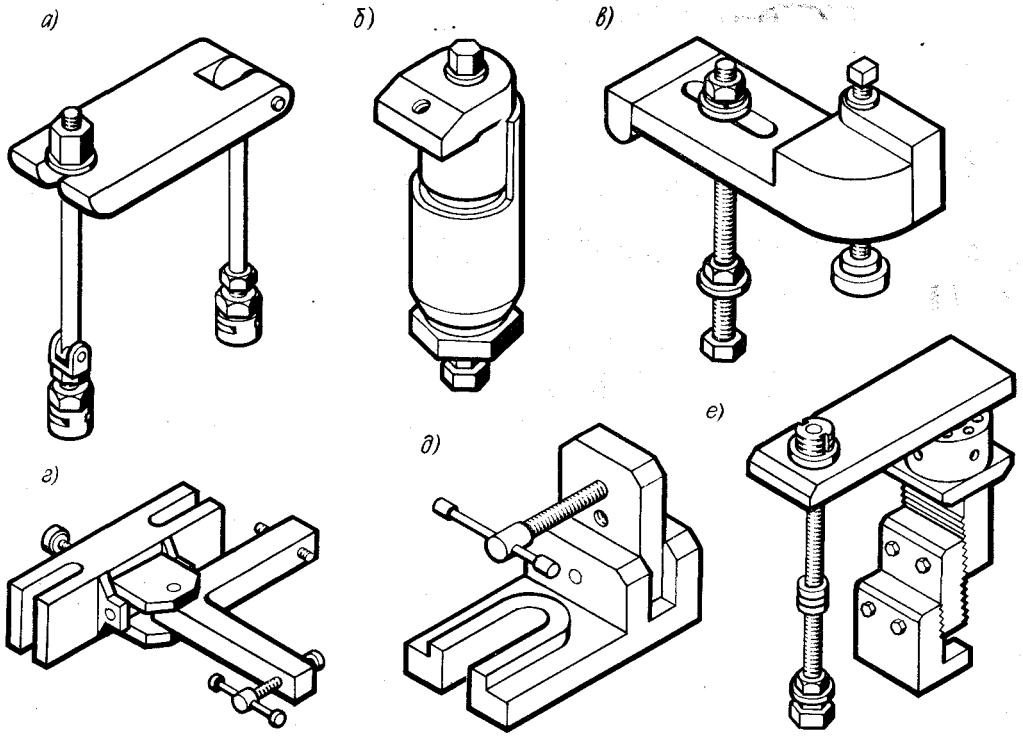


Рис. 4.8. Прихваты, входящие в комплект СРП-ЧПУ: *а* **— качающийся;** *б* **— гидравлический передвижной с регулируемой опорой;** *в* **— Г-образный;** *г* **— угловой откидной;** *д* **— откидной;** *е* **— высокий**

верстия выполнены во втулках из прочного и износостойкого металла, втулки запрессованы в корпуса плит и угольников. Для крепления базовые элементы комплекта снабжены Т-образными пазами.

В комплект СРП-ЧПУ входят базовые сборочные единицы (рис. 4.7) — 2—5 %; прижимные элементы (рис. 4.8) — 18—20 %; опорные элементы (опоры регулируемые, подводимые, самоустанавливающиеся, планки, подкладки) — 8—10 %; установочные элементы (пальцы, штыри, шаблоны) — 15—20 %; крепежные детали — 45—50 %; пружины, переходные планки для дополнения приспособлений элементами из комплектов УСП — 2—5 % от общего числа единиц.

Для механизации закрепления в комплект входят прямоугольные и круглые плиты со встроенными гидравлическими цилиндрами, а также отдельные гидравлические прижимы.

Техническая характеристика комплектов СРП-14-ЧПУ и СРП-18-ЧПУ

Число деталей и сборочных единиц	1050
Габаритные размеры базовой плиты, мм:	
ширина	240; 360
высота	60; 90
длина	600; 900
Ширина крепежного паза, мм	14; 18
Шаг между крепежными пазами, мм	$60 \pm 0{,}6$; $80 \pm 0{,}6$
Диаметр координатно-фиксирующих отверстий, мм	12Н7; 16Н7
Шаг координатно-фиксирующих отверстий, мм	$60 \pm 0{,}015$; $80 \pm 0{,}015$
Диаметр крепежного болта, мм	М12; М16
Рабочее давление гидропривода, МПа	10,0
Наибольшее усилие гидравлического прижима, кН	50
Время сборки одного приспособления средней сложности, ч	0,5

Сборно-разборные приспособления компонует наладчик на специализированном участке. Он использует карту налад-

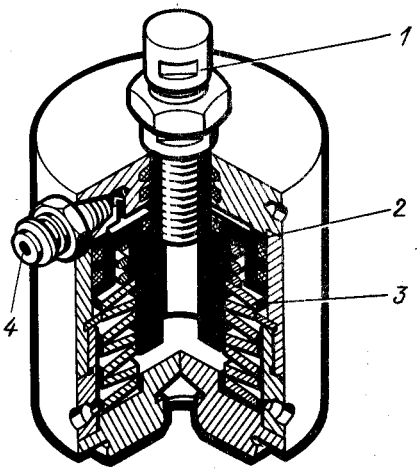


Рис. 4.9. Пружинно-гидравлический цилиндр толкающего действия

ки приспособления, в которой приведен перечень базовых и прижимных элементов приспособления, указаны базовые поверхности и места их расположения, вид привода, габаритные размеры по высоте.

Гидравлические цилиндры, встроенные в базовые сборочные единицы, работают под давлением 10,0—15,0 МПа от электрогидравлических усилителей давления. При использовании электрогидравлического насоса цилиндры подключают или к гидросистеме станка, или к отдельной насосной станции, содержащей насосную установку, резервуар для масла, фильтры, контрольно-регулирующую аппаратуру. Одна такая установка может обслуживать несколько станков.

Пневмогидроусилитель состоит из пневматического и гидравлического цилиндров; соотношение их диаметров таково, что площадь пневмоцилиндра в 20 раз больше площади гидроцилиндра, тем самым давление воздуха в 0,5 МПа приводит к получению рабочего давления масла в 10,0 МПа.

Иногда для привода зажимного устройства используют наборы тарельчатых пружин (ГОСТ 3057—79*), а с помощью гидравлики снимают усилие и раскрепляют заготовку.

Такой зажимный элемент (рис. 4.9) имеет внутри корпуса пружины *3*, упирающиеся в рабочий стержень *1*. При подаче масла через штуцер *4* поршень *2* сжимает пружины и обеспечивает раскрепление. Пружинный зажим обеспечивает постоянную силу закрепления и безопасность в случае падения давления масла в гидросистеме.

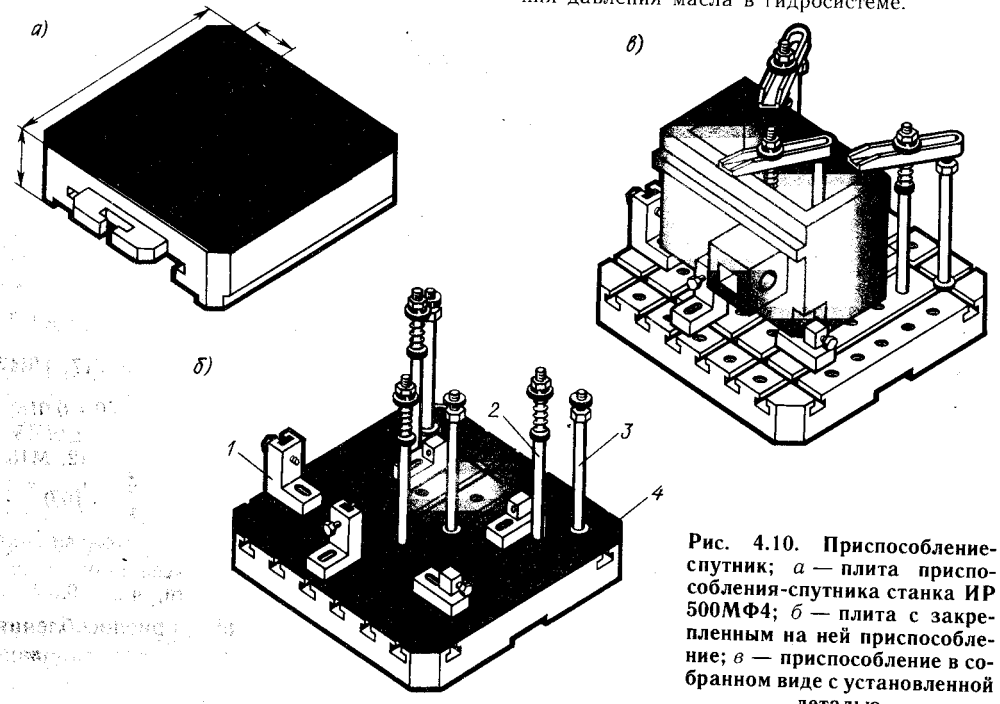


Рис. 4.10. Приспособление-спутник; *а* — плита приспособления-спутника станка ИР 500МФ4; *б* — плита с закрепленным на ней приспособление; *в* — приспособление в собранном виде с установленной деталью

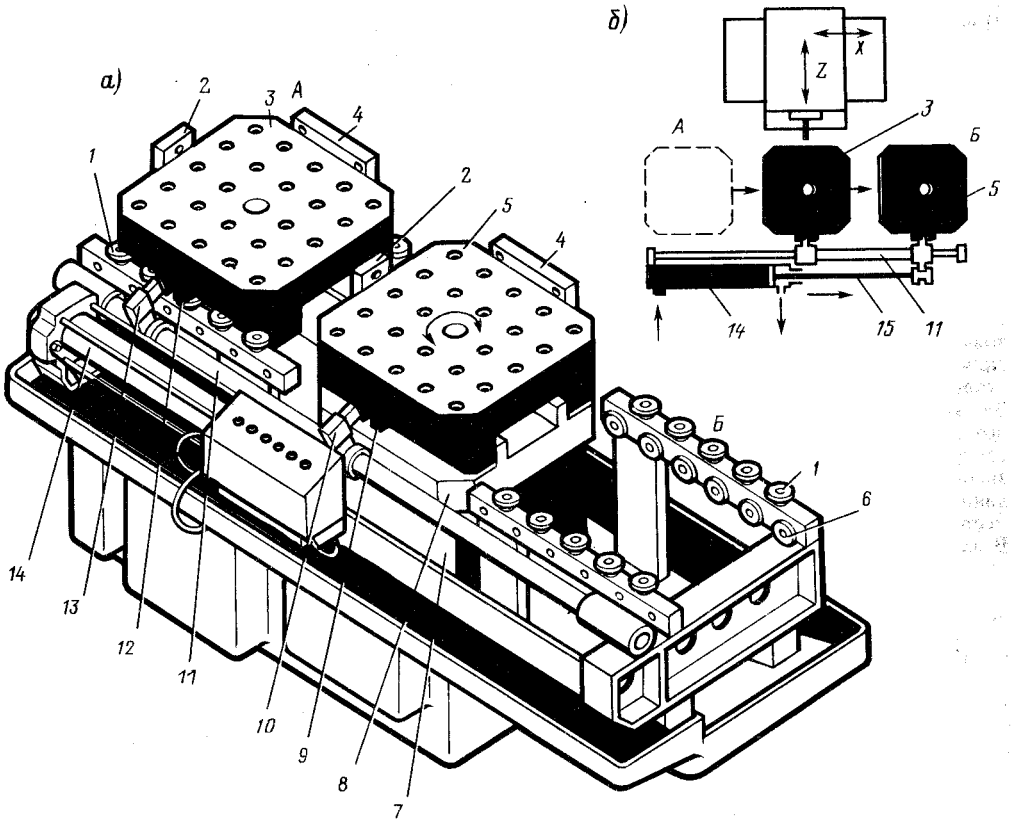


Рис. 4.11. Устройство замены приспособления-спутника на станке: *а* — общий вид; *б* — схема действия

Соединять различные гидроцилиндры с источником питания очень удобно с помощью быстроразъемной муфты.

При использовании СРП для многоцелевых станков часто базовую плиту выполняют как основание приспособления-спутника. Это жесткая плита (рис. 4.10, *а*) с точно обработанными поверхностями, имеющая направляющие для прямолинейных перемещений. На такой плите *4* (рис. 4.10, *б*) размещают базовые элементы *1*, предназначенные для установки заготовки. Каждый элемент закрепляют в нужном положении с помощью сухаря, вставленного в Т-образный паз, и болта с внутренним шестигранником, пропущенным через отверстие опоры. В качестве крепежных элементов используют шпильки *2*, ввернутые в резьбовые отверстия плиты или в сухари, вставленные в Т-образные пазы, и регулируемые по высоте упоры *3*, закрепленные в плите таким же образом. Заготовки закрепляют прихватами и гайками, навернутыми на верхние концы крепежных шпилек (рис. 4.10, *в*). Для получения нужной силы зажима можно использовать электромеханический или гидромеханический ключ, расположенный на рабочем месте, где заготовки устанавливают в приспособление-спутник перед подачей его на станок.

Предусмотрена также возможность использования для закрепления заготовок сменных силовых приводов, устанавливаемых взамен зажимных гаек.

Обычно в системе станка приспособление-спутник с закрепленной заготовкой подается на основной стол станка и удаляется с него в разгрузочную позицию автоматически.

Поясним это на примере (рис. 4.11). Станок имеет один точный поворотный стол *8*, установленный на жесткой станине *7*.

Прямолинейных перемещений у стола нет, их выполняет стойка со шпиндельной бабкой.

На поворотном столе и расположенной слева от него загрузочно-разгрузочной позиции А находятся плиты-спутники *3* и *5*. Спутники имеют горизонтальную базовую плоскость и планки *2* и *4*, позволяющие точно ориентировать заготовку в пространстве. Сетка резьбовых отверстий служит для расстановки других базовых и крепежных элементов. Справа от стола станка находится вторая загрузочно-разгрузочная позиция *Б*. Для того чтобы уяснить цикл работы станка, представим, что на спутнике *5* закреплена заготовка и станок выполняет ее обработку сначала с одной, а затем — после поворота стола вместе со спутником — с других сторон. За это время на спутник, находящийся в позиции *А*, устанавливают вторую заготовку. Когда обработка первой заготовки закончится, спутник *5* автоматически передвинется в позицию *Б* для разгрузки, а на его место поступит спутник *3* со второй заготовкой. В дальнейшем «маятниковое» движение спутников будет повторяться. Для перемещения их с позиций *А* и *Б* имеются поддерживающие *6* и направляющие *1* ролики.

Транспортирующим органом служит гидроцилиндр *14*, шток *15* которого связан со штангой *11*. На штанге имеются захваты *10* и *13*, которые могут входить в зацепление с замками *9* и *12* спутников. Для этого штанга поворачивается относительно горизонтальной оси (с помощью механизма, не показанного на рисунке). Отводить захваты от спутников необходимо для того, чтобы можно было поворачивать спутник, находящийся в рабочей позиции.

При использовании приспособлений-спутников возникают определенные трудности, связанные с необходимостью точно фиксировать спутник на столе станка. Эта задача решается двумя путями.

Первый путь — базирование спутника на столе станка по плоским направляющим и двум базовым фиксаторам с последующим закреплением. В этом случае может появиться погрешность установки вследствие наличия зазоров и изнашивания фиксаторов и их направляющих, а также базовых отверстий спутников.

Второй путь, более сложный,— контроль положения спутника после его закрепления на столе станка с последующим вводом коррекции, учитывающей погрешность положения спутника, в УП.

Закрепляют спутники на столе станка двумя основными способами. Первый — с помощью силового привода (как правило, гидравлического), при этом необходимо подводить масло высокого давления к подвижному и поворотному столам. Второй способ несколько проще. Спутник закрепляют с помощью Г-образных прихватов, автоматически вводимых в пазы плиты спутника и поджимающих его к направляющим с помощью мощных тарельчатых пружин. Пружины обеспечивают постоянство силы закрепления спутника в процессе обработки заготовки. Тогда при смене заготовок встает задача не закрепления, а раскрепления путем принудительного сжатия тарельчатых пружин.

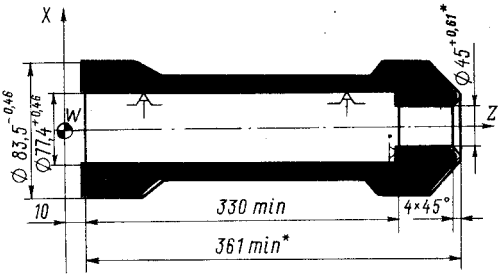
Система неразборных специальных приспособлений (НСП). Обычно НСП используют в условиях массового и крупносерийного производства. Приспособления этой системы не являются переналаживаемыми. Детали нельзя повторно использовать в других компоновках. Конструкции приспособлений предназначены для одной определенной детале-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 должна быть максимально упрощена. Проектируют НСП по определенным правилам и методикам [65].

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.

Технические условия на проектирование приспособлений оформляют на специальном бланке. Они содержат схему и поясняющий текст, в которых должны

быть указаны: схема базирования заготовки с определением всех баз и мест размещения прижимов, прижимающих заготовку к базам; увязка базовых поверхностей детали с осями координат детали и (если необходимо) станка, фиксирующими элементами приспособления и исходной точкой; перечень обрабатываемых поверхностей; тип приспособления, вид привода и особые требования к зажимным устройствам; габаритные размеры приспособления по высоте и высота выступающих над обрабатываемой деталью элементов приспособления; шифр изделия, номер чертежа, наименование детали, шифр и номер РТК; дополнительные указания технолога, связанные с особенностями обработки детали на станке с ЧПУ. В ряде случаев к ТУ прилагают операционный эскиз. Пример возможного оформления ТУ на приспособление дан на рис. 4.12.

При разработке приспособления необходимо пользоваться паспортом станка, определяющим наладочные и присоединительные места станка. Эти данные приводятся также в некоторых справочниках.



ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ
на проектирование специального токарного приспособления по РТК № 1821 Т-613

Число установов - 1
Вид привода - пневматический, диаметр поршня 200мм, p=0,4 МПа
Зажимные устройства - цанги, 2шт., по пять лепестков
Базирование детали - по внутренней поверхности и торцу
Обрабатываемые поверхности - подрезка торца, наружный контур; фаска

Рис. 4.12. Пример оформления технических условий на разработку токарного приспособления

4.3. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

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.

При обработке деталей на станках токарной группы используют резцы,

сверла, зенкеры, развертки, метчики, реже фрезы некоторых типов и др. Наибольшее распространение получили резцы.

Требования к резцам

Резцы для станков с ЧПУ имеют определенные типовые конструкции. Все они являются сборными и оснащаются многогранными пластинами из твердого сплава, минералокерамики или сверхтвердых материалов.

Резцы для станков с ЧПУ должны отвечать следующим требованиям:

1) максимально использовать неперетачиваемые пластины, механически закрепляемые на корпусе инструмента, что обеспечивает постоянство его конструктивных и геометрических параметров в процессе эксплуатации;

2) использовать наиболее рациональные формы пластин, обеспечивающих универсальность инструмента, т. е. позволять обрабатывать одним резцом максимальное число поверхностей детали;

3) позволять систематизацию основных и присоединительных размеров инструмента; резцы с различными углами в плане должны иметь одни и те же основные координаты, что создает удобство для программирования технологических операций;

4) допускать возможность работы всех инструментов в прямом и перевернутом положениях;

5) предусматривать применение в левом исполнении;

6) обеспечивать повышенную точность инструмента, особенно резцовых вставок, по сравнению с универсальным инструментом для станков с ручным управлением; это необходимо для повышения точности предварительной наладки и установки инструмента «в размер» после его закрепления на станке или в резцовом блоке;

7) удовлетворительно формировать стружку и отводить ее по канавкам, образованным в процессе прессования и спекания твердого сплава или вытюченным алмазным кругом на передних поверхностях пластин.

Виды резцов

Резцы со сменными многогранными твердосплавными пластинами. Этот вид резцов наиболее широко используется на станках с ЧПУ. Конструкции резцов отличаются типом, формой, видом узла крепления пластины и державки, формой используемых пластин. Ассортимент сменных многогранных пластин (СМП), используемых в резцах и других инструментах, весьма разнообразен: правильные многогранники, ромбы, круги, прямоугольники и параллелограммы, а также пластины специальных форм для обработки канавок и галтелей для обрезки и др.

При правильной организации инструментального производства технико-экономический эффект от применения инструмента с СМП очень велик (рис. 4.13).

В комплект инструмента для токарных станков с ЧПУ обычно входят следующие резцы (рис. 4.14):

1 — резцы проходные отогнутые правые с $\varphi = 45°$ для патронной обработки деталей типа фланцев, которые обеспечивают наружную обточку, проточку торцов, проточку выточек, снятие фасок;

2 — резцы контурные с параллелограммными пластинами с $\varphi = 93 \div 95°$, которые позволяют производить обточку деталей по цилиндру и конусу, протачивать обратный конус с углом спада до 30°, обрабатывать радиусные поверхности, галтели и протачивать торцы движением от центра детали к наружному диаметру. Данными резцами можно протачивать канавки для выхода шлифовального круга;

3 — резцы контурные с параллелограммными пластинами с $\varphi = 63°$, которые позволяют производить обработку полусферических поверхностей и конусов с углом спада до 57°;

4 — резцы резьбовые с ромбическими пластинами, закрепленными сверху при помощи прихвата. Резцы позволяют нарезать резьбы с шагом от 2 до 6 мм.

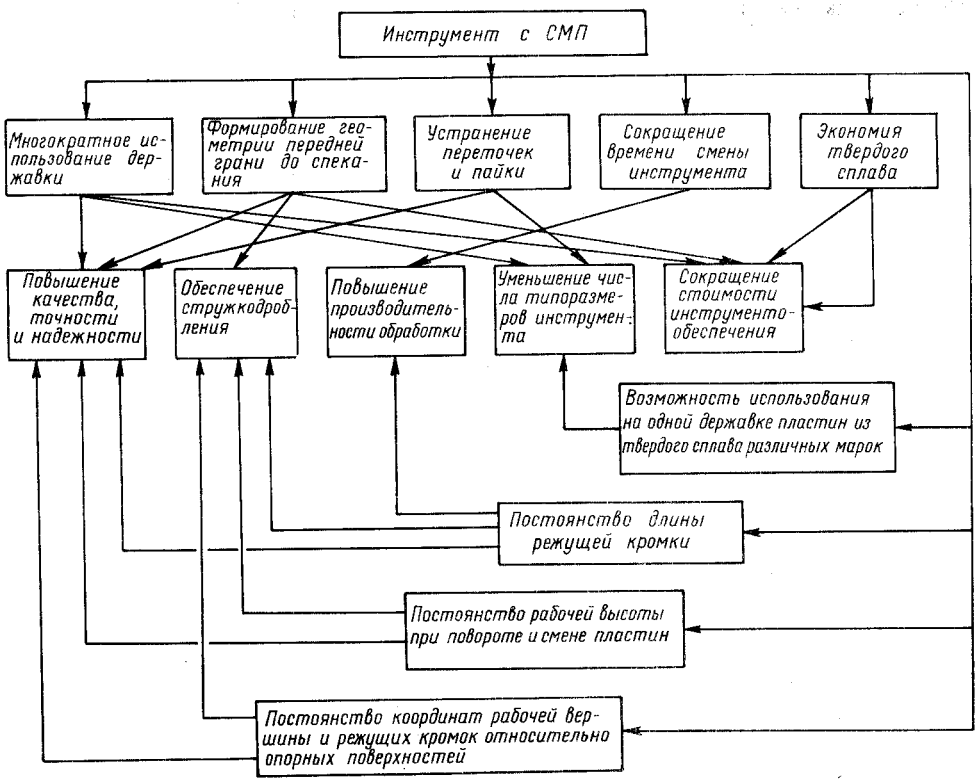


Рис. 4.13. Эффективность инструмента со сменными многогранными пластинами (СМП)

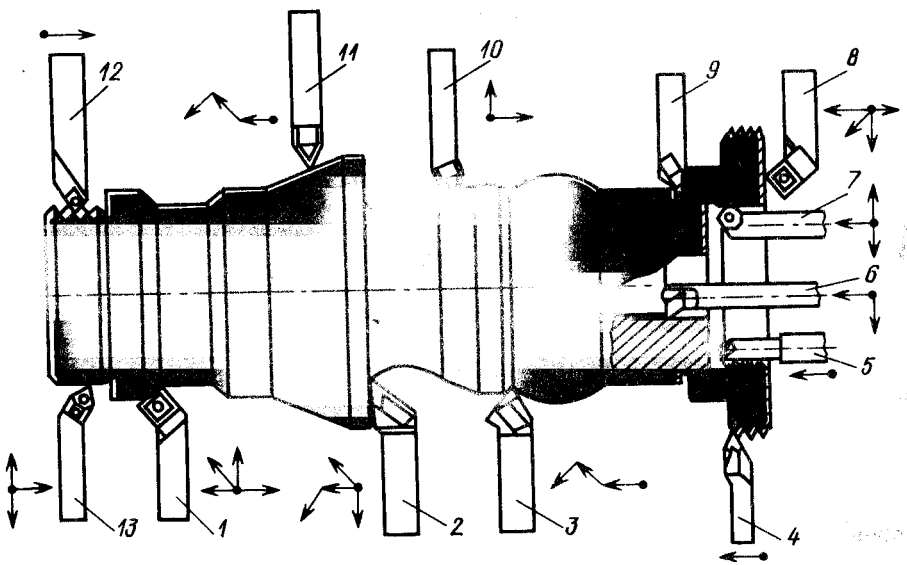


Рис. 4.14. Схема обработки основных типовых поверхностей токарными резцами со сменными многогранными пластинами

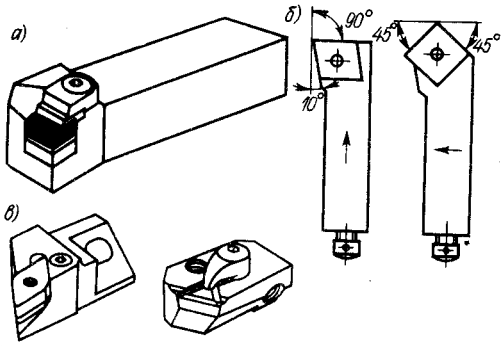


Рис. 4.15. Токарные резцы: *а* **— полномерный (проходной);** *б* **— резец-вставка с регулировочным винтом;** *в* **— укороченные резцы-вставки**

Угол профиля обеспечивается формой пластины;

5 — резцы резьбовые для нарезания внутренних резьб. Позволяют нарезать резьбы с шагом до 2 мм с близким подходом к торцу. Точность профиля резьбы обеспечивается заточкой пластин. Наименьший диаметр отверстия, в котором можно нарезать резьбу,— 35 мм;

6 — резцы с ромбическими пластинами с $\varphi=95°$ для растачивания сквозных отверстий и проточки заточек;

7 — резцы расточные с $\varphi=92°$, позволяющие растачивать отверстия диаметром от 22 мм и более;

8 — резцы проходные с $\varphi=45°$ и квадратными пластинами, левые для наружной обточки, проточки торцов деталей, проточки выточек, снятия фасок. Наибольшее применение находят при патронной обработке фланцевых деталей;

9 — резцы для проточки наружных прямых канавок шириной от 1 до 6 мм с глубиной, равной ширине. Пластины специальной формы закрепляются с помощью прихватов. Разработаны резцы с использованием специальных двусторонних пластин для проточки внутренних прямых канавок и наружных угловых. Аналогичные конструкции могут быть применены для обработки канавок под стопорные кольца, радиусные канавки и т. п.;

10 — резцы контурные с пластиной трехгранной правильной формы с $\varphi=93°$, которые позволяют протачивать цилиндрические и фасонные поверхности. Достоинства их в том, что в них используются три рабочие вершины по сравнению с двумя у резцов с параллелограммными пластинами. Однако при этом жесткость крепления пластин снижается;

11 — резцы контурные с пластиной трехгранной формы с $\varphi=63°$;

12 — резьбовые резцы для нарезания наружных резьб с шагом до 2 мм. Режущая прямоугольная пластина закрепляется на державке с помощью прихвата. Профиль вершины резца обеспечивается заточкой пластин под углом, равным углу профиля резьбы;

13 — резцы проходные упорные с трехгранной пластиной неправильной формы с $\varphi=92\div95°$, которые позволяют протачивать ступенчатые поверхности, фаски, торцы движением от наружного диаметра к центру детали. Режущая пластина закрепляется клином или рычажным устройством.

Применяют три исполнения резцов (рис. 4.15):

1) полномерные;

2) резцы-вставки;

3) укороченные с регулировочными элементами.

Полномерные токарные резцы всех исполнений достаточно широко используют в производстве на станках со съемными инструментальными блоками (в них инструмент настраивается вне станка) или с суппортами.

Резцы-вставки, как и полномерные резцы, конструктивно могут быть выполнены с пластиной любой формы. Наличие винта в торце вставки позволяет достаточно просто отрегулировать вылет резца.

Унифицированные *укороченные резцы-вставки* закрепляют на оправках в самых разнообразных сочетаниях. Существует несколько конструктивных исполнений резцовых вставок с различными углами в плане, параметрами пластин и методами их закрепления на корпусах; призматические без регулировочных винтов; с винтами для поперечного и осевого регулирования и др.

Для подналадки расточных резцов с точностью 0,05—0,01 мм на диаметр

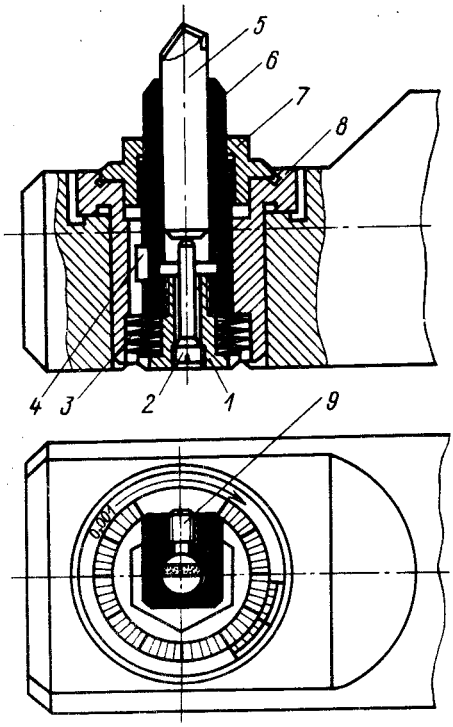


Рис. 4.16. Микрометрическая вставка в расточную оправку

применяют резцы-вставки с микрометрическим регулированием вылета. Такую вставку (рис. 4.16) устанавливают в гнездо расточной оправки. Державка *6* с закрепленным с помощью винта *9* резцом *5* перемещается во время «наладки на размер» во втулке *8* при вращении лимба *7*. Шпонка *4* предотвращает поворот державки. Для устранения зазоров в сопряжениях имеется комплект тарельчатых пружин *3*, размещенный в выточке втулки *8*. Пружины упираются в буртик втулки *1*, ввернутой в державку, и стремятся сдвинуть ее вниз. Винт *2* служит для грубой наладки резца на размер. Тонкая наладка достигается поворотом лимба с ценой деления 0,01 мм. На торце втулки *8* имеется нониус, позволяющий отсчитывать перемещения резца с точностью 1 мкм. При изменении размера более чем на 0,5 мм используют винт *2*.

В практике стремятся ограничить номенклатуру резцов, используя для разных видов точения державки с единой формой пластины (рис. 4.17).

Резцы с механическим креплением пластин из минералокерамики. На станках с ЧПУ в ряде случаев можно использовать резцы с режущей частью из минералокерамики. Керамические пластины изготовляют прессованием и спеканием из составных элементов. Белая (окисная) керамика состоит на 99 % из Al_2O_3 и не содержит связки. Высокая твердость основы и ее тугоплавкость определяют хорошие режущие свойства керамики, однако изгибная прочность низка (250—350 МПа). Прочность керамики увеличивают добавлением карбидов металлов, например карбидов титана (черная керамика). Прочность на изгиб при этом увеличивается до 700—750 МПа.

Наиболее широко применяются марки окисно-карбитной группы ВЗ, ВОК-60 и ВОК-63. Основная область применения этих марок — чистовое и получистовое точение закаленных сталей и серых чугунов. Возможна обработка конструкционных легированных и быстрорежущих сталей. Скорость резания 200—250 м/мин для сталей и 150—250 м/мин для чугунов.

Неперетачиваемые пластины из минералокерамики обычно работают с отрицательными передними углами ($-6°$) и углами наклона режущей кромки $-4°$. Геометрическая форма должна обеспечивать наибольшую прочность пластины, поэтому рекомендуются резцы с квадратными и ромбическими пластинами.

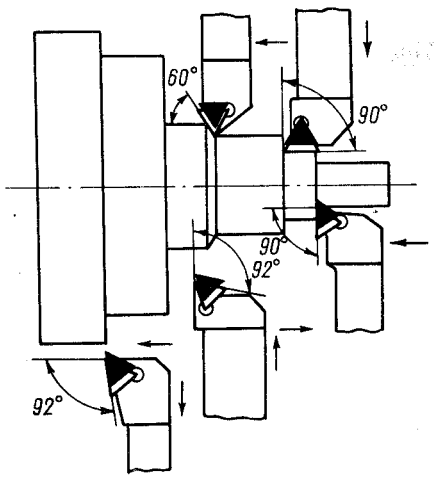


Рис. 4.17. Схема применения резцов с пластинами треугольной формы

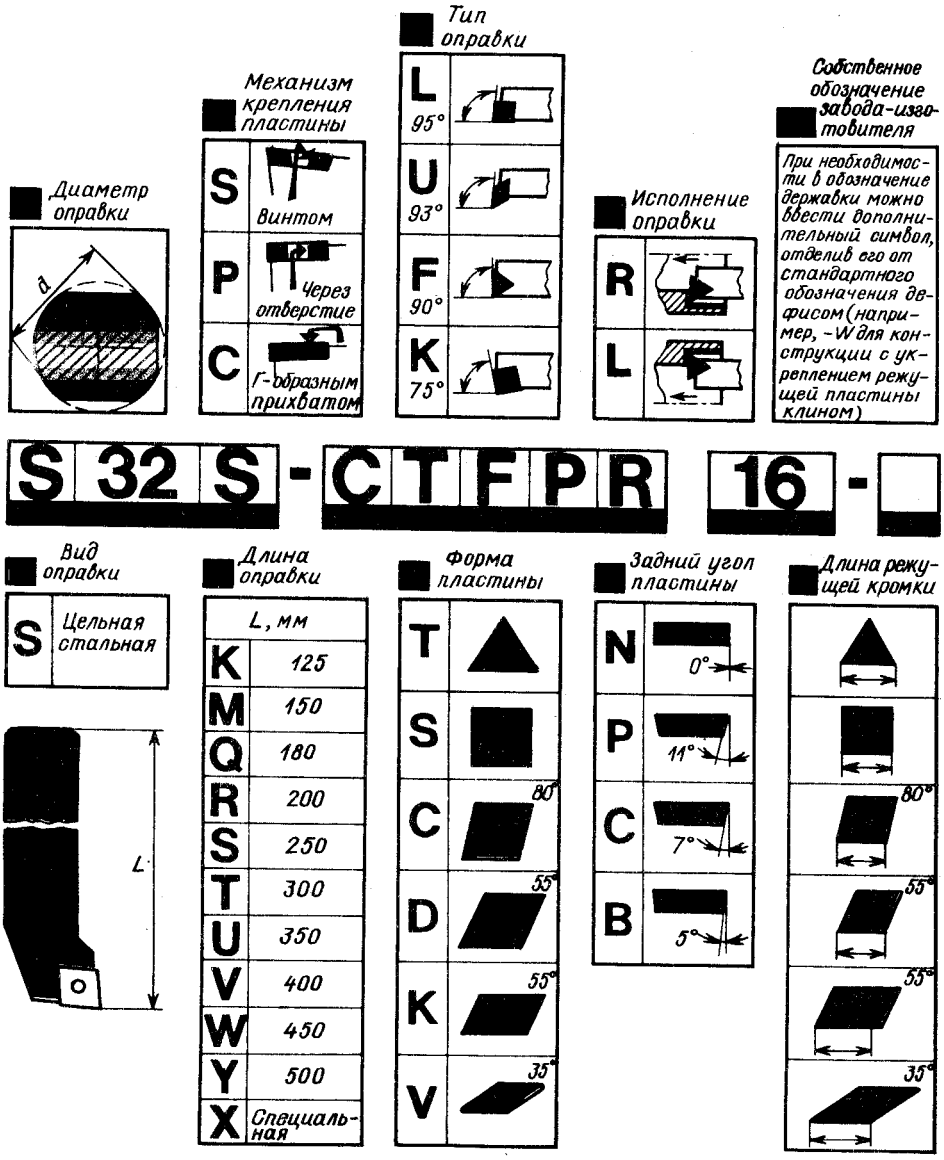


Рис. 4.18. Схема построения обозначений цельных расточных оправок согласно ISO

Резцы из сверхтвердых материалов на основе кубического нитрида бора. Особенностью синтетических поликристаллических сверхтвердых материалов — композитов — является сочетание высокой твердости и теплостойкости. Резкое увеличение твердости (композиты в три-четыре раза превосходят по микротвердости твердые сплавы) открыло новые перспективы применения лезвийного инструмента. Наряду с увеличением скоростей резания появилась возможность окончательной лезвийной обработки деталей из материалов высокой твердости (закаленных сталей и твердых сплавов), что исключает операцию шлифования. Следовательно, можно совместить предварительную и окончательную обработку на одном оборудовании.

В настоящее время разработаны

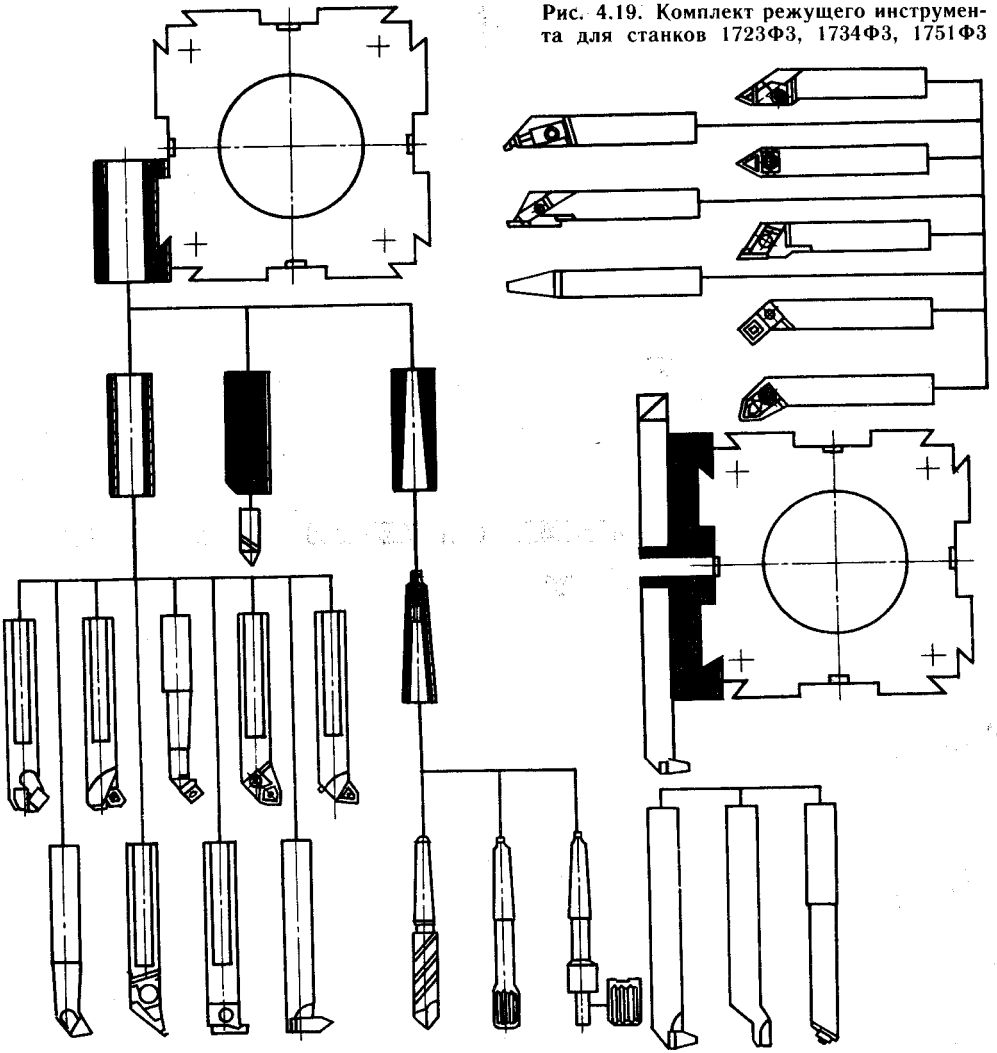


Рис. 4.19. Комплект режущего инструмента для станков 1723Ф3, 1734Ф3, 1751Ф3

и выпускаются сборные и цельные составные конструкции резцов из композита [25].

Кодирование инструмента

Среди инструмента с СМП группа токарных резцов наиболее представительна. Учитывая большое число фирм, изготовляющих этот инструмент, и пестроту его обозначения, ISO предпринята попытка создать единую систему кодирования токарных резцов, в которую составной частью входят отдельные символы обозначения пластин [73].

Пример построения обозначений цельных (полномерных) расточных оправок согласно рекомендации ISO показан на рис. 4.18. Другие типы токарных резцов кодируются в соответствии с рассмотренной схемой.

Системы инструмента для токарных станков с ЧПУ

Комплектная система инструмента. В практике часто комплект инструмента к данному станку ограничен определенными его типами (рис. 4.19). Естественно, что к комплекту режущего инструмента

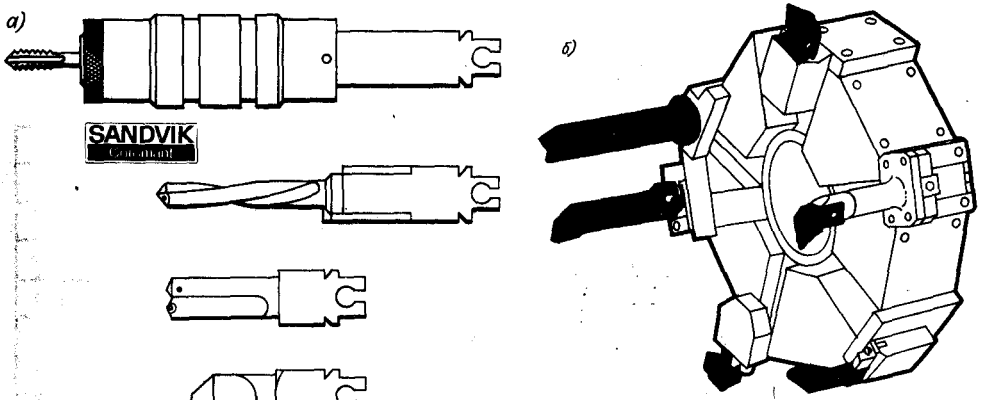


Рис. 4.20. Установка инструментальных модулей на револьверной головке токарного станка: *а* — набор модулей; *б* — модули в установленном положении

придается и комплект вспомогательного инструмента, имеющего соответствующие базовые элементы под инструмент и под посадочные поверхности суппорта или револьверной головки станка.

Модульная система инструмента. Создание инструмента на базе стандартных модулей является логическим развитием агрегатирования, характерного для металлорежущего оборудования.

Модуль — инструментальный блок, состоящий из рабочей части (сменной многогранной пластины) и корпуса, рассчитанного на закрепление в оправке, установленной на рабочей позиции станка. В одной оправке можно монтировать разнообразные модули, что придает инструментальной системе гибкость. Модулем является также и вспомогательный инструмент, например цанговый патрон для осевого инструмента и т. п.

Модули, входящие в набор для станка (рис. 4.20), имеют одинаковые хвостовики, соответствующие гнезду в станке под инструмент или гнезду переходных оправок. Типы хвостовиков модулей различны. Так, в модульном инструменте фирмы САНДВИК базовый хвостовик выполнен прямоугольным с отверстием и прорезью.

Модульная инструментальная система обеспечивает не только быструю, но и автоматизированную смену модулей на рабочих позициях станка при использовании инструментальных магазинов и складов различных типов и конструкций [73].

4.4. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Концевые фрезы. Наиболее распространенным инструментом для фрезерных станков с ЧПУ являются концевые фрезы. Материал рабочей части фрез — быстрорежущие стали марок Р6М5, Р6М5К5, Р5К10, Р18 или твердые сплавы групп ВК и ТК. Концевые фрезы диаметром до 12 мм делают из одной заготовки, у фрез диаметром свыше 12 мм рабочую часть из быстрорежущей стали приваривают к корпусу из углеродистой стали. Размеры рабочей

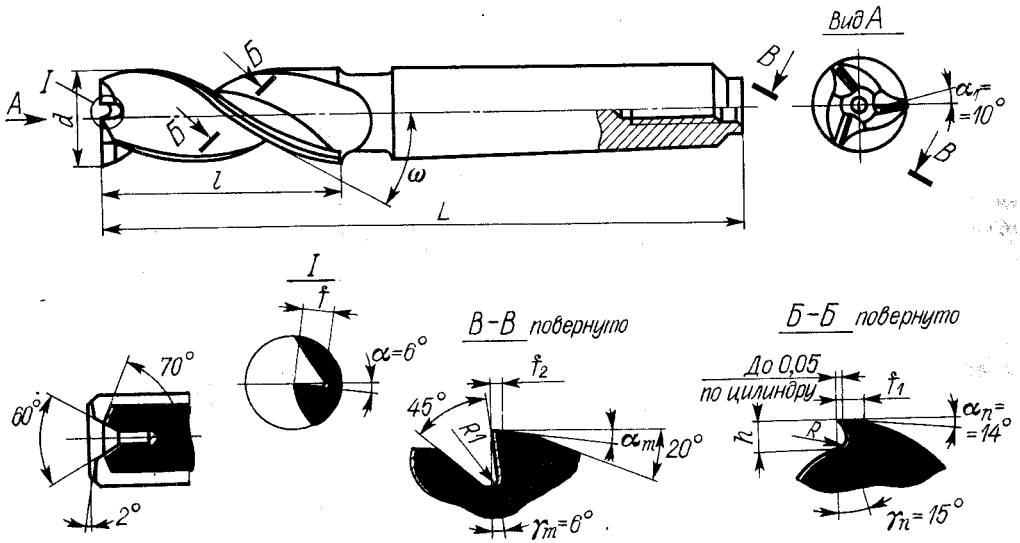


Рис. 4.21. Концевая фреза с коническим хвостовиком

части фрез определяют стандарты и технические условия. На рис. 4.21 показана фреза с коническим хвостовиком (ГОСТ 17026—71*).

Концевые фрезы, используемые на станках с ЧПУ, бывают стандартными и специальными, приспособленными для работ в особых, трудных условиях. Например, для концевых фрез можно отметить следующие особые случаи, требующие специальных конструктивных решений (рис. 4.22): *1* — облегчение выхода стружки при обработке глубоких глухих колодцев за счет уменьшения числа зубьев и увеличения угла наклона спирали; *2* — изменение направления осевой составляющей силы резания таким образом, чтобы за счет этой составляющей деталь прижималась к столу станка (достигается это применением праворежущих фрез с левой спиралью и леворежущих с правой спиралью); *3* — уменьшение вибраций при резании, что обеспечивается несимметричным распо-

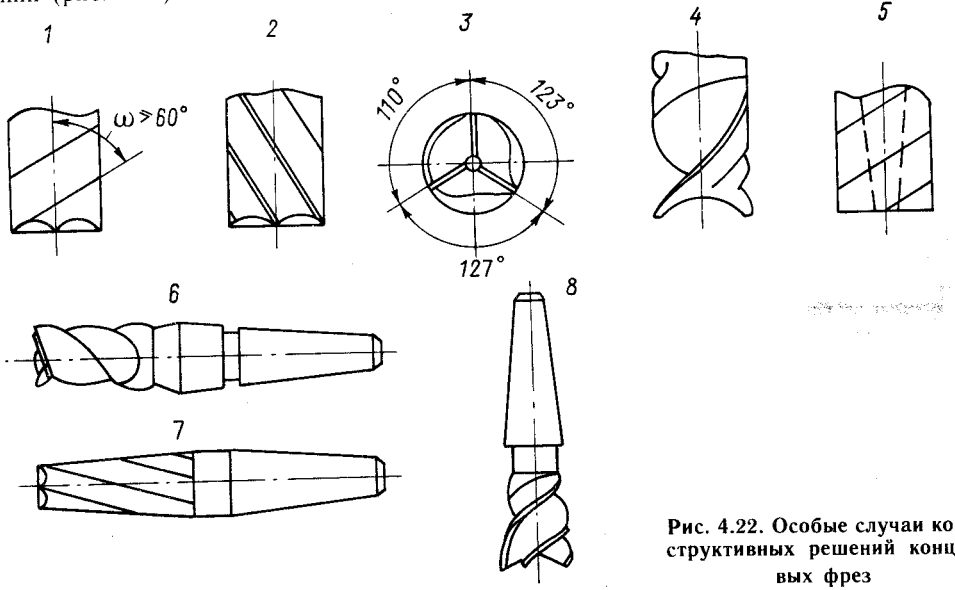


Рис. 4.22. Особые случаи конструктивных решений концевых фрез

ложением зубьев фрезы; *4* — особое затачивание торца двухзубовых фрез, позволяющее осуществлять вертикальное врезание в металл; *5* — повышение жесткости режущей части инструмента в результате того, что канавки имеют переменную глубину (конический сердечник); *6* — увеличение вылета инструмента с сохранением его жесткости за счет усиления тела фрезы; *7* и *8* — необходимость применения конических концевых и фасонных фрез для образования сложных криволинейных поверхностей.

Торцовые и дисковые фрезы. В основном они имеют стандартную конструкцию. Все более широкое использование находят фрезы с механическим креплением пластин из твердого сплава или сверхтвердых режущих материалов [25, 57].

4.5. РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Основными видами инструмента, используемого на станках сверлильно-расточной группы, являются сверла, зенкеры, зенковки, развертки, расточные резцы, блоки и др., обеспечивающие обработку отверстий.

Сверла. На станках с ЧПУ применяют различные типы сверл в зависимости от диаметров, конфигурации и точности обрабатываемых отверстий, а также других конкретных условий их эксплуатации.

Спиральные укороченные сверла с цилиндрическим хвостовиком диаметром 10—20 мм (рис. 4.23, *а*) предназначены для предварительного центрования отверстий. Конструктивные отличия этих сверл от стандартных точного исполнения (ГОСТ 4010—77*) состоят в том, что уменьшена длина их рабочей части, уменьшены допуски на симметричность сердцевины и осевое биение. Хвостовики сверл не имеют обратной конусности. Угол при вершине $2\varphi = 90°$. Такая заточка обеспечивает получение центровой лунки (рис. 4.23, *б*), которая в момент засверливания последующим сверлом устраняет контакт перемычки с металлом. Все это позволяет увеличить точность центрования по сравнению со стандартными сверлами. Основные размеры используемых на станках с ЧПУ спиральных сверл с цилиндрическим хвостовиком диаметром 3—20 мм (ОСТ 2-И20-1—80) стандартизованы (ГОСТ 10902—77*).

Спиральные сверла с коническим хвостовиком диаметром 6—30 мм (ОСТ 2-И20-2—80) имеют размеры по ГОСТ 10903—77*. У этих сверл по сравнению с соответствующими стандартными точного исполнения уменьшены допуски на симметричность сердцевины сверла, осевое биение режущих кромок, радиальное биение по ленточкам. Эти изменения в конструкции позволяют повысить стойкость сверл и точность обработки отверстий. Сверлами с коническим хвостовиком отверстия можно

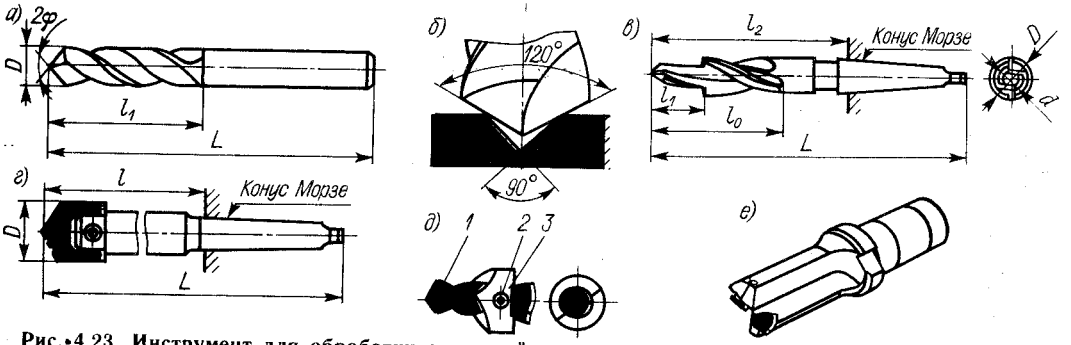


Рис. 4.23. Инструмент для обработки отверстий: *а* — **центровое сверло;** *б* — **схема центровой лунки;** *в* — **ступенчатое сверло с коническим хвостовиком и углом $2\varphi = 180°$ на второй ступени;** *г* — **перовое сборное сверло с пластинами из быстрорежущей стали;** *д* — **сборное ступенчатое сверло;** *е* — **сверло с СМП**

обрабатывать без предварительного центрования.

Ступенчатые сверла (рис. 4.23, *в*) предназначены для обработки ступенчатых отверстий под головки винтов в деталях из конструкционных материалов. Сверла имеют две ступени, бо́льшая из которых имеет четыре ленточки, что повышает точность обработки. Применяют сверла как с цилиндрическим, так и с коническим хвостовиком.

Перовые сверла (рис. 4.23, *г*) используют при сверлении отверстий диаметром 25—80 мм. По сравнению со спиральными их отличают следующие преимущества:

1) простота изготовления сверл большого диаметра и повышенная точность сверления отверстий больших диаметров;

2) повышенная жесткость и прочность конструкции;

3) меньшая стоимость перового сверла по сравнению со стоимостью равных по стойкости спиральных сверл.

Сборные ступенчатые сверла (рис. 4.23, *д*) позволяют регулировать длину меньшей ступени в широких пределах и более просты в изготовлении: на рабочей части стандартного сверла *1* винтом *2* закрепляют специальную насадку *3*. В таком сверле, меняя насадку, можно при одном и том же меньшем диаметре изменять больший диаметр.

Сверла с СМП (рис. 4.23, *е*) используют для сверления сравнительно коротких $[(1{,}5 \div 2{,}5)d]$ отверстий диаметром 18—80 мм. Наружная режущая кромка сверла может быть использована также для дополнительной обточки наружных поверхностей и однолезвийного растачивания отверстий. По сравнению с быстрорежущими спиральными сверлами указанные сверла обеспечивают увеличение скорости резания не менее чем в 5—10 раз (до 300 м/мин) при снижении подачи на оборот в два-три раза и при уменьшении усилия подачи до 60 %. Сверла сохраняют постоянную длину, поэтому особенно удобны для станков с ЧПУ. Особенностью эксплуатации сверл является необходимость подвода СОЖ через внутренние каналы под давлением 0,15—0,25 МПа. Для вращающегося инструмента должны быть предусмотрены специальные устройства для подвода СОЖ. На станках с ЧПУ используют сверла и других конструкций [25].

Зенкеры, зенковки, развертки, метчики. Для станков с ЧПУ рекомендуются *зенкеры* диаметром 10—40 мм (ОСТ 2-И22-1—80), элементы конструкций которых и геометрические параметры отвечают приложению к ГОСТ 12489—71*. По сравнению со стандартными зенкеры для станков с ЧПУ обеспечивают более высокие требования к биению цилиндрических ленточек и шероховатости передних и задних поверхностей режущих зубьев. Рекомендуется использовать зенкеры с износостойким покрытием.

Зенковки цилиндрические и конические (ГОСТ 14953—80*) используют для обработки центровых отверстий по ГОСТ 14034—74*, снятия фасок в точных отверстиях и обработки поверхностей под крепежные детали. Конические зенковки выпускаются с углами конуса 60, 90 и 120°.

Развертки, рекомендуемые к применению на станках с ЧПУ, могут быть быстрорежущими и твердосплавными. Быстрорежущие имеют диаметры 5—50 мм (ОСТ 2-И26-1—74), они бывают с цилиндрическим и коническим хвостовиками и насадными. Твердосплавные развертки (ГОСТ 11175—80) изготовляют с повышенной точностью, их выполняют или с коническим хвостовиком, или насадными.

Метчики для станков с ЧПУ отвечают требованиям ОСТ 2-И52-1—80. Они имеют следующие особенности: 1) метчики диаметром до 16 мм включительно изготовляются цельными; 2) метчики для нарезания резьбы в сталях средней и высокой прочности имеют комбинированную заборную часть, исключающую сколы режущих зубьев; 3) регламентирован параметр шероховатости центровых отверстий и предусмотрена предохранительная фаска; 4) ужесточены требования к биению режущих кромок и резьбовых элементов; 5) внутренний диаметр метчиков ограничен нижним и верхним отклонениями; 6) величина затылования резьбы по про-

филю задана из расчета получения оптимальных задних боковых углов; 7) передние углы метчиков дифференцированы по обрабатываемым материалам.

Расточный инструмент. Основная особенность расточного инструмента для станков с ЧПУ состоит в том, что он практически весь является консольным. Поэтому он должен обладать повышенной жесткостью и виброустойчивостью. Так же как и вышерассмотренному инструменту, расточному соответствуют более жесткие, чем стандартному для универсальных станков, нормы на биение и соосность, шероховатость и т. д. Применяют расточные оправки с многогранными пластинами и микрометрическими вставками.

В целях повышения универсальности расточного инструмента и одновременного упрощения конструкции разработаны агрегатно-модульные системы инструмента для разнотипных станков. Такую систему переналаживают в соответствии с изменениями обрабатываемых деталей путем простой компоновки унифицированных взаимозаменяемых узлов и агрегатов. Для компоновки используют определенное число деталей (модулей), которые образуют взаимосвязанный механизм, обладающий достаточными жесткостью и точностью. Такой инструмент позволяет создавать комбинированные расточные инструменты.

Система модульного расточного инструмента [25] состоит обычно из трех функциональных элементов: 1) рабочей части (расточных головок); 2) удлинителей и переходников; 3) хвостовых (базовых) частей, предназначенных для установки в шпинделе станка. В различных системах модульного инструмента элементы при создании комбинаций соединяют по-разному (на резьбе, стопорение винтами и др.).

Для растачивания точных отверстий на многоцелевых станках начинают использовать устройства, позволяющие осуществлять автоматическую размерную наладку вершины резца непосредственно на станке. Это так называемые расточные плансуппорты с программным управлением. При их использовании сокращается номенклатура расточных оправок, уменьшается вспомогательное время на смену инструмента, они позволяют растачивать ступенчатые и конические отверстия, подрезать торцы и прорезать канавки, нарезать резьбу (при наличии обратной связи по углу поворота шпинделя), успешно совмещать растачивание с фрезерными работами.

4.6. КЛАССИФИКАЦИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Конструкция вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ определяется 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,

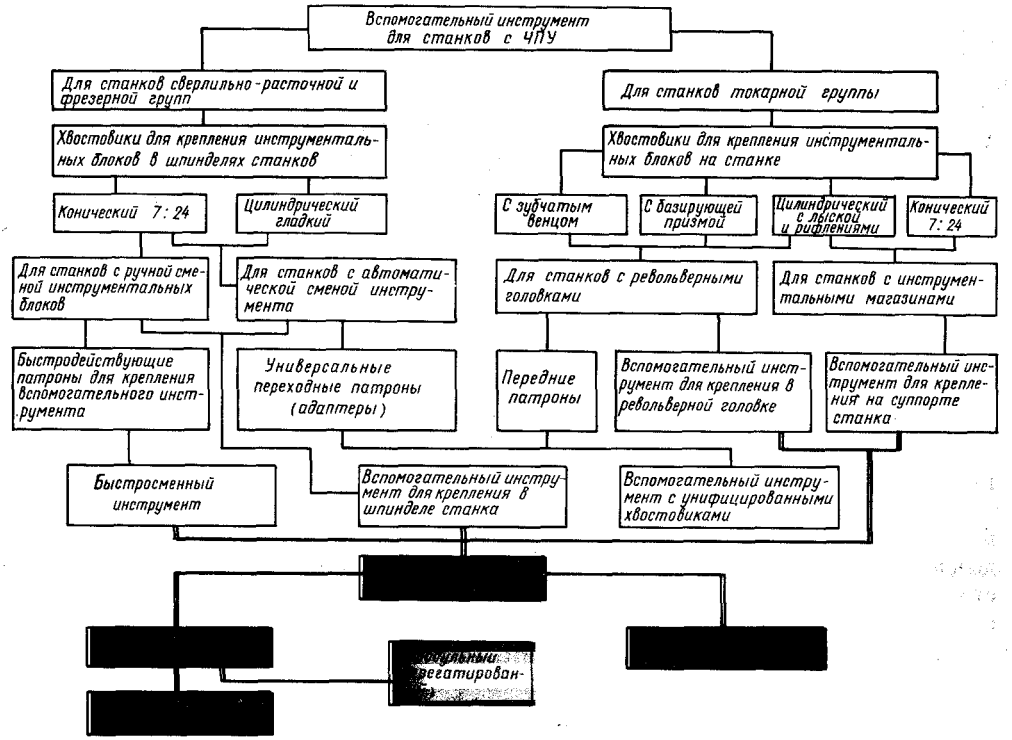


Рис. 4.24. Классификация вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ

предназначенных для крепления режущего инструмента. Комплект в сочетании с прибором предварительной наладки должен обеспечивать наладку инструмента для работы на станке с ЧПУ.

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 в соответствии с назначением для различных групп станков с ЧПУ, степенью их автоматизации и с учетом перспективы развития (рис. 4.24).

4.7. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ТОКАРНЫХ, ФРЕЗЕРНЫХ, СВЕРЛИЛЬНЫХ И РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Системы вспомогательного инструмента для токарных станков

Схемы базирования режущего инструмента. Режущий инструмент у станков токарной группы с ЧПУ базируется и крепится или в резцедержателях суппортов, или в револьверных головках непосредственно, или с использованием переходных элементов (вспомогательного инструмента).

При установке режущий инструмент может быть заранее налажен на определенные размеры. Это достаточно просто, если используется режущий инструмент со специальными настроечными элементами. Например, у резцов (носящих название резцовых вставок) таковыми являются специальные винты (штифты) в торце и сбоку; то же самое может быть и у сверл, зенкеров и т. д.

Предварительная наладка режущего инструмента на заданные размеры W'_x и W'_z (или W'_x+xKN и W'_z+zKN) определит положение вершины P инструмента относительно базовой точки F элемента станка (рис. 4.25), т. е. определит вылет инструмента W_x и W_z, который учитывается технологом-программистом при разработке УП. Естественно, что положение базовых поверхностей элемента станка (A_x и A_z, рис. 4.25, *б*) под инструмент относительно его базовой точки F заранее известно и постоянно для данного станка, т. е. известны размеры zFN и xFN.

Виды переходных элементов у токарных станков, как правило, отличаются конструкцией базового узла (единого для всех элементов) и видом базовой поверхности. Так, встречаются переходные элементы с зубчатыми базовыми поверхностями (рис. 4.26), с двумя опорными призмами (рис. 4.27), с цилиндрическим хвостовиком (рис. 4.28), с базирующей призмой (рис. 4.29) и др. Последние два вида развернуты в определенные подсистемы и особенно часто используются на станках отечественного производства.

Подсистема вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком. Эта подсистема (ОСТ 2-У16-2—78) предназначена для станков с ЧПУ мо-

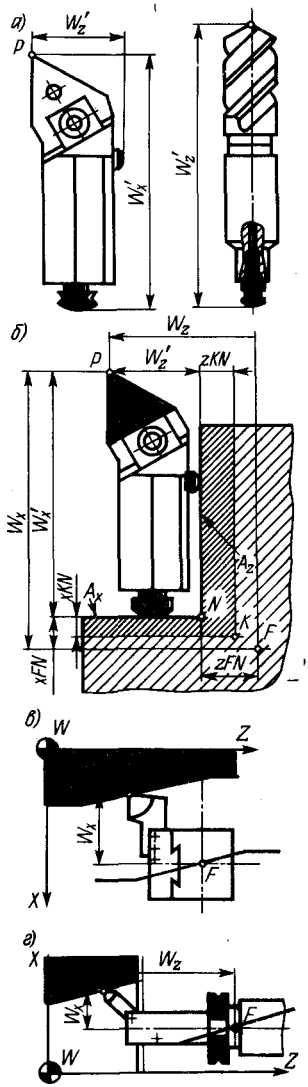


Рис. 4.25. Схемы, поясняющие наладку режущего инструмента на станках: *а* **— инструмент с регулировочными элементами;** *б* **— схема установки резца в гнезде суппорта;** *в, г* **— положения вершины** P **инструмента относительно базовой точки** F

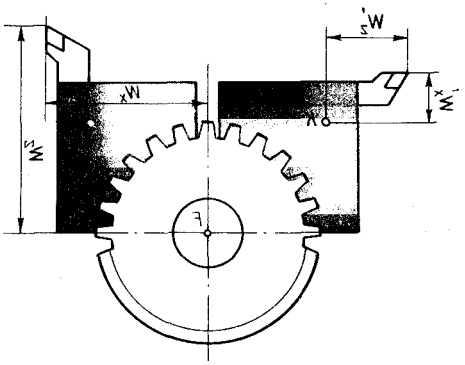


Рис. 4.26. Установка режущего инструмента с помощью зубчатых резцедержателей

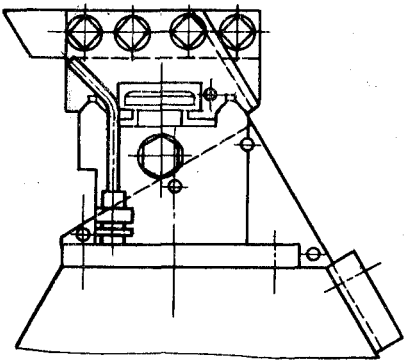


Рис. 4.27. Схема установки резца в резцедержателе с двумя базирующими призмами

делей 16К20Т1, 1П756МФ3, 1П732РФ3, 1740РФ3 и др. Резцедержатели *2.1—2.9* (рис. 4.30) предназначены для крепления резцов с сечением от 16×16 до 40×40 мм. Переходные втулки *2.10* позволяют закреплять режущий инструмент или переходные элементы круглого сечения с диаметром 16—40 мм. Оправки *2.11* служат для крепления перовых сверл, а переходные втулки *2.12* имеют конусные отверстия под инструмент *1.26* с конусом Морзе. Самоустанавливающийся патрон *2.13* с конусным отверстием используется для установки разверток. В комплект входят также расточные оправки *2.14* и *2.15*, патроны для метчиков *2.16*, втулки переходные разрезные *2.17* и со шпоночным пазом *2.18*, *2.19* под соответствующие оправки *1.20*, *1.16*, *1.17*.

В рассмотренной подсистеме все резцедержатели базируются по цилиндру хвостовика (с рифлями на лыске), обеспечивающему точную угловую установку инструмента, и штифту. Такой инструмент крепится в револьверной головке при помощи сухаря или клина, также имеющего рифления, но смещенные относительно рифлений хвостовика. В результате опорная поверхность вспомогательного инструмента прижимается к револьверной головке станка с большим

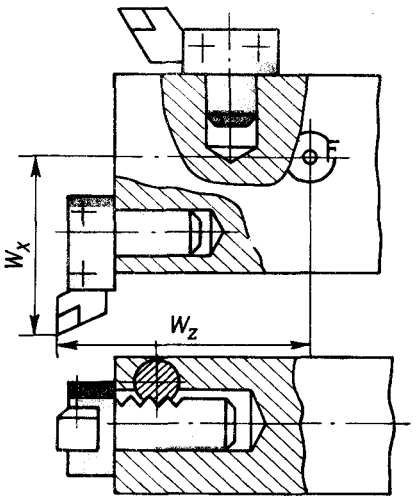


Рис. 4.28. Установка режущего инструмента в резцедержателях с рифленым цилиндрическим хвостовиком

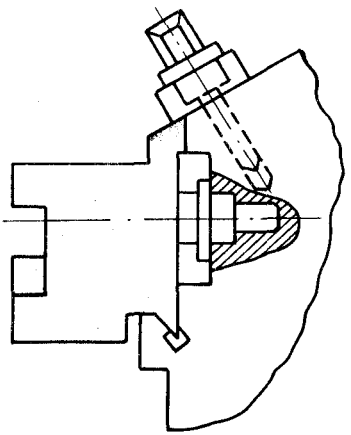


Рис. 4.29. Резцедержатель с базирующей призмой

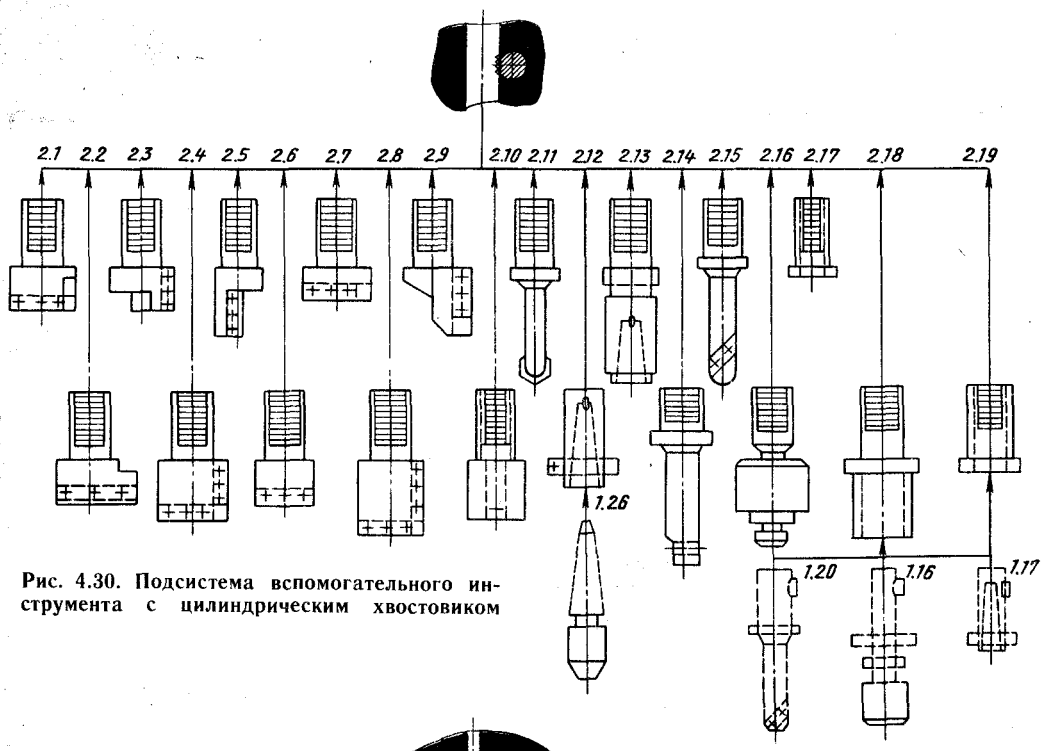


Рис. 4.30. Подсистема вспомогательного инструмента с цилиндрическим хвостовиком

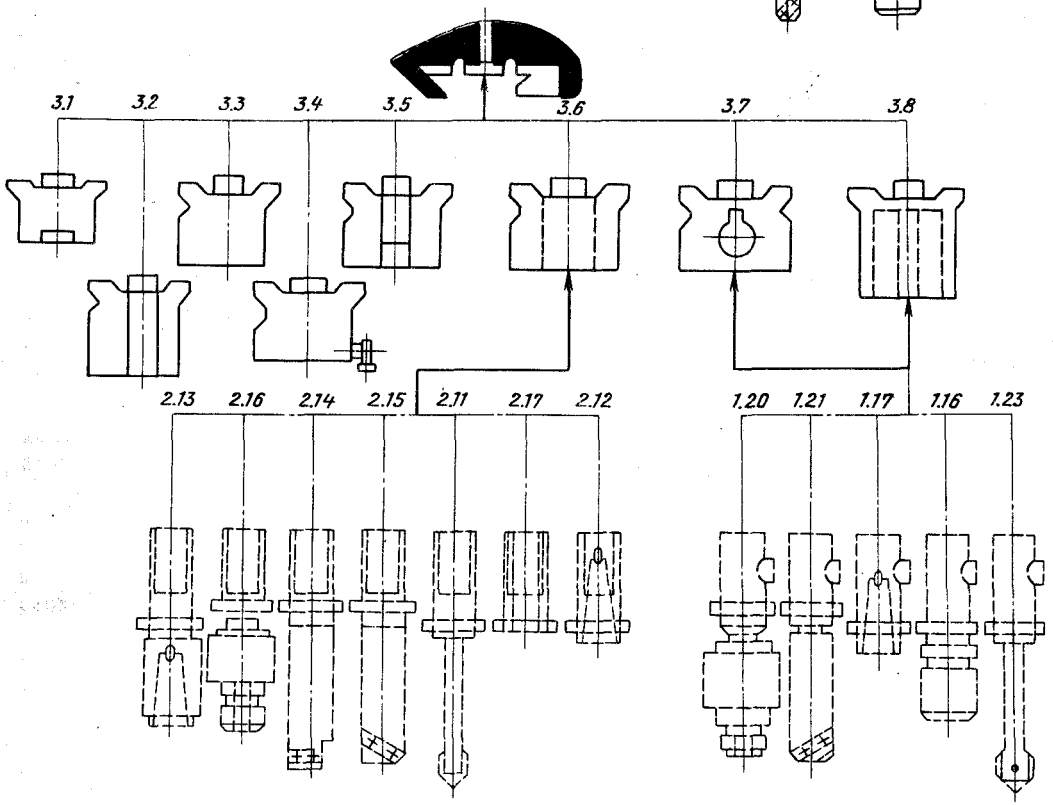


Рис. 4.31. Подсистема вспомогательного инструмента с базирующей призмой

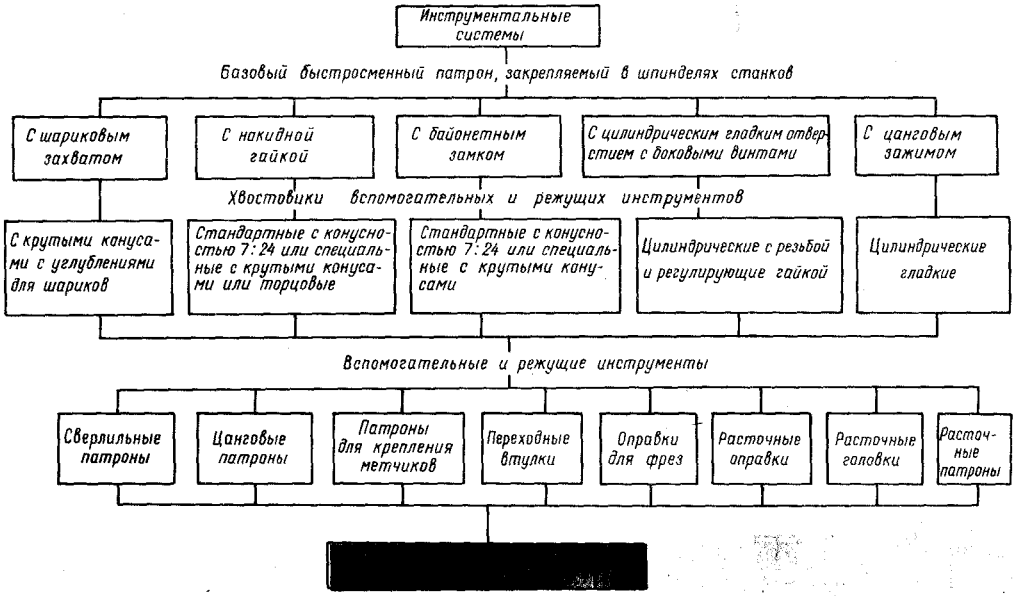


Рис. 4.32. Классификация инструментальных систем для станков с ЧПУ с ручной сменой инструмента

усилием, что гарантирует высокую жесткость соединения.

Подсистема вспомогательного инструмента с базирующей призмой. Эта подсистема (ОСТ У16-1—78) предназначена для станков с ЧПУ моделей 1А734Ф3, 1А751Ф3, СМ710Ф3, 16К30Ф3 и др. Резцедержатели *3.1—3.3* (рис. 4.31) обеспечивают крепление резцов широкого диапазона размеров. Особенно универсален трехсторонний резцедержатель *3.5*. В систему входит распределитель охлаждающей жидкости *3.4*, служащий для подвода СОЖ в зону резания. В держателях *3.7* и *3.8* закрепляют гамму державок *1.20, 1.21, 1.17, 1.16* и *1.23* с цилиндрическим хвостовиком и шпонкой. Базовые элементы подсистемы позволяют (через элементы *3.6*) устанавливать инструмент из предыдущей подсистемы (*2.11, 2.12, 2.13* и др.), что в ряде случаев расширяет технические возможности станков, а также способствует сокращению номенклатуры вспомогательного инструмента.

Системы вспомогательного инструмента для фрезерных, сверлильных и расточных станков

Системы с ручной сменой инструмента. Основой таких систем являются быстросменные переходные патроны, которые позволяют без смены основного инструментального блока заменять изношенный инструмент или вводить следующий при обработке различными инструментами. Быстродействие вспомогательного инструмента необходимо также для облегчения труда наладчиков при подготовке инструмента.

В качестве базового в той или иной системе принимают быстросменной патрон с определенным хвостовиком, отвечающим гнезду шпинделя определенных типов станков. Классификация инструментальных систем для станков с ЧПУ с ручной сменой инструмента показана на рис. 4.32. В основе классификации лежит конструкция базового быстросменного патрона, определяющая вид хвостовика сменного вспомогательного и режущего инструмента. Так, для сверлильных станков с ЧПУ с ручной сменой ин-

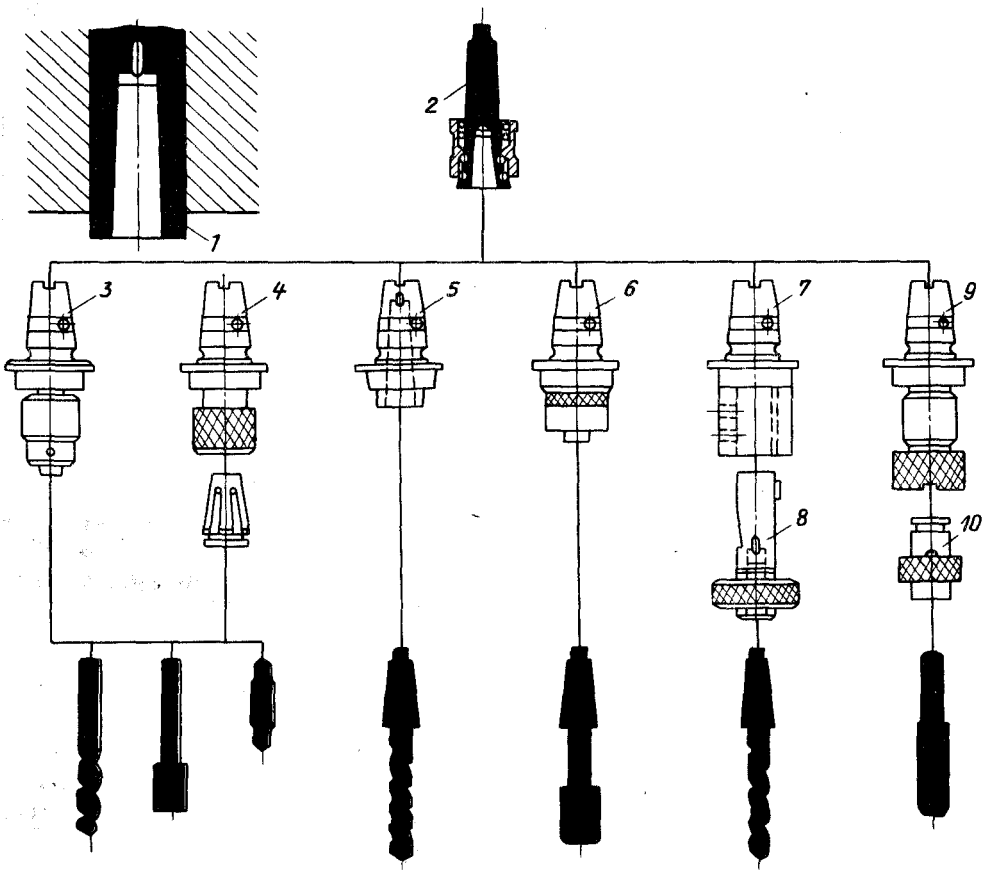


Рис. 4.33. Инструментальная быстросменная система для сверлильных станков с ЧПУ:

1 — шпиндель станка; 2 — быстросменный патрон (базовый) с шариковым захватом; 3 — сверлильный патрон; 4 — цанговый патрон; 5 — вставка с внутренними конусами Морзе; 6 — плавающий патрон для разверток; 7 — вставка с цилиндрическим отверстием и пазом под шпонку; 8 — регулируемая цилиндрическая втулка; 9 — патрон для метчиков; 10 — быстросменная вставка

струмента и с гнездом шпинделя в виде конуса Морзе используют систему на базе быстросменного патрона с шариковым захватом (рис. 4.33). К такому патрону прилагается комплект вставок *3—9* с одинаковыми хвостовиками (под гнездо патрона), в которых может закрепляться различный режущий инструмент. К одной из вставок (поз. *7*) придается комплект переходных втулок *8*, позволяющих, если надо, регулировать вылет закрепляемого инструмента. Через втулки *10* крепят метчики.

В разных системах конструкции базовых быстросменных патронов различны. Так, в системе вспомогательного инструмента для расточных станков с ЧПУ с ручной сменой инструмента базовый быстросменный патрон (с хвостовиком под конус Морзе) имеет гнездо под хвостовики с конусностью 7:24, что позволяет крепить различные патроны и оправки, в том числе и для фрез. Оправки в базовом патроне крепятся гайкой [25].

Системы вспомогательного инструмента для многоинструментальных и многоцелевых станков. Такие системы имеют общий принцип построения. К каждой системе прилагается набор основных (базовых) оправок с соответствующим хвостовиком: или с конусностью 7:24, или с размерами (по ИСО) 30, 40, 45, 50 и 60.

Принцип комплектования инструментального набора состоит в том, что в каждый из наборов кроме основных оправок, закрепляемых в шпинделе станка, входят различные переходные оправки, переходные втулки и патроны для закрепления режущего инструмента: переходные втулки с посадочным отверстием в виде конуса Морзе, в которых концевой режущий инструмент дополнительно крепится винтом, цанговые патроны, расточные головки с тонкой регулировкой на размер, оправки и патроны для закрепления фрез и др.

Базовые оправки, входящие в набор, обычно имеют два конструктивных исполнения. Один вид оправок предназначен для непосредственного крепления режущего инструмента. В этом случае инструмент крепят известными способами. Так, дисковую фрезу ДФ (рис. 4.34), устанавливаемую по цилиндрической посадочной шейке оправки *4* со шпонкой, крепят винтом *1* с использованием шайб *2* и *3*. Второй вид базовых оправок БО предназначен для установки инструмента с помощью различных переходных элементов, например переходных оправок *8*, которые имеют одинаковый хвостовик (на рисунке цилиндрической со шпонкой *7*). В гнезде базовой оправки переходные оправки крепят винтом *6*. Эти переходные оправки могут быть или предназначены для непосредственного закрепления инструмента РИ (например, расточных резцов, сверл), или служить основой для закрепления следующего уровня вспомогательной оснастки. Таким может быть, например, набор цанговых патронов *9* для сверл с цилиндрическим хвостовиком.

При наладке станка базовые оправки устанавливают в базовом отверстии основного шпинделя *Ш* (или в шпинделях револьверной головки), обеспечивая при этом совмещение вырезов на фланце оправки со шпонками *5* для передачи крутящего момента на торце шпинделя.

Конструкции *базовых оправок для непосредственного крепления инструмента* показаны на рис. 4.35. Инструмент может устанавливаться или непосредственно (рис. 4.35, *а, б*), или с использованием переходных втулок (рис. 4.35, *в, г*), если

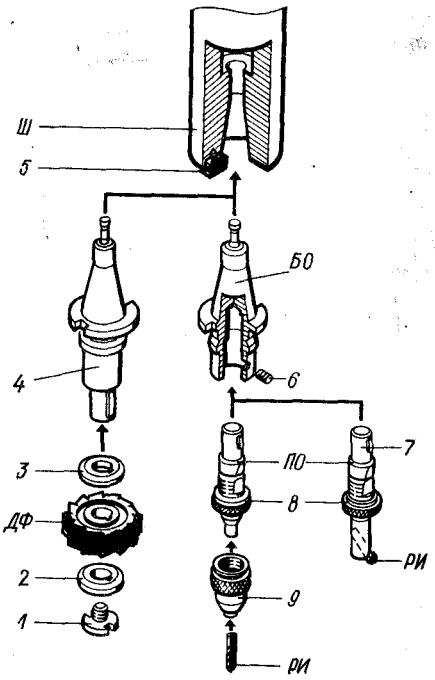


Рис. 4.34. Схема комплектования инструментального набора

посадочное гнездо оправки не соответствует размеру хвостовика инструмента. Так, в одной и той же базовой оправке (рис. 4.35, *в*) с коническим отверстием (конус Морзе) сверла диаметром 28—50 мм устанавливаются непосредственно, а сверла диаметром 6—23 мм — через переходную втулку *ПВ*. Концевые фрезы (инструмент *И*) крепят в базовых оправках (рис. 4.35, *б, г*) с использованием винтов *В*. В торце каждой оправки закреплен захват *ЗХ* для крепления оправки в гнезде шпинделя станка специальной тягой.

Конструкции *базовых оправок с переходными элементами* могут иметь устройства для регулирования вылета режущего инструмента. Например (рис. 4.36), переходная втулка *3*, в которой размещено сверло *7*, установлена в отверстии базовой оправки *1*. Вылет инструмента регулируется вращением регулировочной гайки *5* по наружной трапецеидальной резьбе втулки *3*. При этом происходит осевое смещение втулки с инструментом, так как втулка от проворота удержи-

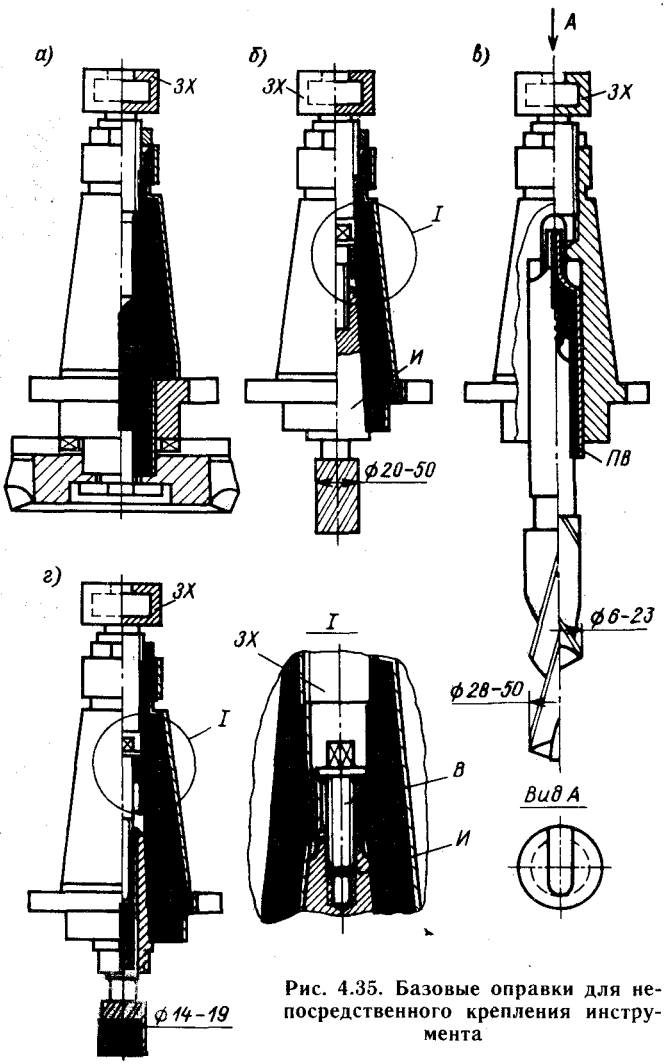


Рис. 4.35. Базовые оправки для непосредственного крепления инструмента

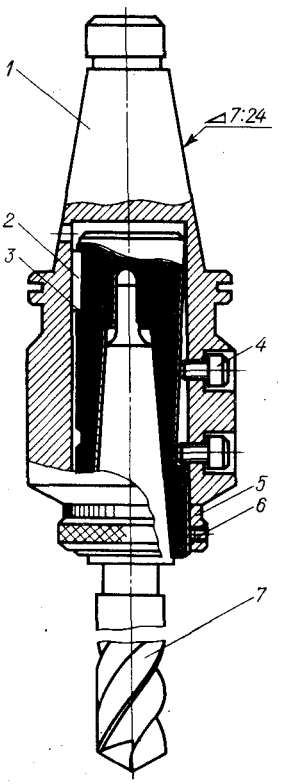


Рис. 4.36. Базовая оправка с переходной втулкой

вается шпонкой *2*. После достижения требуемого вылета гайка *5* фиксируется стопорным винтом *6*, под который уложена мягкая прокладка, а сама втулка *3* крепится в корпусе оправки *1* винтами *4*.

Следует отметить, что наиболее простое крепление базовых оправок в шпинделе станка — винтовым шомполом — характерно для станков общего назначения. В шпинделях станков с ЧПУ, как правило, встроены полуавтоматические или автоматические устройства для крепления инструмента, имеющие специальные захваты. Поэтому в зависимости от конструктивного решения шпиндельного устройства станка базовые оправки в каждом комплекте должны иметь соответствующие этому устройству элементы захвата. Чаще всего в хвостовик инструментальной оправки (рис. 4.37,*а*) ввертывают штырь-захват *ЗХ* с заплечиками. За этот штырь оправку захватывает специальный шомпол, который затягивает ее в гнездо шпинделя и закрепляет там. Для некоторых станков элементом захвата является непосредственно внутренняя поверхность оправки, выполняемая со стороны заднего торца в виде выточки с овальным входом (рис. 4.37, *б*).

Необходимая жесткость соединения

вспомогательного инструмента со шпинделем достигается высокой силой закрепления (затяжки) оправки, которая для отдельных станков достигает 12—15 кН.

Отдельные подсистемы вспомогательного инструмента разрабатывают при наличии общей схемы крепления всех видов режущего инструмента. Конкретные подсистемы для отечественного оборудования строят на основе руководящих материалов РТМ М2 П10-2-79 «Система вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ», разработанных ЭНИМСом. Руководящие материалы предполагают применение в практике отечественных заводов трех подсистем: двух для токарных станков и одной для станков с коническим посадочным отверстием шпинделя [25].

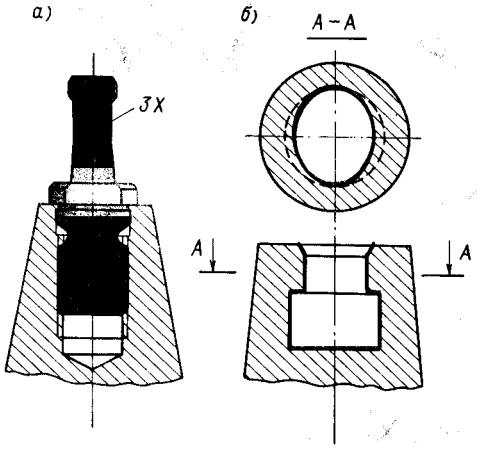


Рис. 4.37. Поверхности захвата базовых оправок

4.8. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ СТАНКОВ С СИСТЕМОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА

Вспомогательный инструмент на базе оправок. На станках с ЧПУ, оснащенных системами АСИ, используют тот же режущий инструмент, что и на других станках с ЧПУ, но входящие в комплексы вспомогательного инструмента оправки отличаются определенными конструктивными особенностями. Эти оправки (рис. 4.38, *а*) имеют поверхности: *2* — для базирования в шпинделе станка; *4* — для установки и закрепления режущих и вспомогательных инструментов; *3* — контактирующие с захватами автоматической руки; *1* — для установки захвата *5*. В некоторых случаях имеются

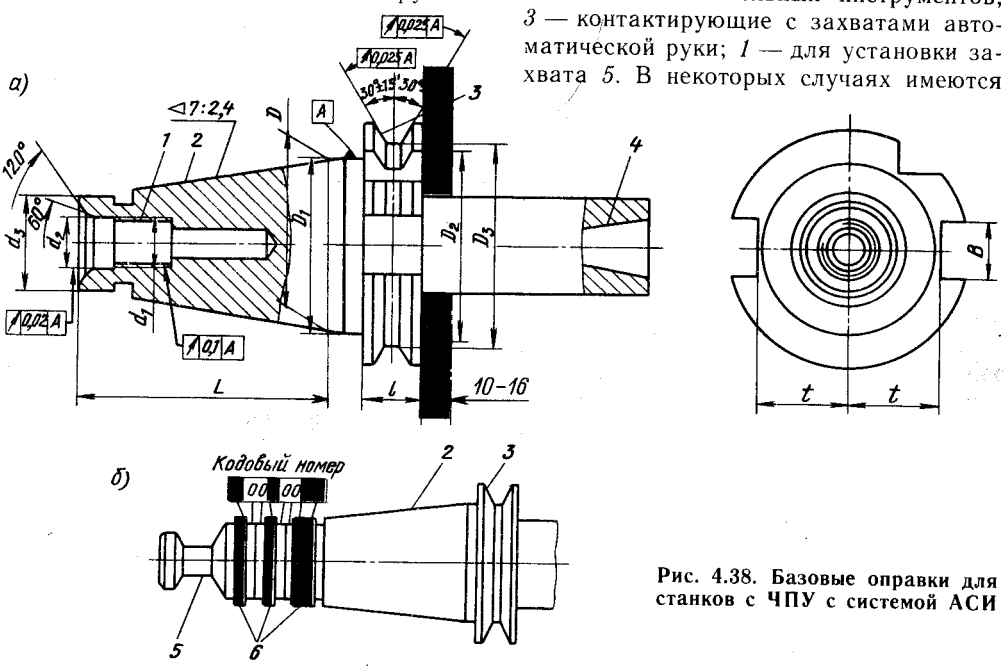


Рис. 4.38. Базовые оправки для станков с ЧПУ с системой АСИ

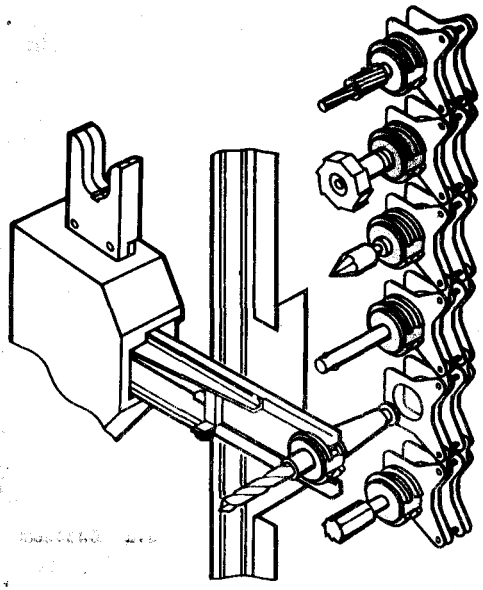


Рис. 4.39. Схема захвата оправки автоматической рукой

также поверхности для установки элементов *6*, кодирующих инструмент (рис. 4.38, *б*).

В настоящее время конструкция хвостовиков вспомогательного инструмента для многоцелевых станков с ЧПУ и станков с АСИ регламентирована стандартом, согласно которому разрешено применять оправки с двумя номерами конусов: 40 и 50. Для сопряжения с автоматической рукой разрешено использовать только конические поверхности с углом конуса 60°, выполненные в виде кольцевой выточки на фланце оправки. На фланце прорезают два паза для сопряжения с торцовыми шпонками шпинделя.

Размер D_2 у оправки (см. рис. 4.38) определяет свободное пространство для захвата ее автоматической рукой (рис. 4.39). Протяженность свободного пространства от торца фланца не менее 10 мм для хвостовика № 40 и не менее 16 мм для хвостовика № 50. Это пространство нельзя ничем занимать. Коническая поверхность хвостовика с конусностью 7:24 и кольцевая канавка под захват автоматической рукой должны иметь твердость $HRC_э$ 52—56. Канавки для кодирования оправки разрешено выполнять на поверхности диаметром d_3 и на штырях под захват механизмом осевого закрепления.

Обычно каждый станок с ЧПУ и системой АСИ оснащен комплектом (набором) вспомогательного инструмента, размещаемого в магазине.

В настоящее время для групп многоцелевых станков, работающих в условиях автоматизированного производства и входящих в состав технологических модулей (автоматизированных станочных комплексов), разработаны и эксплуатируются типовые наборы технологической оснастки, включающей режущий инструмент, вспомогательный инструмент и приспособления. Такие наборы предполагают использование единых конструкций и типоразмеров (составляющих эти наборы элементов технологической оснастки) в пределах не одного станка, а целой группы станков, составляющих автоматизированный участок, т. е. автоматизированный станочный комплекс [25].

Гибкая модульная система вспомогательного инструмента. Эта система составляет единое целое с соответствующим модульным комплектом режущего инструмента. Различные оправки и вспомогательные блоки системы имеют единого вида узел крепления резцовых блоков.

В гибкой модульной системе фирмы САНДВИК блок *1* жестко и надежно закрепляется за счет осевого смещения фигурной тяги *2*, которая прижимает его к посадочным местам оправки *3* (рис. 4.40).

Конструкции оправок, которые крепят или в гнездах суппортов, или в револьверных головках, различны. Гамма таких оправок к станку (рис. 4.41) позво-

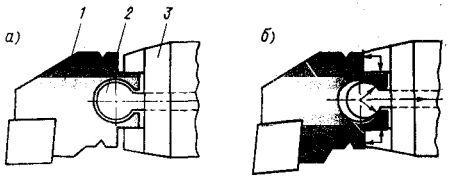


Рис. 4.40. Схема крепления блока в оправке

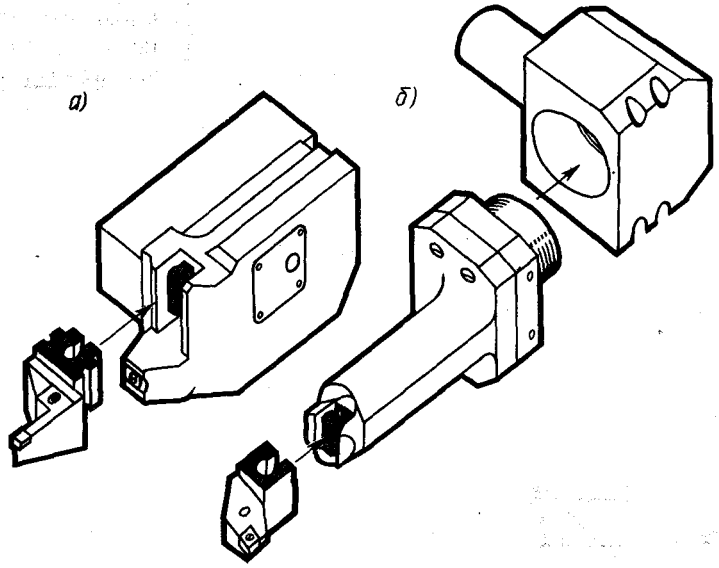


Рис. 4.41. Оправки и вспомогательные блоки для модульного режущего инструмента: *а* — для суппорта; *б* — для револьверной головки

ляет крепить инструментальные блоки самых различных назначений (см. рис. 4.20).

Конструкции оправок позволяют быстро заменять блоки. В одной из них (рис. 4.42) блок *1* открепляется после воздействия штока гидросистемы, (на рисунке не показана) на торец винта *7*, соединенного с валом *8*. Вал с винтом, смещаясь, через фланцевую втулку *6* сжимает тарельчатые пружины *5* и одновременно поворачивает серьгу *9* с фигурной тягой *2*. Ось *3* серьги закреплена в корпусе *4* оправки. После того как блок *1* фигурным отверстием будет установлен на конце фигурной тяги *2*, снимается давление гидросистемы на торец винта *7*. Тарельчатые пружины, смещая вал *8* (с винтом *7*), обеспечивают поворот серьги *9*, а следовательно, смещение фигурной тяги *2* и жесткое крепление блока к оправке. Такая система смены инструментальных блоков легко автоматизируется.

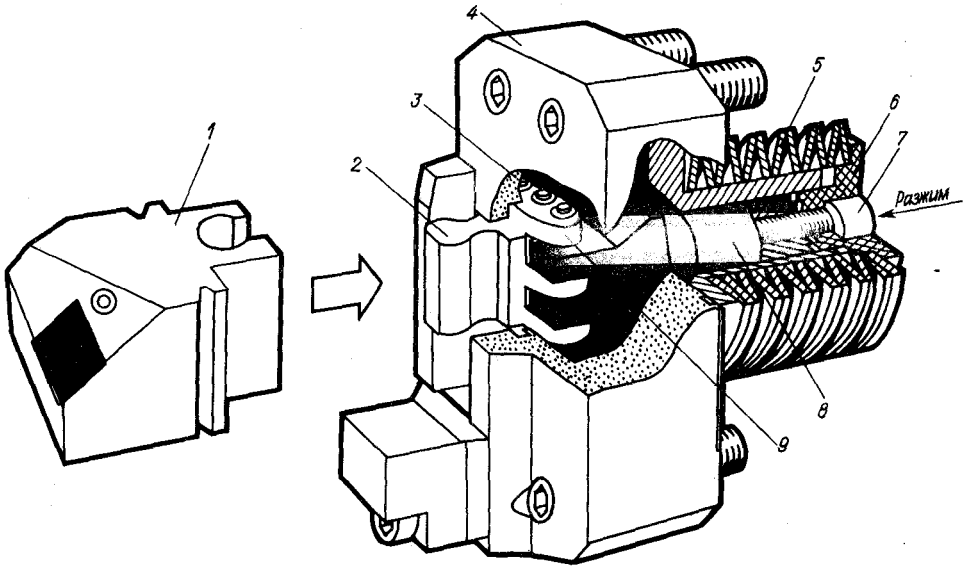


Рис. 4.42. Схема вспомогательного блока для крепления модульного режущего инструмента

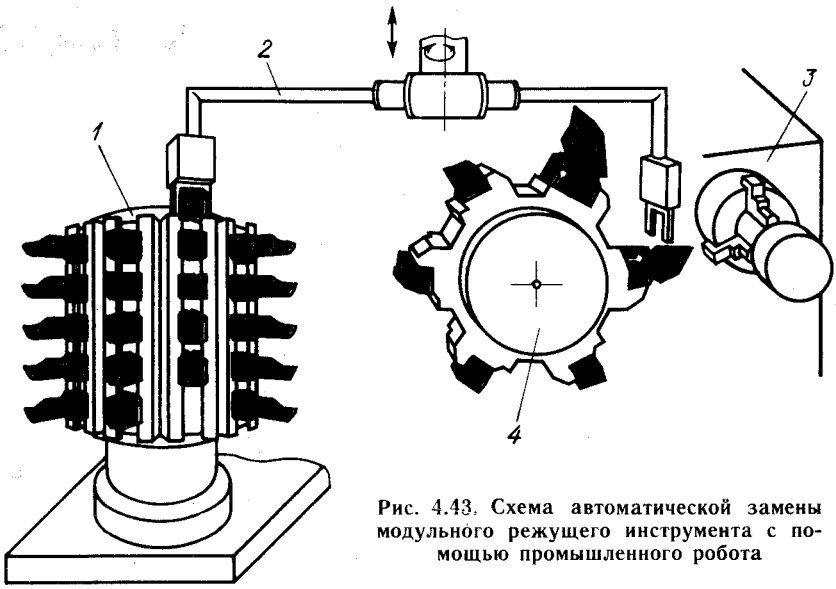


Рис. 4.43. Схема автоматической замены модульного режущего инструмента с помощью промышленного робота

Например, резцовые блоки могут быть размещены в определенном порядке в цилиндрическом магазине *1* (рис. 4.43). По команде системы управления робот схватом *2* берет блок с револьверной головки *4* (блок предварительно раскрепляется). Естественно, что положение револьверной головки должно быть в это время таким, чтобы заменяемый блок находился в горизонтальной позиции, т. е. в позиции замены. Одновременно схват *2* робота захватывает требуемый блок в магазине, который заранее поворачивается в нужную позицию, например в такую, где размещен запас резцовых расточных блоков. Затем робот переносит отработанный блок в магазин. Новый блок устанавливается в гнезде оправки револьверной головки и закрепляется около бабки *3*.

Последовательно поворачивая револьверную головку, можно (при необходимости) заменить все ее блоки.

ГЛАВА 5

МАРШРУТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

5.1. ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Структура технологического процесса. Технологический процесс (ТП) обработки на станке с ЧПУ, в отличие от традиционного технологического процесса, требует большей детализации при решении технологических задач и учета специфики представления информации. Структурно технологический процесс также делится на операции, элементами которых являются установы, позиции, технологический и вспомогательный переходы, рабочие и вспомогательные ходы.

Детализация технологического процесса для оборудования с ЧПУ приводит к разделению ходов на шаги, каждый из шагов представляет собой перемещение на участке траектории инструмента

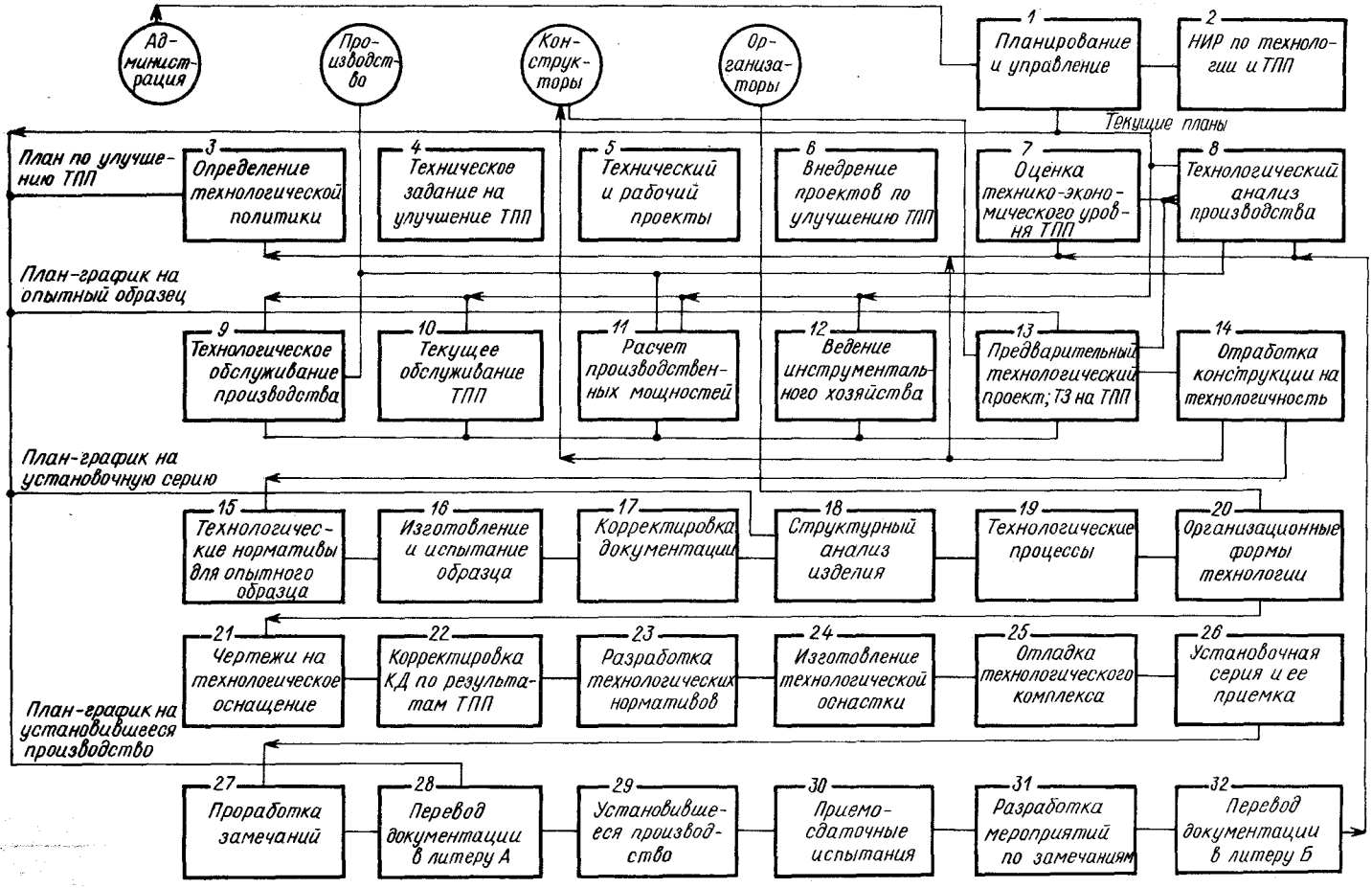


Рис. 5.1. Блок-схема системы технологической подготовки производства

Таблица 5.1. Стадии и этапы проектирования технологического процесса обработки деталей на станках с ЧПУ

Этап	Документация		Содержание этапа
	справочная	сопроводительная	
I стадия. Разработка маршрута обработки детали (исходная документация: чертеж детали; чертеж заготовки)			
1. Выбор номенклатуры	Классификаторы, каталоги	График перевода деталей на станки с ЧПУ	Конъюнктурный анализ: определение целесообразности обработки заготовки на станке с ЧПУ — как по конструктивно-технологическим признакам, так и по производственным условиям; оценка возможности изменения заготовки, технологического процесса, конструкции Технико-экономический анализ: расчет снижения трудоемкости; расчет окупаемости затрат
2. Ознакомление с ТП изготовления аналогичной детали	Типовые и групповые ТП	То же	Объем ознакомления: заготовка, маршрут, приспособления, режущий и вспомогательный инструмент, режимы резания, структура операций
3. Повышение технологичности детали	Стандарты ЕСТПП, классификаторы	Запрос на изменение конструкции	Отработка конструкции детали на технологичность и унификация (радиусов, баз, элементов детали). Повышение жесткости инструмента и детали. Корректировка чертежей детали и заготовки
4. Согласование условий поставки	Стандарты ЕСТПП и др., классификаторы	Условия поставки заготовки; условия поставки детали; чертеж заготовки; чертеж детали	Определение технологического состояния заготовки: требования к базам, припуски, технологические отверстия Определение технологического состояния детали: основные размеры, припуски, доводочные работы
5. Определение маршрута обработки детали	Типовые и групповые ТП	Сводная карта маршрута; операционные эскизы	Составление и согласование маршрута обработки детали: выделение поверхностей, обрабатываемых на станках с ЧПУ; переустановка по видам оборудования; переустановка по зонам обработки; выбор последовательности выполнения операций; составление операционного эскиза
6. Заказ приспособления	Стандарты, каталоги типовой и групповой технологической оснастки, методики расчета	Технические условия на приспособление	Эскизное проектирование приспособления: определение положения заготовки на станке; определение типа приспособления; составление схемы увязки (выбор и привязка системы координат); определение схемы базирования заготовки; определение схемы закрепления заготовки; выбор вида привода

Продолжение табл. 5.1

Этап	Документация		Содержание этапа
	справочная	сопроводительная	
7. Заказ инструмента	Стандарты, каталоги типовой и групповой технологической оснастки, методики расчета	Технические условия на инструмент	Эскизное проектирование инструмента: определение типа инструмента; выбор технологических параметров; выбор конструкции; выбор геометрических параметров; проектирование схемы наладки
II *стадия. Разработка операций ТП* (исходная документация: откорректированные чертежи детали и заготовки, задание на программирование, маршрутная карта, операционная карта)			
8. Составление плана операции	Стандарты ЕСТПП, ЕСТД	Операционная карта; операционный эскиз	Определение содержания операции. Разделение операции на установы и позиции. Уточнение метода закрепления заготовки. Подготовка операционной карты
9. Разработка операционной технологии	Нормативы режимов резания; типовые и групповые ТП; стандарты ЕСТПП; каталоги технологической оснастки	Карта наладки станка; карта наладки инструмента	Определение последовательности переходов. Выбор инструмента. Разделение переходов на ходы. Выбор контрольных точек и останова. Определение траекторий позиционных и вспомогательных переходов. Расчет режимов резания. Подготовка карт наладки станка и инструмента
III *стадия. Подготовка УП*			
10. Расчет траектории инструмента	Таблицы допусков и посадок; таблицы геометрических расчетов; типовые методики расчета	Расчетно-технологическая карта; эскиз траектории	Выбор (уточнение) системы координат. Определение наладочных размеров детали. Расчет координат опорных точек. Разделение проходов на ходы и шаги. Построение траектории движения инструмента. Преобразование систем координат
11. Кодирование и запись УП	Инструкция по программированию УП; инструкция для записи УП	УП; распечатка УП	Формирование элементарных перемещений. Определение технологических команд. Пересчет величин перемещений в импульсы. Кодирование УП. Запись УП на программоноситель. Печатание текста УП
12. Контроль, редактирование и отладка УП	Методика констроля УП; методика редактирования УП	График траектории; акт внедрения УП	Контроль программоносителя. Контроль траектории инструмента. Редактирование УП. Обработка опытной детали

вдоль определенного геометрического элемента, на котором не изменяется режим. Например, шагами являются отдельные перемещения инструмента вдоль прямой или окружности с постоянной скоростью, а также разгон и торможение в начале и конце движения.

Простейшими составляющими процесса обработки являются элементарные перемещения и технологические команды, отрабатываемые УЧПУ. Элементарные перемещения формируются с учетом ограничений конкретного УЧПУ. К ним относятся, например, необходимость расположения дуги окружности в пределах одного квадранта или задания отрезка прямой числом дискрет, не превышающим емкости регистра памяти УЧПУ. Технологические команды, реализуемые исполнительными механизмами станка, обеспечивают необходимые условия отработки элементарных перемещений. Последовательность элементарных перемещений и технологических команд определяет содержание УП.

Разработка ТП и УП для станков с ЧПУ является одной из задач технологической подготовки производства (ТПП) и должна выполняться в строгом соответствии со структурными связями системы ТПП, в общем случае являющейся частью системы разработки и запуска продукции в производство на предприятии. Функции системы ТПП видны из рассмотрения ее блок-схемы (рис. 5.1).

Этапы проектирования технологического процесса для станков с ЧПУ. В общем случае проектирование ТП для станков с ЧПУ можно разделить на три стадии: разработку маршрута детали; разработку ТП; подготовку УП. Каждая стадия содержит несколько этапов проектирования (табл. 5.1). Создание УП для станков с ЧПУ в условиях автоматизированного производства является важнейшей задачей всей системы ТПП. Документация, разработанная на первой стадии, является исходной для выполнения работ на второй и третьей стадиях.

5.2. ВЫБОР НОМЕНКЛАТУРЫ ЗАГОТОВОК, ОБРАБАТЫВАЕМЫХ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Изучение номенклатуры деталей машиностроения свидетельствует о ее постоянстве. В общем случае можно 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 в шт., число деталей в партии, допустимые затраты на изготовление). Номенклатура деталей, обработка которых предполагается эффективной на оборудование с ЧПУ, определяется на основе изучения технической документации на эти детали, ограничений, зависящих от конкретного производства, и характера постановки задач (рис. 5.2). 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, приведенные в табл. 5.2. Практика показывает, что значительный эффект достигается при обработке на станке с ЧПУ сложных деталей, с большим числом поверхностей, контуры которых содержат криволинейные участки и элементы прямых и плоскостей, непараллельных координатным осям станка. По сравнению с универсальными станками, повышение технико-экономических показателей обусловливается действием почти всех источников экономической эффективности [37].

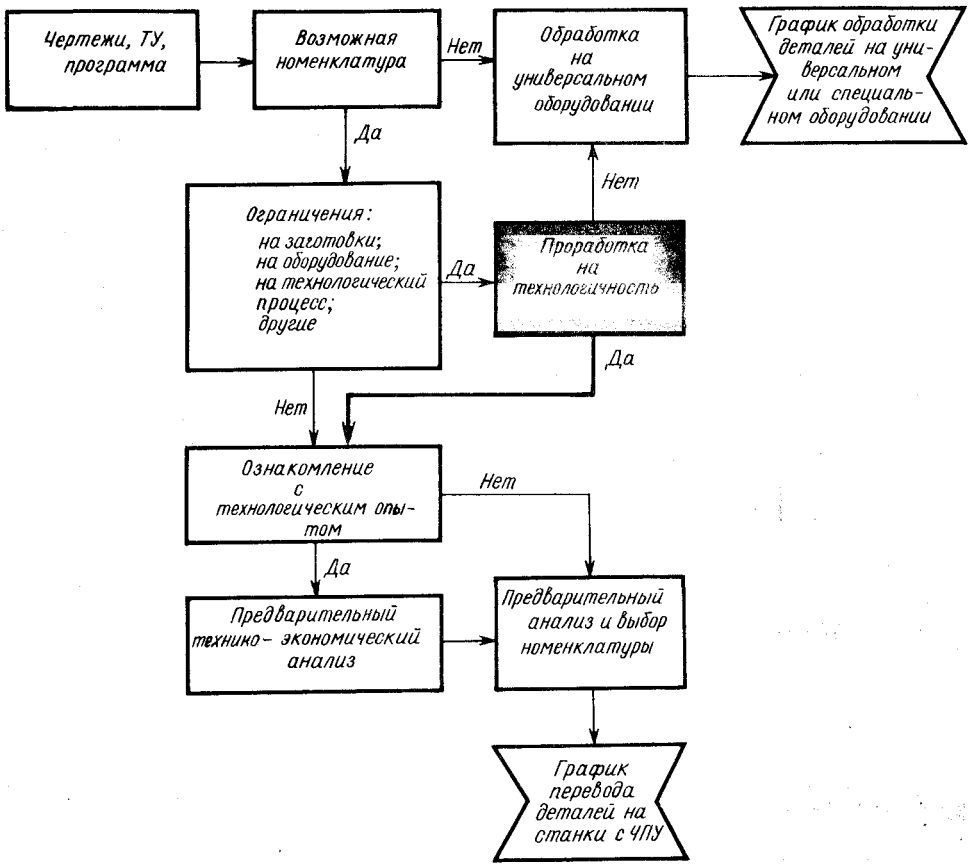


Рис. 5.2. Блок-схема алгоритма для выбора номенклатуры при обработке деталей на станке с ЧПУ

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.

Таблица 5.2. Источники и факторы экономической эффективности обработки деталей на станках с ЧПУ

Источник	Фактор	Показатель
Снятие разметки; сокращение слесарной доработки и доводочных работ; многостаночное обслуживание	Сокращение штучно-калькуляционного времени	Повышение производительности труда и снижение себестоимости продукции
Уменьшение длин траектории рабочих перемещений инструмента; оптимизация режимов резания; уменьшение длин траектории холостых перемещений инструмента; концентрация операций	Сокращение машинного времени	То же
Сокращение затрат времени на контрольные операции	Сокращение вспомогательного времени	»
Повышение точности обработки и чистоты поверхности на криволинейных участках	Уменьшение трудоемкости сборочных работ и пригоночных операций при сборке	»
	Увеличение ресурса изделия; повышение надежности изделия; повышение экономичности изделия	Повышение качества продукции
Уменьшение требуемого количества оборудования за счет повышения производительности труда	Уменьшение ресурсов на ремонт и обслуживание; сокращение требуемых производственных площадей; уменьшение расходов на электроэнергию	Снижение себестоимости продукции
Снижение разряда работ	Уменьшение расходов на зарплату производственным рабочим	То же

5.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ И ГПС 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:

$$T = C/B. \qquad (5.1)$$

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 $C = t_{шт}$, тогда коэффициент производительности при обработке числа n деталей составит величину

$$\eta_г = \frac{1}{1 + t_{пз}/(t_{шт}n)} = \frac{1}{1 + t_{пз}B/(Cn)}, \qquad (5.2)$$

где $t_{шт}$ — штучное время обработки; $t_{пз}$ — подготовительно-заключительное время.

Чем выше C, тем больше $\eta_г$ 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.

Разработана методика подбора деталей для станков с ЧПУ с использованием различных критериев их сложности, технологичности и др. [76]. Одна из схем реализации данной методики показана на рис. 5.3.

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

$$C_к = an, \tag{5.3}$$

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., они не оказывают существенного влияния на конструкцию детали. В общем случае пределы изменения конструктивной сложности составляют $0 < C_к \leqslant 1$ при максимальном числе элементов контура $n = 50$.

Технологическая сложность детали $C_т$ 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

$$C_т = C_к K_р K_м K_{исп} K_т, \tag{5.4}$$

где $K_р$ — коэффициент, характеризующий влияние на трудоемкость размеров заготовки; $K_м$ — коэффициент, характеризующий влияние обрабатываемого материала; $K_{исп}$ — коэффициент использования заготовки, характеризующий величину снимаемого припуска и вид обработки (черновая, чистовая); $K_т$ — коэффициент технологичности конструкции.

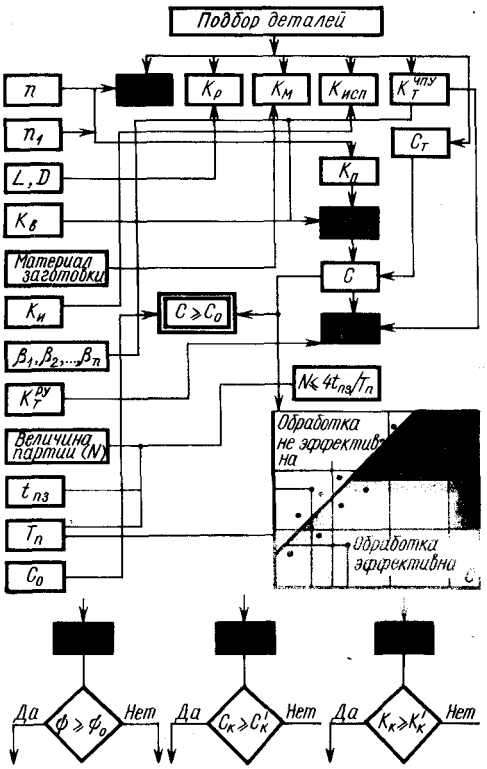


Рис. 5.3. Схема подбора деталей для обработки на станках с ЧПУ

Коэффициенты определяют по известным методикам [76] в зависимости от входных данных, к числу которых относятся: L, D — длина и диаметр заготовки; ее материал; $K_и$ — коэффициент использования материала заготовки; β_1, β_2, . . ., β_n — коэффициенты технологической сложности элементов контура.

В методике [76] 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

$$C = C_т K_п K_в, \tag{5.5}$$

где $K_п$ — коэффициент полноты обработки; $K_в$ — коэффициент вида обработки.

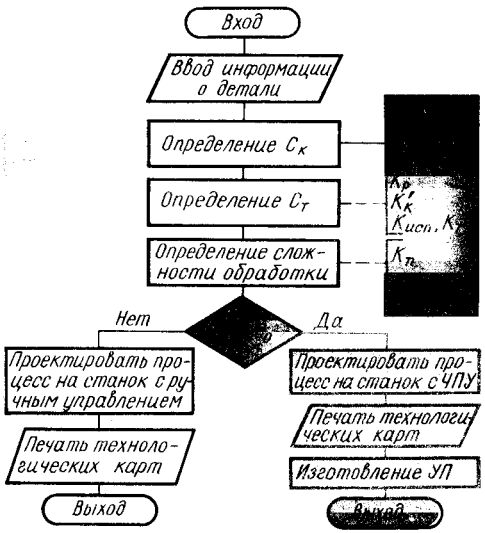


Рис. 5.4. Алгоритм подбора деталей по оптимальной сложности обработки

Коэффициент $K_п$ представляет собой отношение числа элементов n_1, обрабатываемых на данной операции, к общему числу элементов контура n. Коэффициент $K_в$ учитывает, производится ли только черновая обработка, только чистовая или обе вместе.

Таким образом, сложность обработки C — это часть $C_т$, приходящаяся на данную операцию. Поэтому

$$C/C_т = K_к, \tag{5.6}$$

где коэффициент $K_к$ может быть представлен как коэффициент концентрации обработки.

Формулы (5.3) — (5.6) являются математическими моделями принятых формализованных понятий: сложности детали и сложности обработки. Эти модели оказались достаточно достоверными и подтверждены практикой [76].

Использование моделей позволяет решить две задачи: оптимального выбора оборудования с ЧПУ для обработки заданной номенклатуры деталей и оптимального выбора деталей для загрузки заданного оборудования — станков с ЧПУ. Обе задачи тесно связаны, но каждая из них имеет самостоятельное значение. Первая задача актуальна на стадии приобретения станков для предприятия и распределения оборудования между подразделениями. Только серьезный и обоснованный анализ номенклатуры обрабатываемых деталей, специфических для данного производства, может дать ответ на вопрос, какие станки и в каком количестве необходимы предприятию. Вторая задача актуальна на стадии подбора деталей для обработки на имеющихся на предприятии станках с ЧПУ.

При решении второй задачи методом использования критериев подбора (см. рис. 5.3) можно установить, что эффективность обработки детали на станке с ЧПУ тем выше, чем больше конструктивная сложность $C_к$, коэффициент концентрации обработки $K_к$ и коэффициент ψ, т. е. определенные величины $C_к$, ψ и $K_к$ должны быть больше каких-то установленных для данного предприятия оптимальных значений $C'_к$, ψ_0 и $K'_к$. Здесь

$$\psi = K_т^{РУ}/K_т^{ЧПУ}, \tag{5.7}$$

где $K_т^{РУ}$, $K_т^{ЧПУ}$ — коэффициенты технологичности конструкции, определенные для условий обработки деталей на станках с ручным управлением (РУ) и на станках с ЧПУ.

При решении задачи следует также учитывать размер партии деталей (число деталей N), программное время обработки заготовки на станке с ЧПУ $T_п$ и время на переналадку станка $t_{пз}$. Это позволит определить допустимый размер партии деталей, если в качестве критерия использовать число переналадок за смену. Если считать, что за смену не должно быть больше одной переналадки, то можно определить минимальное число деталей в партии в зависимости от соотношения $t_{пз}$ и $T_п$.

По мере накопления опыта использования станков с ЧПУ и статистического материала можно переходить к решению задач эффективности по показателю оптимальной сложности $C \geqslant C_0$, где C_0 — минимальное значение показателя сложности детали, ниже которого использование станков с ЧПУ неэффективно. Этот метод удобен при автоматизи-

рованном проектировании ТП (рис. 5.4), поскольку процесс подбора деталей формализуется просто. Величину C_0 для каждого предприятия или цеха устанавливают исходя из имеющегося фактического материала.

5.4. АНАЛИЗ ЧЕРТЕЖА ДЕТАЛИ И ВОЗМОЖНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ

Предварительному анализу чертеж детали подвергается на стадии выявления номенклатуры деталей, которые целесообразно обрабатывать на станках с ЧПУ. При этом выявляют и оценивают факторы, обеспечивающие экономическую эффективность обработки.

При подготовке к проектированию технологического процесса (ТП) обработки возникает необходимость в более детальном анализе чертежа, чтобы выявить недостающие размеры и конструктивно-технологические данные, носителем которых должен быть чертеж, а также повысить технологичность обработки детали путем введения конструктивных изменений.

Для выявления недостающих размеров при составлении расчетно-технологической карты (РТК) можно использовать метод геометрических построений контура детали. Размеры и другая информация, которой недостает в чертеже, могут быть также получены по данным плазов, сборочных теоретических чертежей. В необходимых случаях оформляют запрос в ОГК по установленной форме. Требования к технологичности детали после анализа чертежа направляют в ОГК.

Анализ рабочих чертежей деталей является основой для разработки задания на проектирование ТП. Главное значение имеют конфигурация детали, ее габаритные размеры, материал (чугунная отливка или сварная стальная конструкция и т. п.), масса заготовок и их конфигурация, обрабатываемость материала, требуемое качество обработанных деталей (допуски на размеры и форму, шероховатость поверхности и др.), годовая программа выпуска деталей, число партий в год и число деталей в партии, допустимая стоимость обработки. При анализе элементарных поверхностей детали необходимо принимать во внимание их взаимное расположение.

Данные анализа являются также основой для выбора заготовки, что во многом определяет эффективность обработки, расход материала и общие затраты.

При анализе чертежа детали выявляют (по всей совокупности ее данных) тип детали в соответствии с принятой классификацией.

Напомним, что типом называется совокупность деталей, сходных по конструктивным признакам, имеющих в данных производственных условиях общий технологический процесс. Тип детали во многом определяет дальнейшие работы по проектированию ТП ее обработки.

Вопросы анализа чертежа детали и классификации должны решаться на базе единой системы информационного обеспечения (ЕСИО), состоящей из единой системы классификации и кодирования (ЕСКК) и унифицированной системы документации (УСД). В ЕСКК обязательно использование классификатора ЕСКД, технологического классификатора, классификатора технологических операций и системы обозначения технологических документов. Обязательной составляющей УСД является единая система программной документации (ЕСПД). Для автоматизированного решения технологических задач, связанных с отработкой на технологичность, анализом объектов производства и технологического оснащения, организацией группового производства и проектированием ТП с подготовкой УП, при анализе чертежа детали выявляется возможность ее описания в соответствующем коде. В конфигурации детали могут быть

выделены пространственные образы, информация о них в закодированном виде может быть занесена в кодированную ведомость и составлять (вместе со связями между образами) формальное описание структуры детали. Представленная в форме, пригодной для ввода в ЭВМ, информация о детали может быть использована для решения указанных выше технологических задач.

Тип детали позволяет в общем виде определить возможный ТП ее изготовления на базе имеющегося технологического опыта, полученного путем анализа ТП аналогичной детали.

Анализ возможного ТП преследует цель определить конкретный объем операций по обработке данной детали, которые целесообразно выполнять на станках с ЧПУ, а также максимально использовать технологические приемы и существующую оснастку и инструмент. Рассматривается не только данная деталь, но и вся группа деталей, сходных по конструктивным и технологическим признакам, чтобы можно было применять типовые и групповые ТП и методы обработки, групповую оснастку.

Если деталь ранее не обрабатывалась, для ознакомления подбирают аналогичную деталь, находящуюся в производстве.

Для сравнительного анализа большое значение имеют маршрут обработки детали; состояние заготовки до и после каждой из операций; полная последовательность операций (сводная карта технологического процесса); перечень приспособлений и инструмента по всем операциям; режим обработки по участкам; приемы установки и базирования детали на всех операциях; специальные технологические приемы обработки, применяемые станочниками; контрольные операции и средства контроля; вспомогательные операции и степень их механизации; нормы времени обработки детали на каждой операции; объем расходов на транспортирование деталей и заготовок; подгоночные операции при сборке детали.

Рассматривая технологический процесс обработки данной или аналогичной детали на универсальных станках, необходимо критически оценить возможность устранения разметочных операций, оптимизации режимов резания, совмещения операций и уменьшения числа переустановок детали, уменьшения объема слесарных доводочных операций после фрезерования, снижения среднего разряда работ по фрезерным и слесарным операциям, сокращения объема контрольных операций и упрощения контрольно-измерительной оснастки механизации вспомогательных операций (зажима и отжима заготовки, смены инструмента), уменьшения объема доводочных операций при сборке.

В результате анализа возможного ТП схема обработки данной детали может быть представлена тремя частями: выполнение на универсальных станках операций, предшествующих обработке на станках с ЧПУ (подготовка баз и пр.); обработка деталей на станках с ЧПУ; доработка деталей на универсальных станках и слесарным путем до получения всех требуемых размеров чертежа.

5.5. 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

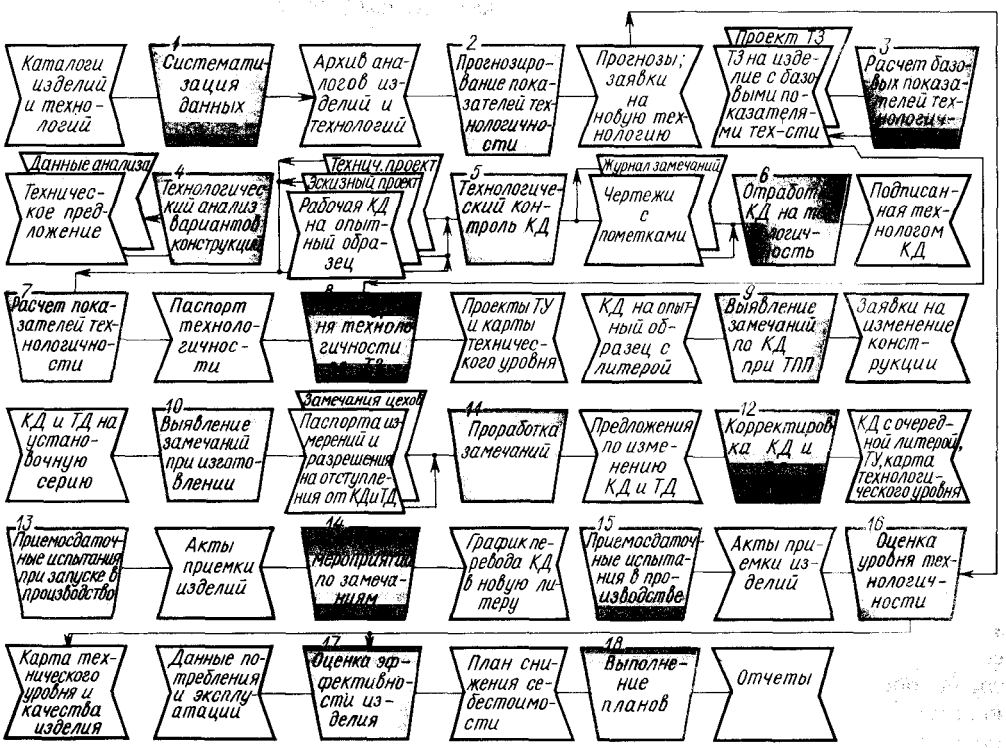


Рис. 5.5. Блок-схема задач по обеспечению технологичности конструкции

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 применяемости, 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. Блок-схема таких задач показана на рис. 5.5. Структура ее такова, что идет чередование входных документов, работ и выходных документов. Схема 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 замечания и вносить предложения по изменениям на комиссию, разрабатывать мероприятия по ре-

зультатам начала установившегося производства, планировать их выполнение и т. д.

Завершают схему 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: 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. Примеры нетехнологичных и технологичных конструктивных решений деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, приведены в табл. 5.3.

При обработке детали на станках с ЧПУ (особенно на фрезерных) требуются 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.

Наименьшие допустимые диаметры базовых отверстий d_{min}:

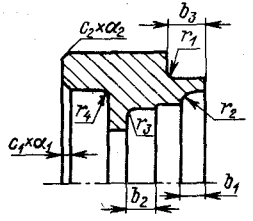
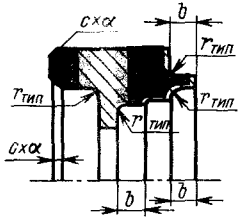
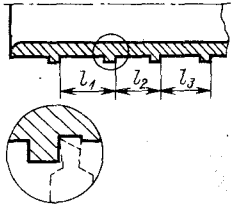
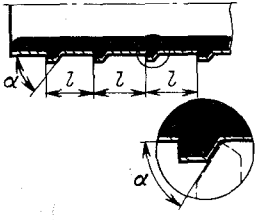
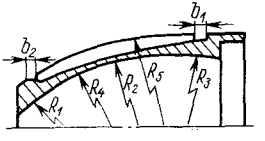
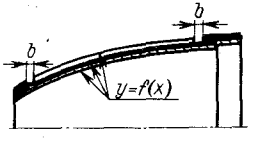
Размеры детали, мм	<100	100—200	200—1000
d_{min}, мм	4	6	10

Размеры детали, мм	1000—2000	>2000
d_{min}, мм	16	20

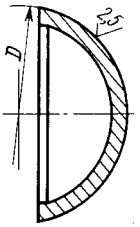
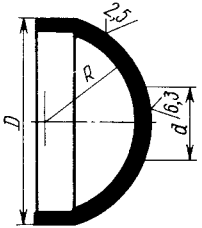
При невозможности выполнить технологические базовые отверстия в детали следует предусмотреть у заготовки специальные технологические приливы, в которых и разместить базовые отверстия.

При анализе шероховатости поверхностного слоя обработанной детали следует иметь в виду, что после обработки концевыми фрезами на горизонтальных поверхностях остаются заметные на глаз следы фрезерования. В большинстве случаев высота уступов и микронеровностей не превышает 0,01—0,05 мм. Определено, что лучше иметь такие микронеровности, чем риски от слесарной доработки поверхности абразивными кругами: микронеровности после фрезерной обработки как концентраторы напряжений менее опасны, чем риски. Поэтому по возможности при проектировании ТП слесарную доработку поверхностей, обработанных на станках с ЧПУ, вводить не следует.

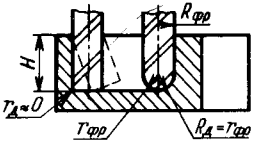
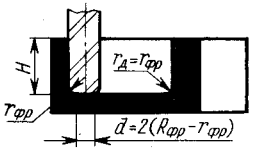
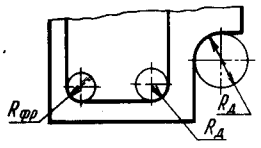
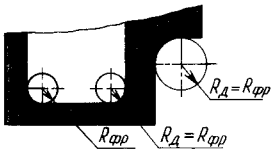
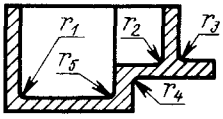
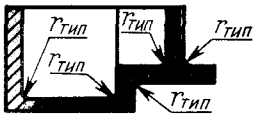
Таблица 5.3. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ

Требования	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичное	Технологичное
	Станки токарной группы	
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		
3. Задание **отдельных участков образующей уравнениями, а не координатным** способом		

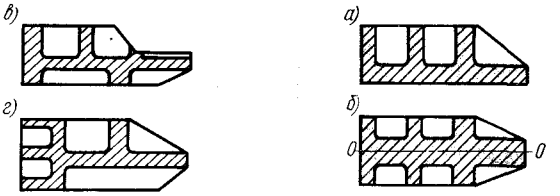
Продолжение табл. 5.3

Требование	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичное	Технологичное
4. Некоторое снижение требований по шероховатости обрабатываемой поверхности у оси вращения		

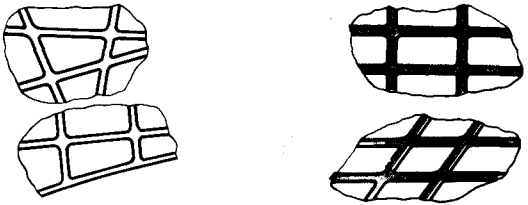
Станки фрезерной группы

1. Сопряжения стенок наружных и внутренних обрабатываемых контуров детали по возможности следует выполнять одинаковыми (типовыми для данного контура) радиусами $R_д = R_{фр}(1/4 \div 1/6)\ H;\quad r_д = r_{фр}$, где H — наибольшая высота стенок обрабатываемого контура. Выполнение этого требования ведет к сокращению типоразмеров режущего инструмента при обеспечении его жесткости и высокой производительности обработки. При обработке деталей из легких сплавов $R_{фр} \geqslant H/6$, из труднообрабатываемых материалов — $R_{фр} \geqslant H/4$ При назначении радиусов сопряжения для детали ($R_д$ и $r_д$) необходимо выдерживать такое соотношение между ними и радиусами фрезы $R_{фр}$ и $r_{фп}$, которое обеспечивало бы наличие на торце инструмента (концевой фрезы) плоского участка с диаметром $d = 2(R_{фр} - r_{фр})$, что необходимо для качественной обработки участков поверхности детали, ограниченных контуром или прилегающих к нему. Следует избегать соотношения $R_д = r_д = R_{фр} = r_{фр}$, при котором требуется применять концевые сферические фрезы		
		
2. Сопряжение стенок с полками и подсечками одинаковыми для данного контура радиусами $r_{тип}$, что исключит необходимость обработки различными инструментами и возможность появления следов зарезания		

3. Обеспечение конструкцией детали обработки с наименьшим числом установов на станке. Наиболее технологична односторонняя конструкция с базовой плоскостью (*а*); в этом случае при выполнении условий унификации радиусов деталь может быть полностью обработана одним инструментом на одном приспособлении при одном установе на базовую плоскость. Следующей по степени технологичности является двусторонняя симметричная конструкция детали (*б*); вследствие симметричности относительно оси *ОО* деталь обрабатывается с двух сторон по одной и той же программе одним инструментом. Менее технологичными являются двусторонняя несимметричная (*в*) и многосторонняя (*г*) конструкции деталей

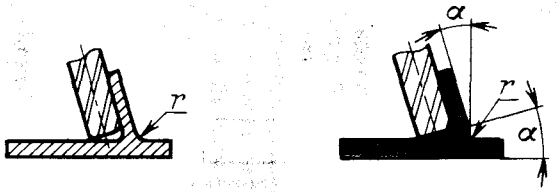


4. Упрощение геометрических форм и типизация основных повторяющихся геометрических элементов детали, например карманов, колодцев (см. рисунок), панелей, рам, балок и т. п. Это сокращает затраты на программирование.
При конструировании деталей следует максимально использовать зеркально отображенные и симметричные элементы

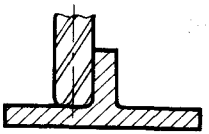
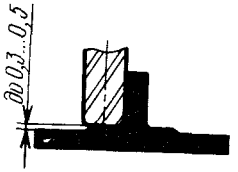
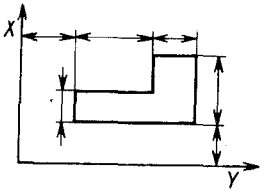
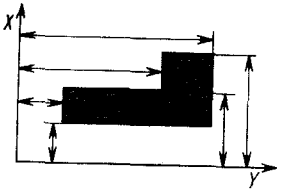
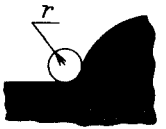


5. Следует по возможности избегать наклонных (так называемых малкованных) стенок, а также имитации штамповочных уклонов

6. Конфигурация детали должна обеспечивать свободный доступ к поверхностям для обработки их одним инструментом при минимальном числе рабочих ходов



Продолжение табл. 5.3

Требование	Пример конструктивного решения детали	
	Нетехнологичное	Технологичное
7. В местах сопряжения обрабатываемой стенки с дном предусматривать завышения 0,3—0,5 мм. Это уменьшает объем обработки и предупреждает «зарезы»		
8. Простановка размеров от одной базы		
9. Обеспечение сопряжений линий контура плавным радиусом		

Это сохранит поверхностный слой обработанной поверхности, который упрочнен наклепом при фрезеровании и имеет сравнительно хороший микрорельеф.

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:

1) все размеры проставляют на детали в прямоугольной системе координат от единых конструктивных баз детали;

2) желательно также проставлять размеры от оси детали к центрам всех окружностей, если это не требует от конструктора дополнительных трудоемких вычислений;

3) 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;

4) в случае, если контуры изделия заданы аналитически или таблицей координат точек, в чертеже не должно быть ссылок на плаз. Вместо указаний «Контур снять с плаза» следует писать «Контур рассчитывать по данным теоретического чертежа, первую деталь сверить с плазом»;

5) чертеж выполняют в масштабе, соблюдая его по всему полю чертежа;

6) на поле чертежа рекомендуется помещать надпись «Изготавливать на станке с ЧПУ» или «Контур фрезеровать на станке с ЧПУ».

5.6. 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 содержанием документа 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), изготовляющего детали на станках с ЧПУ.

Технические условия на поставку детали являются документом, разграничивающим технологический процесс обработки на станках с ЧПУ и этап последующей доработки деталей 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), изготовляющим детали на станках с ЧПУ, и участком (цехом), производящим окончательную их доработку.

5.7. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАРШРУТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

При определении маршрута прежде всего уточняется общая последовательность обработки детали, увязываемая с используемым оборудованием. 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).

Классификация методов

Маршрутные технологические процессы проектируют разными методами (рис. 5.6).

Метод адресации основан на использовании принципа унификации и может быть применен при внедрении в производство групповых и типовых ТП. 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.

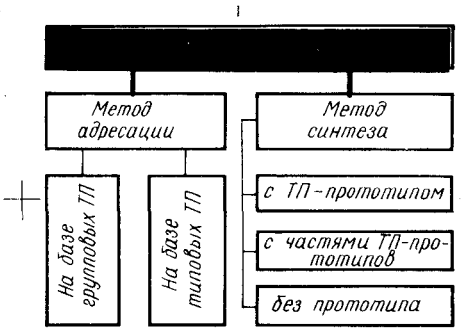


Рис. 5.6. Классификация методов проектирования технологических процессов

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 %

Методы адресации

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 [35]. В систему входит технологический классификатор, располагающий достаточно большим массивом различной информации (групповые ТП), закодированной и зафиксированной на какомлибо программоносителе (например, на перфолентах), который вводит информацию в ЭВМ.

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 [26]. Созданный таким образом банк данных при использовании современных СУБД дает возможность осуществить поиск групповой технологии по общим характеристикам детали, корректировку ее по частным характеристикам и печатание рабочих документов, в том числе и УП для станков с ЧПУ.

Блок-схема задач, решаемых при проектировании рабочих ТП, показана на рис. 5.7. Условные обозначения в схемах алгоритмов приведены в табл. 5.4.

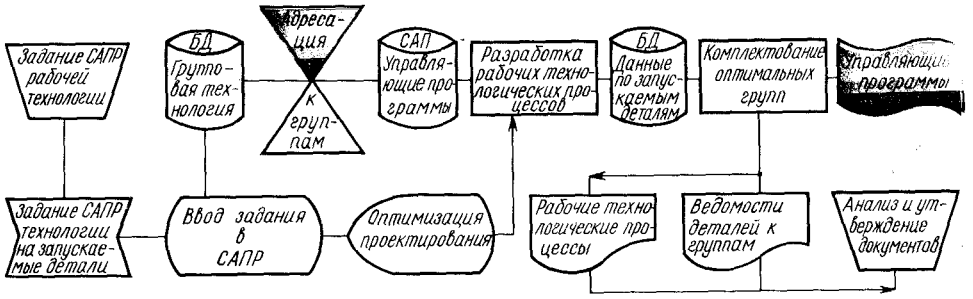


Рис. 5.7. Блок-схема задач проектирования рабочих ТП методом адресации

Таблица 5.4. Условные обозначения в схемах алгоритмов по ГОСТ 19.003—80

Символ	Значение символа	Символ	Значение символа
	Процесс		Перфокарта
	Решение		Колода перфокарт
	Модификация		Файл
	Предопределенный процесс		Перфолента
	Ручная операция		Магнитная лента
	Вспомогательная операция		Магнитный барабан
	Слияние		Магнитный диск
	Выделение		Оперативная память
	Сортировка		Дисплей
	Группировка		Канал связи
	Ручной ввод		Линия потока
	Ввод-вывод		Параллельные действия
	Неавтономная память		Соединитель
	Автономная память		
	Документ		

Продолжение табл. 5.4

Символ	Значение символа	Символ	Значение символа
	Пуск-останов		Расшифровка
	Комментарий		Кодирование
	Межстраничный соединитель		Копирование
	Магнитная карта		Транспортировка носителей
	Ручной документ		Материальный поток
	Архив		Источник (приемник) данных
	Автономная обработка		

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 [35]. 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 базе 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. Элементарные типовые ТП в ряде случаев являются отправными при проектировании ТП методом синтеза.

Операционные типовые ТП характерны для изготовления деталей родствен-

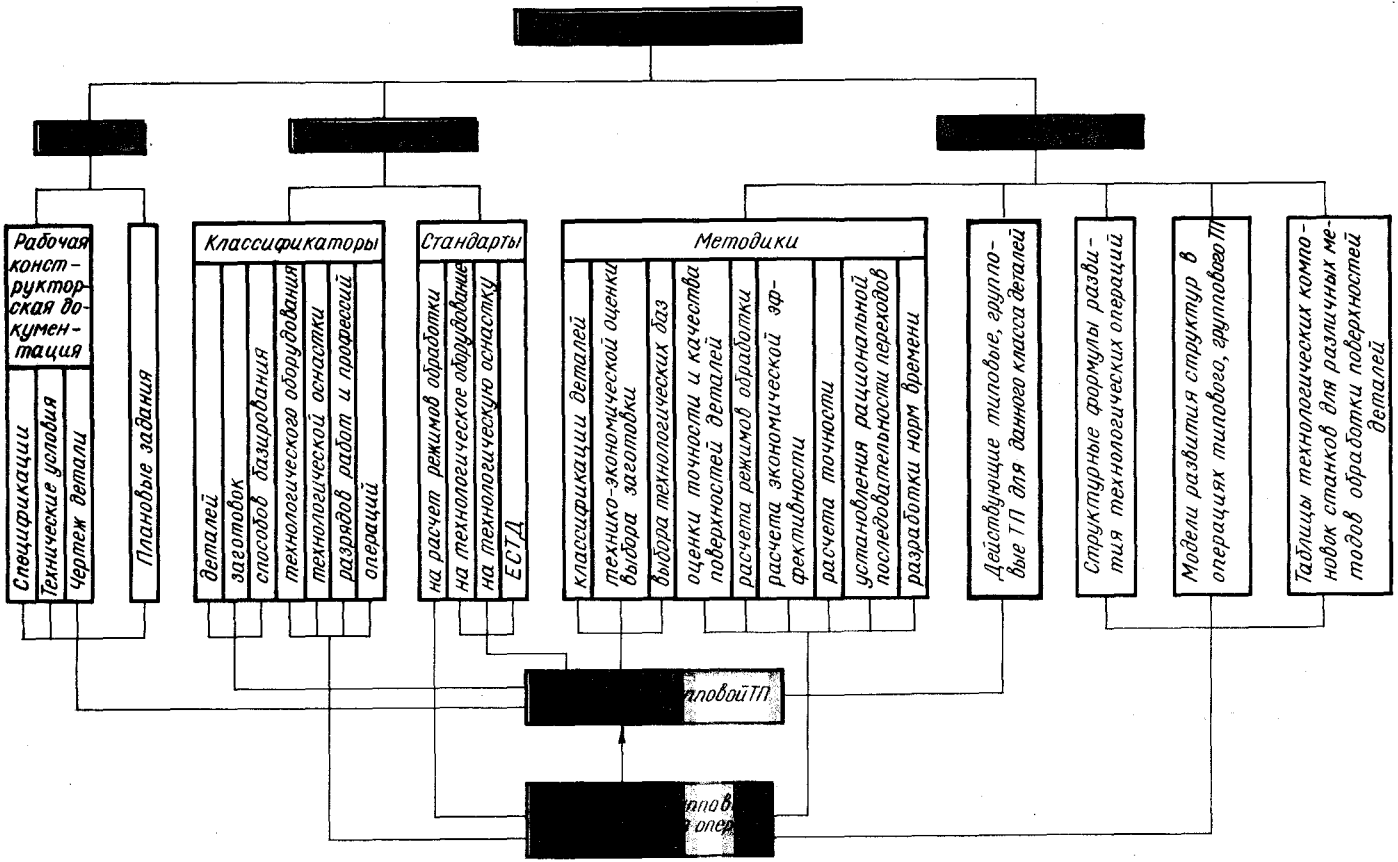


Рис. 5.8. Элементы формирования структуры типового и группового ТП

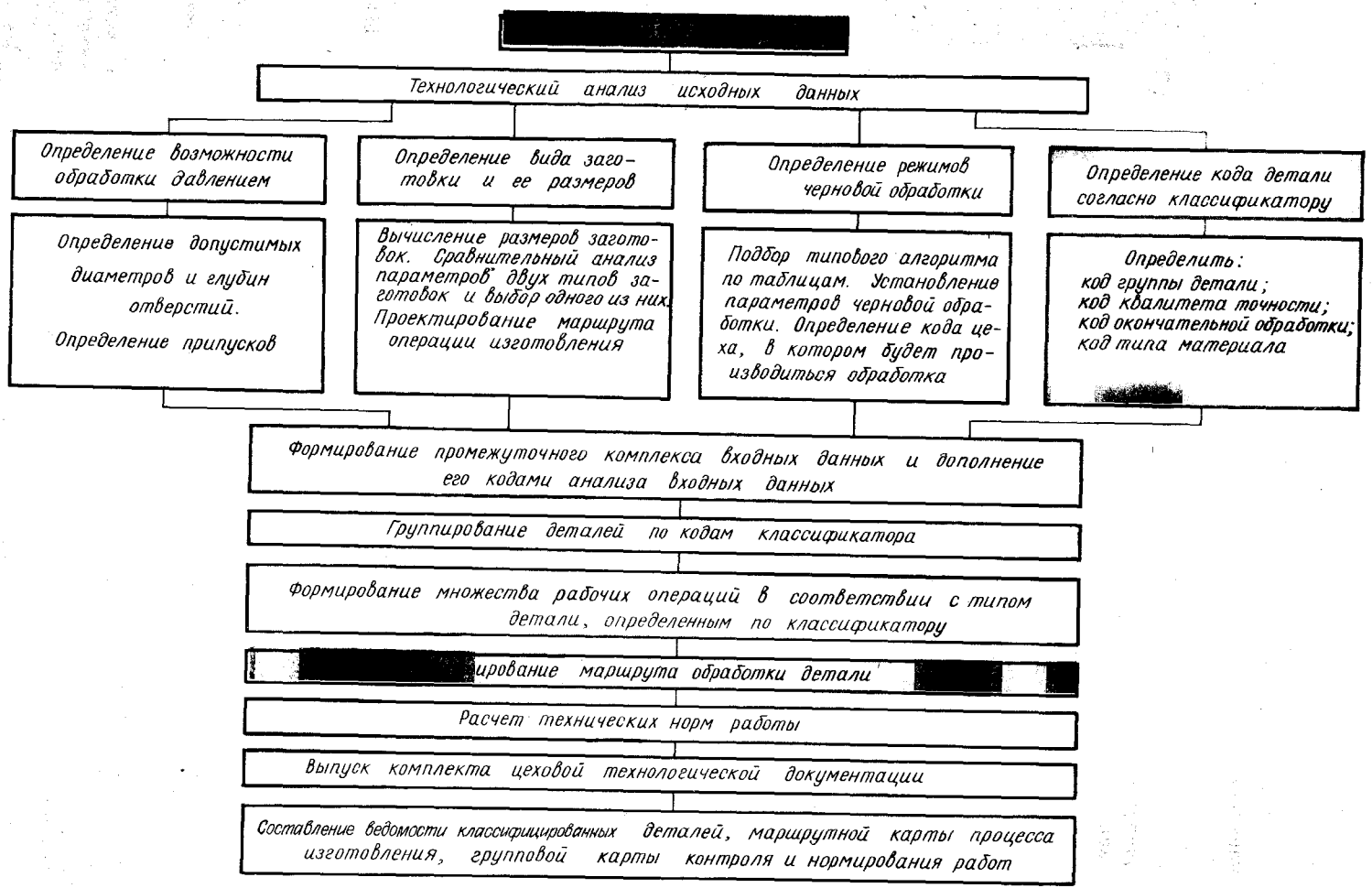


Рис. 5.9. Общая схема проектирования методом адресации на базе типовых ТП

ных групп и сочетаний 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 (рис. 5.8). От ее полноты и качества во многом зависит и качество разрабатываемого ТП. Основные этапы разработки типовых ТП, задачи, решаемые на каждом этапе, и основные документы, используемые для решения этих задач, указаны в ГОСТ 14.303—73*. 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. Общая схема проектирования рабочего ТП на базе типовых ТП показана на рис. 5.9.

Метод адресации на базе типовых ТП достаточно прост с точки зрения реализации, но его применение ограничивается группами деталей и определенными ТП [35, 36].

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, переходов, 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. Структурная схема системы проектирования ТП с прототипом показана на рис. 5.10. 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 тоже 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 [16].

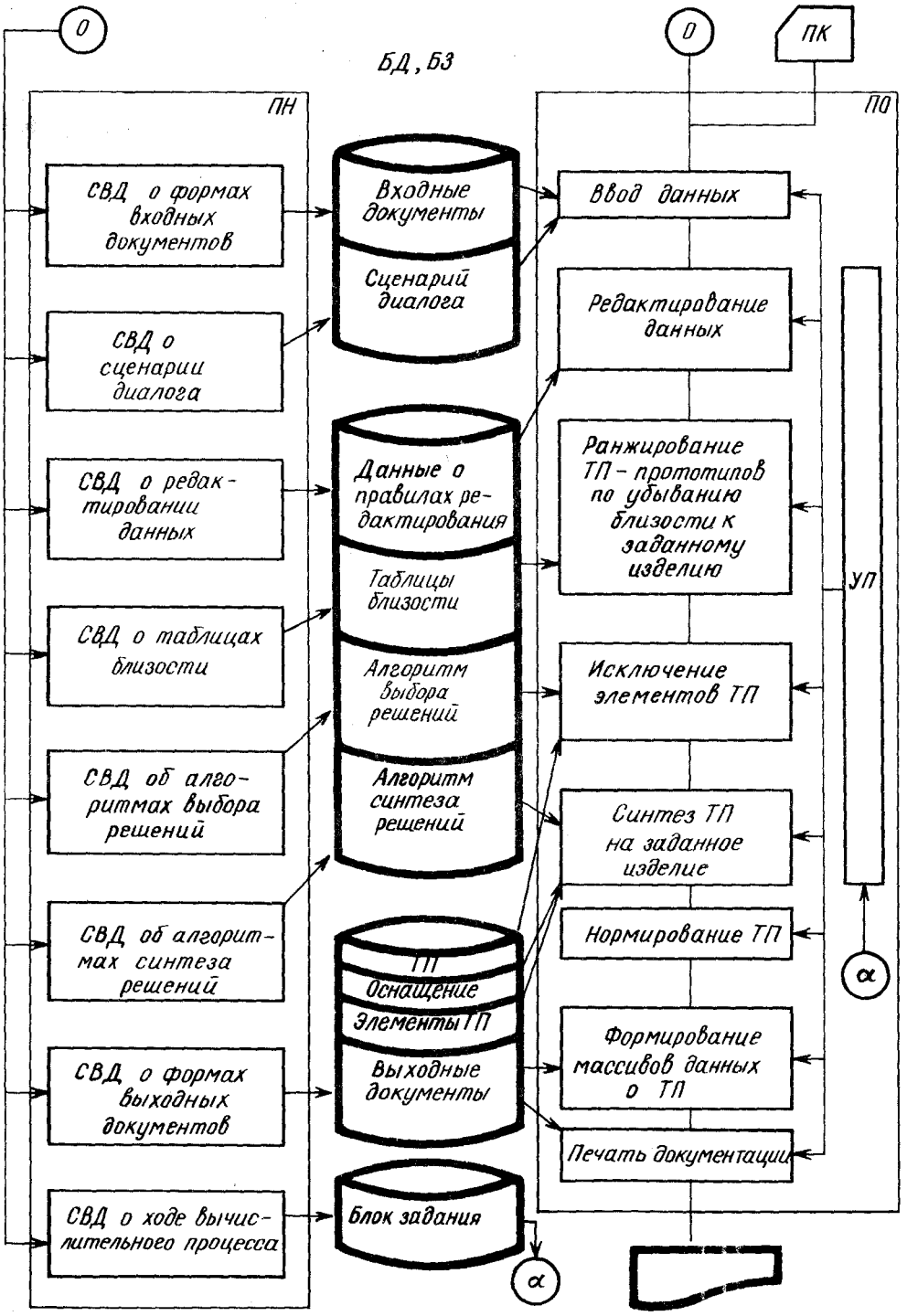


Рис. 5.10. Структурная схема системы проектирования ТП с прототипом:

О — оператор; *ПК* — перфокарта; *БД* — база данных; *БЗ* — база знаний; *ПН* — пакет настройки; *ПО* — пакет обработки; *УП* — управляющая вычислительным процессом программа; *СВД* — средство ввода данных

5.8. РАЗРАБОТКА МАРШРУТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

Маршрут обработки детали на станке с ЧПУ в общем случае определяется последовательностью обработки, увязанной с оборудованием и с комплексом технологической оснастки.

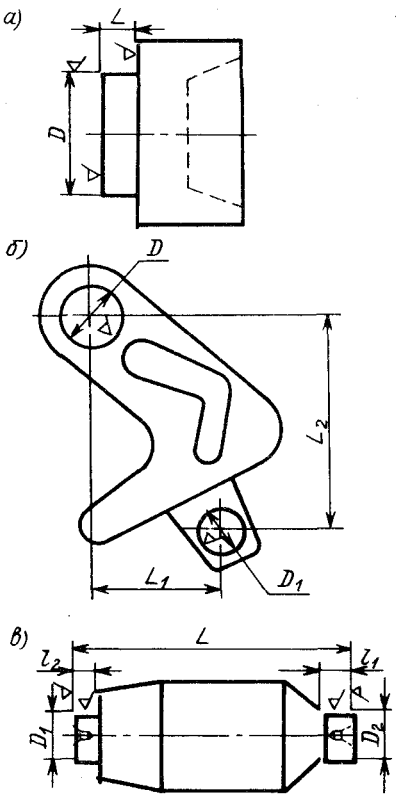
Последовательность обработки детали на станках ЧПУ зависит от формы и размеров заготовки, от формы, вида и размеров базовых поверхностей, а также от требований, предъявляемых к операциям, намеченным в общем ТП для осуществления на станках с ЧПУ.

Для решения этой сложной и важной задачи от технолога-программиста требуется знание технологических возможностей оборудования с ЧПУ и возможностей предприятия, особенностей конструкции детали, различных технологических приемов обработки и особых требований, возникающих вследствие специфики обработки на станках с ЧПУ. Должен быть максимально использован опыт обработки аналогичных деталей на обычных станках.

Прежде всего должен быть решен вопрос о количестве установов (положений) детали на столе или в шпинделе станка, необходимых для полной ее обработки. Первый установ, как правило, выбирают из условия наиболее удобного базирования заготовки по «черным» или заранее подготовленным «чистым» базам. Второй и последующие установы должны предусматривать использование обработанных при предыдущих установах чистых поверхностей в качестве промежуточных баз.

Конечной задачей является поиск схемы, обеспечивающей наиболее полную обработку детали со всех сторон с наименьшим количеством установов и требуемой при этом оснастки.

При выборе последовательности операций следует учитывать необходимость



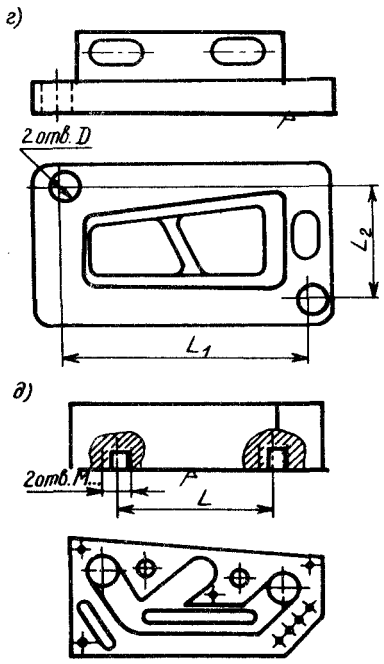


Рис. 5.11. Примеры заготовок с базовыми поверхностями, подготовленными для обработки на станках с ЧПУ

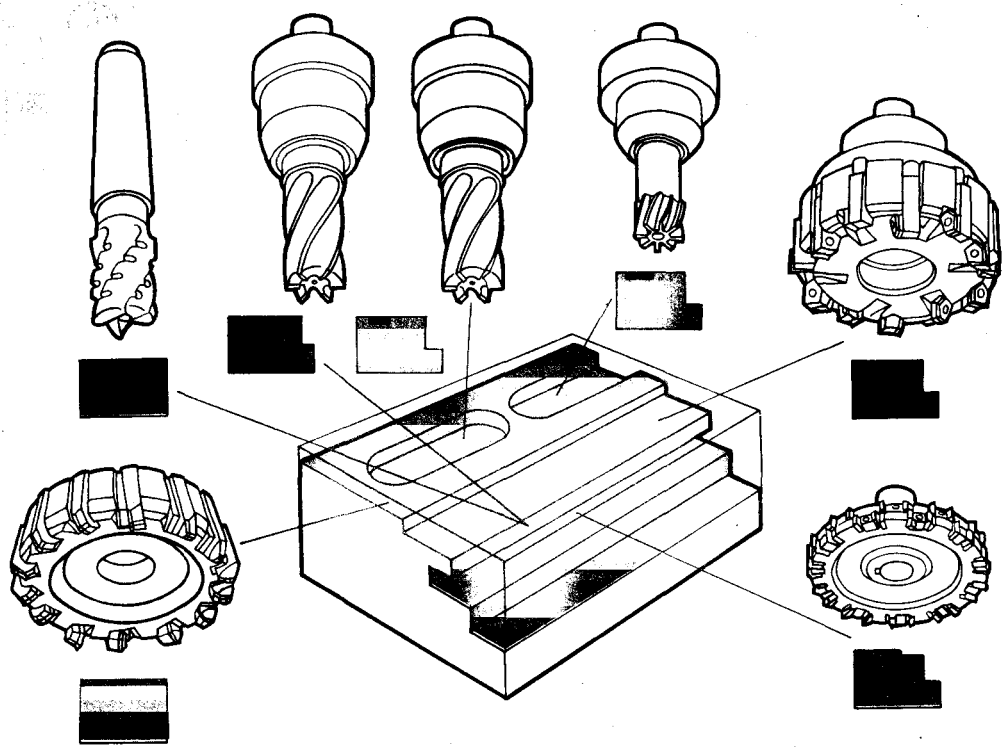


Рис. 5.12. Зоны использования различных инструментов при фрезерной обработке деталей

совмещения конструкторской и технологической баз и получение технологических баз.

В начале обработки должны быть предусмотрены разгрузочные операции (переходы), в процессе которых снимают большие слои металла, чем исключается влияние напряжений при последующей обработке.

Подготовка чистых баз деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, в ряде случаев выполняется на рядом расположенных универсальных станках. Для токарной обработки это прежде всего подрезка торцов и центрование деталей (рис. 5.11, *в*), проточка базовых шеек (рис. 5.11, *а*), для фрезерной и других видов обработки — фрезерование базовой плоскости и обработка базовых отверстий (рис. 5.11, *б, д*). В ряде случаев одновременно с обработкой баз рекомендуется определенная черновая обработка по простому контуру, при которой удаляется часть припуска (рис. 5.11, *г*). В условиях автоматизированного производства операция по подготовке баз и удалению части припуска выполняется, как правило, на одноинструментальных станках с ЧПУ, обладающих повышенной жесткостью и сравнительно невысокой точностью.

В процессе разработки схемы последовательности обработки детали выполняют эскизное проектирование (составление ТЗ) *приспособления* для базирования и закрепления заготовки на каждом установе.

После выяснения требуемого числа и последовательности установов задают последовательность обработки детали по зонам, образованным ее конструктивными особенностями (внутренний и наружный контуры, окна, приливы и пр.). В каждой зоне выделяют отдельные элементы (торец, внутренний контур, окна, отверстия), для которых устанавливают вид обработки (черновая, чистовая) и требуемые типоразмеры инструментов (рис. 5.12).

Отдельные элементы, обрабатывае-

мые одним инструментом, группируются как внутри зоны, так и по всем зонам. Такое группирование позволяет выявить количество типоразмеров режущих инструментов для обработки всей детали и выяснить возможность обработки всех доступных зон на данном установе.

Последовательность обработки по зонам определяется конструкцией детали и заготовки. При установлении такой последовательности следует, где это возможно, придерживаться принципа, обеспечивающего максимальную жесткость детали на каждом участке обработки.

Так, обработку корпусной детали с ребрами целесообразно начинать с фрезерования торцов ребер до обработки контура детали, так как ребра при этом будут более жесткими. Далее целесообразно обработать внешний контур, а потом внутренний — окно, колодцы. Внутренний контур детали следует обрабатывать от центра к периферии.

На токарном станке, когда последовательность обработки частей (зон) детали ничем не обусловлена, обработку следует начинать с более жесткой части (большего диаметра) и заканчивать зоной малой жесткости. Получистовую и чистовую обработку, для которой требуется обычно несколько инструментов, целесообразно вести на станках, имеющих магазин инструментов.

Последовательность обработки элементов детали, находящихся в данной зоне, определяют на стадии проектирования операционного ТП.

5.9. ВЫБОР ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП

Маршрутная технология определяет прежде всего принципиальную схему ТП. На этом этапе выявляют типы станков с ЧПУ, которые требуются для обработки данной детали. Далее на стадии разработки маршрутного ТП рассматривают детализацию оборудования в целях выбора для каждой операции конкретной модели станка. Эффективность обработки деталей определяют совокупностью следующих исходных показателей: производительности станка; технологической себестоимости обработки; эксплуатационной и технологической надежности оборудования; достигаемого качества обработки деталей (точность размеров, точность взаимного расположения поверхностей и шероховатость последних); затрат на подготовку производства.

Детальный расчет этих показателей требует полной разработки технологических процессов (структуры операции, траектории движения режущих инструментов, режимов обработки, элементов нормы времени), что нецелесообразно и в ряде случаев невозможно выполнить при выборе оборудования в процессе разработки маршрутного ТП.

При автоматизированном проектировании ТП оборудование выбирают на основе информационных моделей, построенных на базе функций приоритетов [16]. Это позволяет для каждой конкретной детали судить о показателях качества оборудования (различных станков): производительности, себестоимости, точности, затратах на подготовку производства. Однако и в этом случае выбор наилучшей модели станка зависит от конкретных условий производства. Поэтому только технолог-проектировщик может дать качественную оценку предпочтительных показателей.

Существует определенная зависимость между стоимостью станка C и его технологическими возможностями. Например, наиболее дорогая модель токарного станка, которой заканчивается классификационный ряд (рис. 5.13), имеет магазин инструментов с АСИ, что дает возможность обрабатывать сложные детали. На практике после ранжирования станков данного типа по стоимости и технологическим возможностям выделяют класс деталей, которые целесообразно обрабатывать на этих станках. Детали классифицируют по совокупности признаков, отражающих будущий экономический эффект. Наименьший список таких признаков: объем партии $П$ не должен превышать нормативное значение $П_н$; число операций Q, концентрируемых на станке, не должно превы-

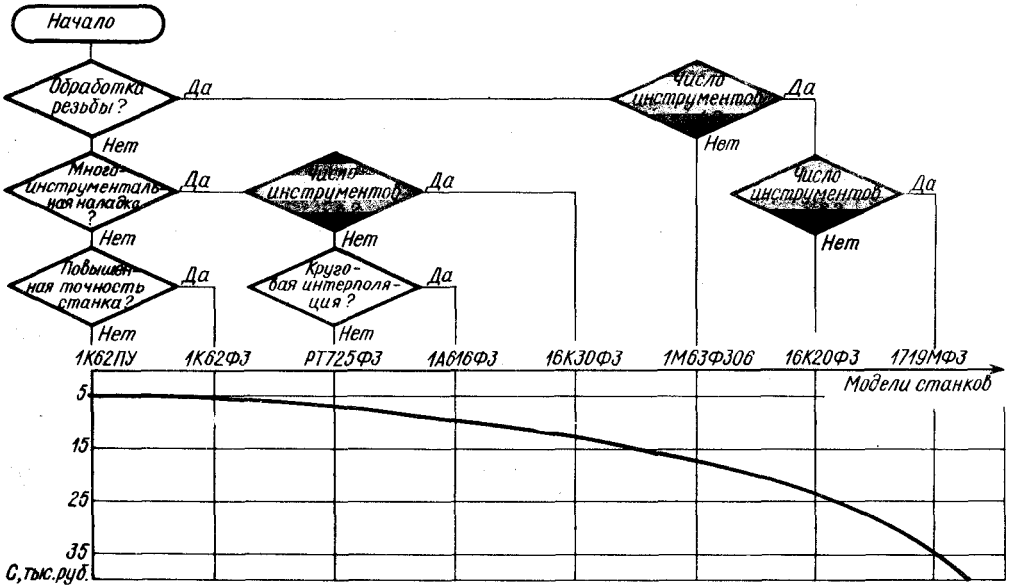


Рис. 5.13. Алгоритм построения классификационного ряда токарных станков с ЧПУ по технологическим возможностям и стоимости станка *С*

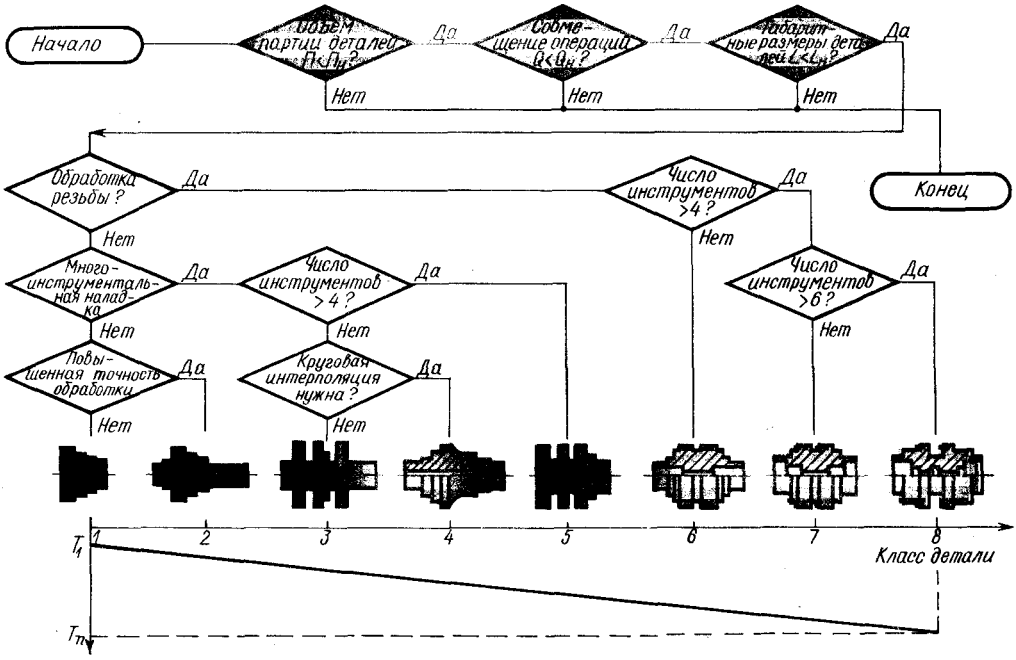


Рис. 5.14. Алгоритм построения классификационного ряда деталей по технологическим возможностям станков и трудоемкости изготовления

шать нормативное $Q_н$; габаритные размеры деталей L не должны превышать предельные значения для станков $L_н$.

В алгоритме, представленном на рис. 5.14, детали располагаются в ряд по их технологическим характеристикам, которые аналогичны признакам станков, но отличаются формулировками, и одновременно ранжируются по сложности обработки. Последнее дает возможность приближенно рассчитать трудоемкость изготовления деталей T_i (что необходимо, например, при определении числа станков) по графику прямолинейности зависимости. Такой график можно построить, если расчетным путем пронормировать только первую (T_1) и последнюю (T_n) детали. Линейный характер зависимости позволяет достаточно просто определить трудоемкость изготовления любой детали ряда. Погрешность такого расчета составляет 25—30 %, что допустимо для предварительной стадии работ.

Оборудование для деталей типа тел вращения. К деталям типа тел вращения относятся пальцы, диски, зубчатые колеса, фланцы, стаканы, сепараторы, втулки, валы, шпиндели. При подборе номенклатуры деталей для обработки их на станках с ЧПУ детали этого класса разбивают на две подгруппы:

1) детали, подлежащие обработке на патронных токарных станках (зубчатые колеса, фланцы, кольца, сепараторы, втулки и т. д.);

2) детали, подлежащие обработке на центровых токарных станках (ступенчатые валы, шпиндели, ходовые винты и т. д.).

При подборе *деталей первой подгруппы* необходимо учитывать, что для их обработки могут потребоваться несколько групп станков; это создает благоприятные условия для образования замкнутых участков из станков с ЧПУ. Детали этой подгруппы имеют много переходов и сложную конфигурацию, поэтому станки должны быть оснащены большим количеством инструментов. Если требуется дополнительная обработка деталей (сверление, фрезерование, шлифование), то применяют станки с ЧПУ других групп или токарные многоцелевые станки.

Что касается *деталей второй подгруппы*, то их черновую обработку целесообразно производить на одноинструментальных токарных станках с ЧПУ. Для получистовой, а в некоторых случаях и чистовой обработки ступенчатых валов и шпинделей рекомендуются многоинструментальные токарные станки с ЧПУ.

Доработка деталей типа валов или шпинделей (сверление несоосных отверстий, фрезерование шпоночных пазов и т. п.) чаще всего выполняется на универсальном оборудовании. Однако в последнее время наметилась тенденция выполнять операции сверления и фрезерования подобных деталей совместно с токарной обработкой. Для этих целей используют токарные многоцелевые станки.

Оборудование для деталей, требующих операций фрезерования. Сначала следует определить тип станка, обеспечивающего обработку с одновременным управлением перемещением инструмента по определенному числу координат. Для этого надо сгруппировать детали данного производства, требующие фрезерной обработки, по числу требуемых координат и габаритным размерам. Это позволит установить тип станка по габаритным размерам его стола или размерам зоны обработки [63].

Плоскостные детали (планки, косынки, крышки, плиты, плоские кулачки и др.), имеющие пазы, окна, скосы, уступы, кривые поверхности, для которых может быть использован один инструмент, целесообразно обрабатывать на одноинструментальных фрезерных станках, а если на деталях одновременно имеются крепежные ступенчатые отверстия разного диаметра и разной глубины, то их целесообразно обрабатывать на многоинструментальных фрезерных станках. На этих станках можно также выполнять черновую, получистовую и чистовую расточку отверстий по 7—8-му квалитету.

Оборудование для деталей среднего литья. Детали среднего литья (рычаги, вилки, кронштейны, средние корпусные детали) следует обрабатывать с максимальной концентрацией операций на станке. Первую операцию рекомендуется выполнять так, чтобы базовая плоскость и базовые отверстия обрабатывались с одного установа.

Обработку деталей, имеющих отверстия в пяти плоскостях, целесообразно разделить на две операции: 1) подготовку базы на вертикально-расточных или фрезерных станках; 2) обработку отверстий (в том числе крепежных) и плоскостей с четырех сторон на многоцелевых станках.

Оборудование для корпусных и базовых деталей. При выборе оборудования здесь различают две группы деталей.

1. Корпуса коробчатой формы, характеризующиеся прямоугольными очертаниями, примерно равными габаритными размерами, наличием внутренних перегородок, значительным числом точных отверстий с параллельными и перпендикулярными осями. Для деталей данной группы может требоваться обработка по пяти-шести плоскостям. Для этого рекомендуется использовать станки с ЧПУ следующих типов: для черновой обработки — горизонтальные станки с ручной сменой инструмента; для получистовых операций (подготовки базовой плоскости и двух базовых отверстий, сверления всех крепежных отверстий) — вертикально-фрезерные с револьверной головкой; для чистовых операций (обработки трех плоскостей) — многоцелевые станки.

2. Корпуса, салазки и каретки — детали, у которых два габаритных размера (длина и ширина) значительно превышают третий (высоту) и в которых необходимо обрабатывать различные поверхности, направляющие, Т-образные пазы, отверстия 7-8-го квалитета. Черновую, получистовую и частично чистовую обработку этих деталей рекомендуется выполнять на продольно-фрезерных станках с ЧПУ.

Перечисленные требования и рекомендации по выбору оборудования не являются окончательными и абсолютными. На практике часто решающее значение имеют реальные условия производства.

ГЛАВА 6

ОПЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

6.1. ОБЩАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ

Разработка операционного технологического процесса начинается с составления (уточнения) операционного эскиза, по которому определяют содержание операции. Это позволяет выявить число установов, необходимых для выполнения операции. Далее процесс разрабатывают для каждого установа, выполняя соответствующие эскизы с указанием схемы базирования и крепления заготовки в каждом установе.

На детали выделяют так называемые зоны обработки, представляющие собой часть припуска на том или ином элементе или какой-то части детали. Припуск может быть удален различным инструментом за несколько переходов или даже операций. Введение зон обработки позволяет использовать типовые схемы переходов, определяющие правила построения траектории инструмента. А последнее в значительной мере облегчает подготовку УП для станков с ЧПУ.

Последовательность обработки детали по зонам, обычно связанным с конструктивными особенностями детали, намечают отдельно для каждого установа детали.

В каждой из зон определяют вид обработки (черновая, чистовая), устанавливают ее последовательность для отдельных элементов детали, находящихся в данной зоне, находят требуемые типоразмеры режущего инструмента.

Кроме того, выделяют совокупность элементов детали, обрабатываемых общим инструментом, что характеризует часть операции, выполняемую по отдельной подпрограмме.

Методы разработки операционных ТП аналогичны методам разработки маршрутных ТП. Наиболее успешно технологическое проектирование на основе типизации ТП. Типовые ТП являются базой для самых различных автоматизированных систем проектирования [5, 16, 58]. Из этих систем следует выделить комплексную автоматизированную систему технологической подготовки производства (КАС ТПП), обеспечивающую совершенствование и ускорение технологической готовности предприятия к производству изделий высшей категории качества при минимальных трудовых и материальных затратах [35, 36].

Метод проектирования ТП на базе типовых переходов осуществляется выбором вариантов обработки отдельных элементов детали и общей последовательности ее обработки, наиболее соответствующих конкретным техническим и производственным условиям [16, 36]. При этом за основу принимаются соответствующие переходам типовые схемы обработки элементов, отличающихся геометрией контура, характером припуска, точностью и др.

Порядок технологического проектирования (синтезирования ТП) в рассматриваемом случае следующий. Выявляют отдельные конструктивные элементы обрабатываемой детали и соответствующие зоны обработки. Для обработки каждого элемента и зоны устанавливают (выбирают) типовой технологический переход (типовую схему обработки) и предназначаемый для этого режущий инструмент. В определенной логической последовательности переходы с назначением режимов обработки объединяют в технологическую цепочку, составляющую технологическую операцию в целом. При этом необходимо уже на стадии технологического проектирования стремиться строить операцию с такими переходами, которым соответствуют траектории движения режущего инструмента, реализуемые на станках с ЧПУ в виде так называемых стандартных циклов.

При реализации метода автоматизированной подготовки ТП возникают сложные задачи выбора оптимального решения из допустимого множества решений. Поэтому в условиях автоматизированного производства решение технологических задач может быть и несколько иным [16]. Но все же в практике работ на станках с ЧПУ этот метод удобен, поскольку он позволяет упростить составление УП.

Определенное влияние на процесс технологического проектирования для станков с ЧПУ оказывает ограничение по номенклатуре используемого режущего инструмента. Поэтому при проектировании операционных процессов для конкретного станка с ЧПУ при определении переходов исходят прежде всего из возможного числа инструментов, налаживаемых на операцию. Эти инструменты выбирают из закрепленной за данным станком номенклатуры инструментов. Если число выбранных для выполнения операции инструментов превышает число позиций на станке, то чаще всего обработку разделяют на две операции, осуществляемые с определенной перенастройкой станка и по соответствующим программам.

Использование на станках с ЧПУ специального комбинированного инструмента экономически оправдано далеко не всегда и зависит от объема и повторяемости партий деталей, обрабатываемых на данном станке. От этого зависит также во многом и характер проработки и отработки технологических процессов и подготовленных УП.

В общем случае можно выделить четыре вида операционных технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ: А, Б, В, Г.

Вид А — для обработки малых неповторяющихся партий деталей. Малой считается партия, для которой суммарное время рабочего хода всех инструментов t_{pi}, умноженное на коэффициент времени резания λ (время резания), меньше суммы экономических стойкостей T_i всех инструментов наладки:

$$\sum t_{pi}\lambda q_н < \sum T_i q_н.$$

Иначе говоря, партия деталей обрабатывается за время, меньшее периода стойкости используемых в наладке инструментов в количестве $q_н$ (обязательно необходимых).

Вид Б — для обработки малых повторяющихся партий.

Вид В — для обработки средних и крупных неповторяющихся партий деталей. Средней считается партия, для которой время резания $\sum t_{pi}\lambda q_н$ примерно равно или немного больше периода стойкости используемых в наладке обязательно необходимых инструментов: $\sum t_{pi}\lambda q_н \geqslant \sum T_i q_н$. Крупная партия — такая, для которой время резания $\sum t_{pi}\lambda q_н$ больше суммарной стойкости всех инструментов наладки (как обязательно необходимых в количестве $q_н$, так и введенных дополнительно в количестве $q_д$), т. е. $\sum t_{pi}\lambda q_н > \sum T_i (q_н + q_д)$.

Вид Г — для обработки средних и крупных повторяющихся партий.

Изложенные данные позволяют в общем виде наметить последовательность и определить перечень работ по составлению и отработке операционного ТП и УП (табл. 6.1). Совершенно очевидно, что увеличение затрат времени на это экономически оправдывается с увеличением объема партий деталей, обрабатываемых по данному ТП и по подготовленной УП, и с увеличением повторяемости партий.

Установление последовательности переходов, используемого инструмента, режимов резания завершает первую часть работ по составлению операционного технологического процесса, который оформляется на стандартизованных бланках. Одновременно с разработкой операционной технологии готовят карты наладки станка и инструмента, оформление которых заканчивается после разработки УП.

В ряде случаев для удобства разрабатывают схемы (эскизы) закрепления заготовки с указанием нулевой точки станка, точки начала обработки, нулевой точки детали и т. д. Кроме того,

Таблица 6.1. Общая последовательность работ при проектировании операционных технологических процессов и отработке УП для станков с ЧПУ

Наименование работы	Вид операционного ТП			
	А	Б	В	Г
Составление операционного эскиза, схемы установки заготовки, общего плана операции	+	+	+	+
Выявление обрабатываемых элементов и зон обработки, расчет межпереходных размеров	+	+	+	+
Выбор типовых технологических переходов и соответствующих им режущих инструментов из номенклатуры инструментов, закрепленных за станком	+	+	+	+
Выбор для свободных позиций в револьверной головке или магазине дополнительных инструментов, если они позволяют:				
сократить время обработки	+	+	+	+
выровнять загрузку технологически необходимых инструментов	—	—	+	+
Анализ выбранного инструмента, выбор инструмента, технологически необходимого для выполнения операций с учетом снижения времени обработки, из числа инструментов за пределами номенклатуры, закрепленной за станком. Рассмотрение возможности применения специальных комбинированных инструментов	—	—	—	+
Определение последовательности обработки поверхностей в операции с установлением очередности работы инструментов по типовым схемам	+	+	+	+
Оптимизация последовательности обработки:				
в целях минимизации времени обработки	—	+	—	+
в целях минимизации количества используемого инструмента	—	—	+	+
Назначение режимов работы каждого инструмента в соответствии в рекомендациями	+	+	+	+
Уточнение режимов резания по ограничениям, связанным со средствами крепления заготовки, жесткостью детали, кинематическими особенностями станка	+	+	+	+

Продолжение табл. 6.1

Наименование работы	Вид операционного ТП			
	А	Б	В	Г
Уточнение режимов работы каждого инструмента с учетом предварительных экспериментов и имеющегося опыта использования, с учетом стойкости и надежности его работы	—	—	+	+
Уточнение режимов резания инструментов наладки (чтобы суммарное время обработки партии было минимальным) с учетом:				
смены инструмента	—	—	+	+
смены, подналадки и наладки инструмента	—	—	—	+
Определение целесообразности установки на станке нескольких одинаковых деталей по затратам времени на установку	+	+	+	+
Подготовка УП	+	+	+	+
Подготовка УП с оптимизацией траекторий движения инструментов:				
основных	—	—	+	+
всех	—	—	—	+
Отладка программы при обработке первой детали	+	+	+	+
Отладка программы в части корректировки последовательности работы инструмента, схем его перемещения, количества дополнительного инструмента по результатам обработки:				
первой или нескольких первых деталей	—	—	+	+
первой партии деталей	—	+	—	+
Отладка программы в части корректировки режимов резания, подходов и перебегов инструмента по результатам обработки:				
первой или нескольких первых деталей	—	—	+	+
первой партии деталей	—	+	—	+
Отладка программы в части корректировки режимов резания по результатам обработки первой партии деталей с учетом фактического расхода инструмента, его стоимости, затрат на смену, подналадку, восстановление и т. п.	—	—	—	+

Примечание. Знак «+» означает выполнение данной работы.

на операционном эскизе обрабатываемой детали могут быть указаны контуры заготовки, контуры первого и второго уровней обработки с геометрическими опорными точками, припуски. Дальнейшие работы связаны с составлением расчетно-технологической карты (РТК).

Поиск оптимального варианта технологической операции, представляющего собой компромиссное сочетание количественного и качественного критериев (машинного времени обработки детали и заданных параметров ее качества), наиболее успешно осуществляется при использовании ЭВМ. Один из путей проектирования ТП обработки деталей [16, 17] — использование ЭВМ в диалоговом режиме. В основу такого проектирования положено целесообразное распределение функций между технологом-проектировщиком и ЭВМ с учетом качеств, присущих человеку и ЭВМ.

6.2. ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ

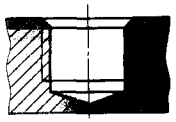
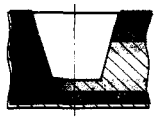
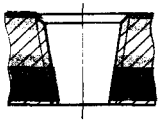
Трудоемкость обработки отверстий в ряде деталей достигает 40 % и более общей трудоемкости обработки детали, поэтому выбору рациональной схемы обработки отверстий следует уделять особое внимание. Практически все основные типы станков с ЧПУ годятся для обработки отверстий, последовательность операций устанавливают по общим правилам.

Технологическая классификация отверстий

Конфигурация любого отверстия — сквозного или глухого — может быть сформирована из основных и дополнительных элементов.

Основные элементы (табл. 6.2) могут быть сквозными или глухими, причем у последних форма дна может быть пло-

Таблица 6.2. Типовые основные элементы отверстий

Тип отверстия	Основной элемент	
	Сквозное отверстие	Глухое отверстие
Гладкое цилиндрическое		
Цилиндрическое с резьбой		
Гладкое коническое		
Коническое с резьбой		

ской или произвольной. Большинство основных элементов составляют гладкие цилиндрические отверстия различных квалитетов: от свободных размеров, которые при технологическом проектировании обычно приравнивают к 13-му квалитету, до отверстий 7-го квалитета. Отверстия, выполняемые по 6-му квалитету и выше, встречаются сравнительно редко.

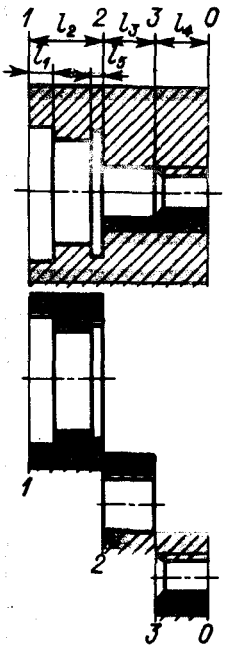


Рис. 6.1. Пример обрабатываемого отверстия

К числу *дополнительных элементов* относятся фаски и углубления прямоугольного профиля со свободными размерами, наружные и внутренние торцы, требующие обработки, канавки и разного рода препятствия.

Заготовка может быть трех типов: сплошная, с литым отверстием и с предварительно обработанным отверстием (табл. 6.2).

Отверстия сложной конфигурации могут быть представлены *ступенями*, которые располагаются вдоль оси отверстия и отделяются друг от друга торцовыми поверхностями, представляющими собой плоскости, перпендикулярные к этой оси (рис. 6.1). Таким образом, любое отверстие представляется как совокупность отдельных ступеней, расположенных вдоль одной оси.

Каждую ступень рассматривают вместе с торцом, от которого начнется ее обработка. Торцы можно пронумеровать.

В принципе каждая выделенная ступень может быть обработана за один или несколько типовых переходов.

Типовые переходы при обработке отверстий

Для одной ступени отверстия может быть установлена определенная последовательность технологических переходов [17].

1. Центрование. Выполняется специальным центровым инструментом, сверлом или конусной зенковкой (рис. 6.2, поз. *1*).

2. Черновая обработка отверстия. Может быть выполнена за один или несколько проходов сверлами, зенкерами, резцами и фрезами (рис. 6.2, поз. *2, 5, 7, 8*).

3. Обработка торца отверстия. Выполняется прямой зенковкой с направляющей цапфой, торцовой пластиной (рис. 6.2, поз. *3*) или фрезой, а также резцами, установленными в плансуппорте.

4. Коническое зенкерование. Выполняется специальным коническим зенкером.

5. Прямое зенкование. Этот переход может осуществляться прямой зенковкой с направляющей цапфой, зенкером для глухих отверстий или резцом для глухих отверстий на борштанге и в плансуппорте (рис. 6.2, поз. *3, 7*).

6. Коническое зенкование — переход для обработки фасок, выполняемый конусной зенковкой, сверлом или резцом (рис. 6.2, поз. *4*).

7. Резьбонарезание. Выполняется метчиками для сквозных и глухих отверстий (рис. 6.2, поз. *6*).

8. Получистовая обработка отверстия. Производится зенкерами или резцами для глухих и сквозных отверстий, включая плансуппортную обработку (рис. 6.2, поз. *2, 5, 7*).

9. Обработка канавки. Этот переход

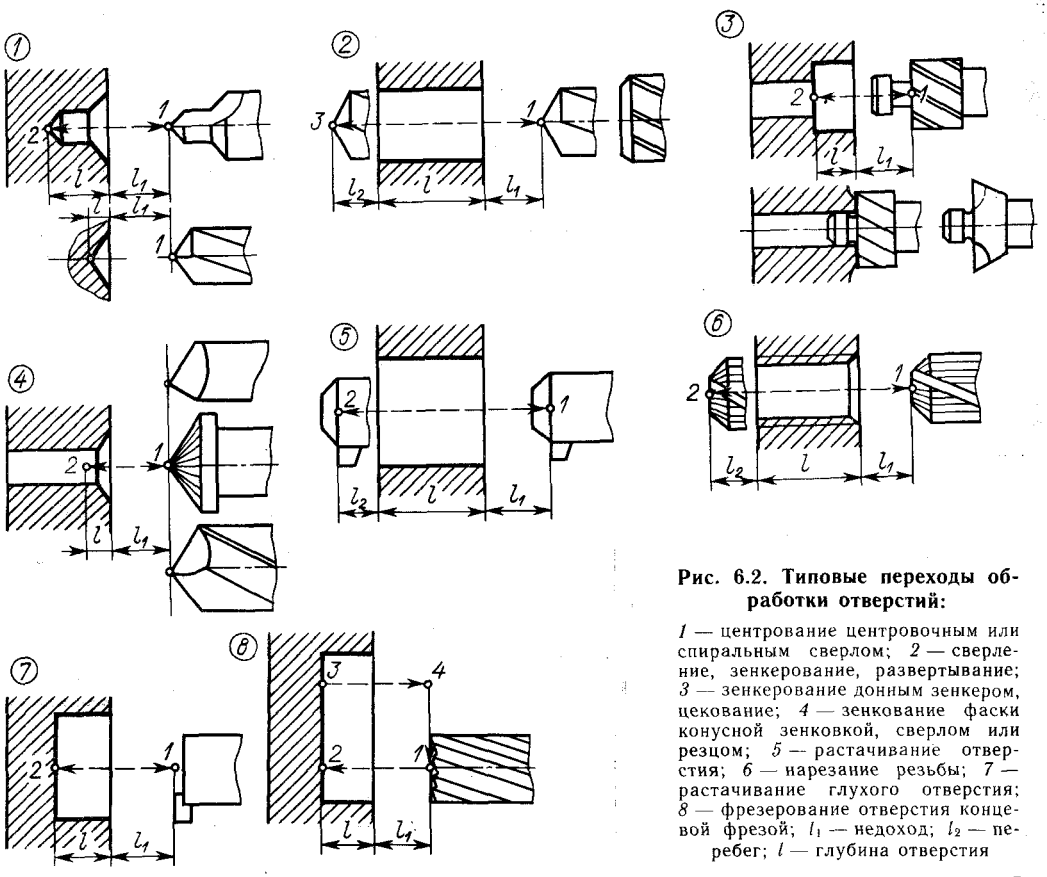


Рис. 6.2. Типовые переходы обработки отверстий:

1 — центрование центровочным или спиральным сверлом; *2* — сверление, зенкерование, развертывание; *3* — зенкерование донным зенкером, цекование; *4* — зенкование фаски конусной зенковкой, сверлом или резцом; *5* — растачивание отверстия; *6* — нарезание резьбы; *7* — растачивание глухого отверстия; *8* — фрезерование отверстия концевой фрезой; l_1 — недоход; l_2 — перебег; l — глубина отверстия

выполняют или плансуппортом, или вручную.

10. Чистовая обработка. Выполняют развертками или резцами для сквозных или глухих отверстий, включая плансуппортную обработку.

Этапы проектирования операций обработки отверстий

При проектировании ТП обработки сложных отверстий (многоступенчатых, разностенных) чистовые переходы, в результате которых достигается качество готовой ступени, назначают в основном независимо от обработки других ступеней. Черновые переходы для разных ступеней, как правило, взаимосвязаны, что требует их объединения с уточнением размеров инструмента, а также плана рабочих и вспомогательных ходов.

Прежде чем приступить к назначению технологических переходов, необходимо установить, будет ли применен стержневой инструмент (сверла, зенкеры, развертки), расточный (резцы) или тот и другой. При решении этого вопроса необходимо учитывать как размеры отверстия и назначение станка (сверлильный, расточный, многоцелевой), так и общие технологические указания, в которых могут содержаться требования к черновой обработке (фрезерование или растачивание) и к виду заготовки.

Использование фрезерования для черновой обработки позволяет сократить номенклатуру инструмента, необходимого для выполнения операции.

В технологических указаниях может содержаться требование выполнить обработку детали в несколько операций на специализированных станках. В таком случае назначение технологии на первом этапе ведется применительно к станку с максимальными возможностями, а разделение на отдельные операции с учетом возможностей станков производится на других этапах.

Технологические переходы, выполняемые расточным инструментом, назначают при допустимом отклонении расположения оси отверстия менее 0,1 мм и при таких диаметрах отверстия, которые допускают применение расточного инструмента.

Проектирование операций с использованием стержневого инструмента. В этом случае схема переходов при обработке отверстия может быть следующей. Переход центрования назначают во всех случаях, когда надо выполнить отверстие в сплошном материале (т. е. исходная заготовка отверстия не имеет). Исключение составляют короткие отверстия 13-го квалитета с диаметром менее 25 мм. Отверстия 13-го квалитета и ниже с параметром шероховатости поверхности по диаметру $R_z > 20$ мкм могут быть получены сверлением, кроме отверстий, имеющих плоское дно и поэтому требующих зенкерования.

Для получения отверстия 11-го квалитета необходим чистовой проход зенкером, диаметр которого равен окончательному размеру отверстия.

Если требуется получить отверстия 7—10-го квалитетов, чистовой переход выполняют разверткой соответствующего квалитета, диаметр и поле допуска которой равны соответствующим параметрам отверстия. Перед развертыванием отверстия зенкуют.

Припуски на обработку отверстий, а также рекомендуемый характер переходов и типы используемого инструмента приведены в справочной литературе [57, 62].

Обработка дополнительных элементов отверстий стержневым инструментом, как правило, не вызывает затруднений. Рекомендации по назначению переходов обработки этих элементов достаточно известны [17, 62, 69].

Проектирование операций с использованием расточного инструмента. Расточный инструмент позволяет получить отверстия высокой точности с достаточной прямолинейностью и небольшими уводами. При использовании расточного инструмента число переходов для отверстия заданных диаметра, длины, точности и шероховатости зависит от разных факторов и во многом от паспортной точности настроенного инструмента, которую может в автоматическом цикле обеспечить данный станок.

Припуски на обработку отверстий, рекомендуемый характер переходов, типы инструмента и другие данные приведены в литературе [57, 62].

Следует отметить, что особенно сложны для обработки так называемые глубокие отверстия, отношение длины которых к диаметру больше пяти. Их обработка требует не только специальных инструмента и технологии, но и оборудования [62].

Проектирование с использованием ЭВМ. Решение задачи построения переходов при обработке отверстий достаточно просто формализуется с помощью ЭВМ (рис. 6.3). Естественно, что в развернутых автоматизированных системах подготовки ТП эта задача решается с учетом значительно большего числа факторов, в том числе и технических данных оборудования.

При оперативном программировании с использованием микроЭВМ данного УЧПУ станка в ряде случаев операции по обработке отверстий разрабатывают в режиме диалога. Технолог-программист последовательно отвечает на вопросы ЭВМ, формируя на первом этапе работ исходные данные, а на втором — схемы обработки отверстий. В процессе работы ЭВМ предлагает меню типовых переходов, при отклонении условий обработки от типовых требует дополнительных данных и т. д.

Выбор режимов обработки отверстий

Входными данными для определения режимов обработки при *сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании отверстий* являются:

R_{ms} — род обрабатываемого материала (сталь, чугун, цветные металлы);
R_m — прочность стали, МПа;
НВ — твердость материала, МПа;
R_{m0} — род материала инструмента (твердый сплав, быстрорежущая сталь);
T — стойкость инструмента, мин;
s — марка (сорт) материала;
d — диаметр обрабатываемого отверстия, мм;
d_1 — диаметр инструмента, мм;
t_{IT} — квалитет точности IT;
h — параметр шероховатости R_a, мкм;
l — длина (глубина) обрабатываемого отверстия, мм;
R — вид обработки; R_{0z} — черновая; R_{0d} — чистовая;
l_2 — перебег инструмента, мм;
l_1 — недоход инструмента, мм;
r — схема обработки;
Ω — множество частот вращения шпинделя станка;
π — множество подач станка.

Входные данные позволяют определить следующие параметры (выходные данные):

S — подача, мм/об;
n — частота вращения, об/мин;
t_m — машинное время, мин;
t_{m100} — табличное машинное время, мин;
СН — информация об охлаждении.

Выходные данные достаточно просто найти или по таблицам, или расчетом по соответствующим зависимостям [58], или выбором (расчетом) на ЭВМ в соответствии с определенным алгоритмом. В работе [58] приведен достаточно простой вариант алгоритма для выбора параметров резания при сверлении, рассверливании, зенкеровании и развертывании стальных и чугунных деталей.

Для выбора параметров резания при *растачивании отверстия* дополнительными входными данными являются следующие:

R_p — вид обработки резцом;
L — длина точения, мм;
t — глубина резания, мм;
φ — угол резания в плане, ° (рад);
r_p — тип крепления инструмента (крепление в шпинделе, крепление с опорой, крепление без опоры, крепление с опорой с люнете);
L_1 — длина инструмента, мм.
r_1 — радиус загругления режущей кромки, мм;
γ — передний угол резца, ° (рад);
F — площадь сечения тела инструмента, мм^2.

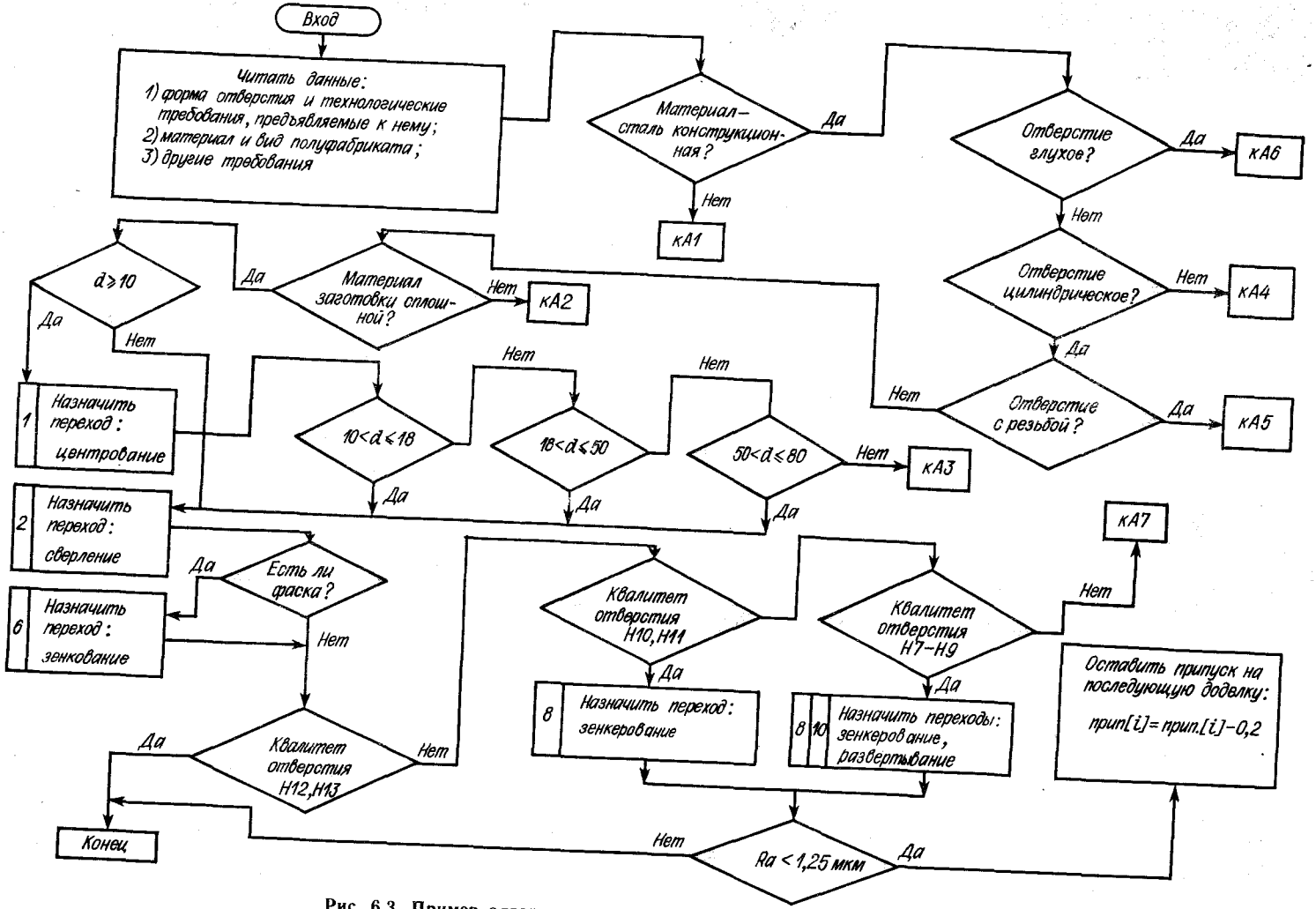


Рис. 6.3. Пример алгоритма назначения переходов обработки отверстий

Последовательность обхода отверстий инструментами

Методы обхода отверстий. Проектирование операций обработки отверстий на станках с ЧПУ сверлильно-расточной группы завершается назначением последовательности обхода отверстий инструментами. Последовательность обхода зависит от того, как строятся операции (переходы) — последовательно или параллельно.

При *параллельном методе* каждый инструмент обходит все отверстия, подлежащие обработке этим инструментом, а затем его меняют, и цикл повторяется. *Последовательный метод* отличается тем, что каждое отверстие обрабатывают всеми необходимыми инструментами, а затем после изменения позиции обрабатывают следующее отверстие.

В большинстве случаев выбор метода обработки связан с выполнением условия минимизации времени холостых перемещений. Исключение составляют те случаи, когда метод определяется технологическими условиями обработки. Например, при обработке отверстий 7—9-го квалитетов или отверстий с жесткими допусками на межцентровое расстояние (менее 0,2 мм) целесообразно первые переходы (центрование, сверление, зенкование, зенкерование) выполнять параллельно, а заключительные переходы — последовательно, без перемещений детали.

Время холостых перемещений при обработке группы одинаковых отверстий одним комплектом инструментов складывается из времени на смену инструментов τ_Σ и времени на перемещения при позиционировании θ_Σ:

$$T_x = \tau_\Sigma + \theta_\Sigma. \qquad (6.1)$$

При параллельном методе каждый инструмент меняют один раз, поэтому время, затраченное на смену инструментов, составляет $t_\Sigma = m\tau$, а время обхода отверстий одним набором инструментов $\theta_\Sigma = m\theta$, где τ — среднее время смены одного инструмента; θ — время обхода всех отверстий одним инструментом; m — число инструментов.

Общее время на холостые перемещения при параллельном методе.

$$T_{пар} = m(\tau + \theta). \qquad (6.2)$$

При последовательном методе каждый инструмент меняют столько раз, сколько отверстий (n) в группе, т. е. $t_\Sigma = nm\tau$, а время обхода комплектом инструментов всех отверстий будет $\theta_\Sigma = \theta$, поскольку обход осуществляется один раз.

Общее время на холостые перемещения при последовательном методе

$$T_{пос} = nm\tau + \theta. \qquad (6.3)$$

Для выбора метода обработки можно воспользоваться коэффициентом

$$K = T_{пар}/T_{пос} = (1 + k)/(n + k/m), \qquad (6.4)$$

где $k = \theta/\tau$.

Если $K > 1$, то более предпочтительным является последовательный метод обработки; при $K < 1$ бóльшую производительность обеспечивает параллельный метод.

Общее время обхода группы отверстий

$$\theta = nt_{р.т} + (\sum - \varepsilon_{р.т} n)/v_y, \qquad (6.5)$$

где n — число отверстий в группе; $t_{р.т}$ — суммарное время на разгон и торможение; $\varepsilon_{р.т}$ — суммарный путь разгона и торможение; $\sum$ — длина пути обхода отверстий группы; v_y — средняя скорость ускоренного перемещения.

Методы выбора маршрута инструмента при обходе отверстий в процессе обработки. Задача заключается в выборе маршрута обхода n точек, проходящего через каждую точку только один раз. Поскольку этот маршрут определяет время вспомогательных перемещений, он должен иметь минимальную длину.

Задача в такой постановке идентична известной в математике задаче о коммивояжере. При всей простоте постановки этой задачи (перебрать все маршруты и взять из них наименьший) ее решение отличается трудностью вычислительного характера. Поэтому в математике разработан ряд точных методов, позволяющих найти оптимальный маршрут, не прибегая к перебору всех

возможных вариантов. Наиболее известны из них методы *целочисленного линейного и динамического программирования*, метод *ветвей и границ* [17].

Методы оптимизации маршрута инструмента. При выборе метода оптимизации маршрута инструмента необходимо руководствоваться соображениями экономики. Если оптимизация маршрута позволяет сократить время обработки на величину T (мин), то выигрыш в стоимости за счет оптимизации составляет $TNC_{ст}$, где $C_{ст}$ — стоимость станко-минуты; N — размер партии деталей, обрабатываемых по данной управляющей программе. Расходы на расчет $C_{ЭВМ}t_0$, где $C_{ЭВМ}$ — стоимость минуты времени работы ЭВМ; t_0 — время, необходимое для расчета оптимизированного маршрута, мин. Для оценки экономичности можно ввести коэффициент

$$Э = TNC_{ст}/(C_{ЭВМ}t_0). \qquad (6.6)$$

Если $Э > 1$, то оптимизация целесообразна.

Помимо точных математических методов оптимизации маршрутов широко используют эвристические методы, основанные на догадках и не претендующие на точность решения. Применение эвристических методов приводит к результатам, которые намного лучше произвольного, взятого наугад решения и которые обычно близки к наилучшему варианту, хотя никогда не дают полной уверенности в том, что наилучшее решение достигнуто.

Простейший эвристический алгоритм формулируется так: «идти в ближайшую еще не пройденную точку». Для n точек этот алгоритм требует порядка n^2 арифметических операций. Усовершенствованием его является эвристический алгоритм, состоящий в n-кратном его повторении с выбором каждый раз другой начальной точки. В качестве оптимального принимается лучший из n вариантов. Число арифметических операций, требуемое для выполнения этого усовершенствованного алгоритма, имеет порядок n^3. Эти два эвристических алгоритма называются локально-оптимальными и дают удовлетворительные результаты для малого числа точек ($n \leqslant 20$).

Имеются рандомизированные варианты этих алгоритмов, в которых переход из i-й точки производится не в ближайшую непройденную, а случайно — в любую непройденную. При этом вероятность перехода взвешена в соответствии с расстоянием: чем ближе точка, тем вероятнее переход в нее.

Второй рандомизированный алгоритм отличается от первого рандомизированного тем, что каждый раз за начало случайным образом выбирается другая точка. Этот алгоритм по сравнению с маршрутом, назначенным человеком, повышает производительность станка на 14—17 % [17].

6.3. ТОКАРНЫЕ ОПЕРАЦИИ

В связи со спецификой конфигурации обрабатываемых объектов, представляющих собой тела вращения, геометрические расчеты при программировании токарной обработки сводятся к решению задач на плоскости, в осевом сечении. В системе координат детали, в которой выполняются расчеты, осью Z служит ось вращения детали, а ось X лежит, как правило, в одной из торцовых плоскостей.

Элементы контура детали и заготовки

Контур детали. Поверхности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ, подразделяются на плоскости, перпендикулярные к оси вращения, соосные цилиндры, конусы, сферы, торы и поверхности вращения с произвольной криволинейной образующей, а также винтовые поверхности, формирующие резьбы. Образующими этих поверхностей

являются прямые, окружности и линии, заданные последовательностью точек. Контур образующей детали поэтому представляет собой последовательность геометрических элементов: отрезков прямых, дуг окружностей и кривых, заданных в табличной форме. С технологической точки зрения эти геометрические элементы и соответствующие им поверхности принято делить на основные и дополнительные (рис. 6.4).

К *основным* элементам контура детали относят образующие поверхностей, которые могут быть обработаны резцом для контурной обработки с главным углом в плане $\varphi = 95°$ и вспомогательным углом в плане $\varphi_1 = 30°$. Для наружных и торцовых поверхностей такой резец принадлежит к числу проходных, а для внутренних — к числу расточных.

Элементы образующих поверхностей, формообразование которых не может быть выполнено указанным резцом, принадлежит к числу *дополнительных*. К ним относят торцовые и угловые канавки для выхода шлифовального круга, канавки на наружной, внутренней и торцовой поверхностях, резьбовые поверхности, желоба под ремни и т. п.

Контур заготовки. В качестве заготовок для деталей, обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ средних размеров, в условиях производства малой

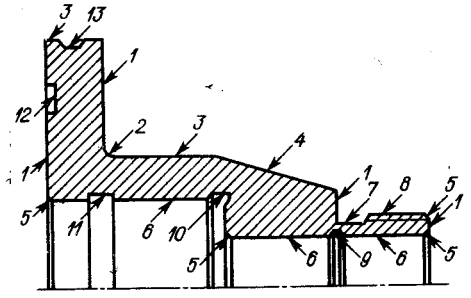


Рис. 6.4. Поверхности, образующие контур детали:

1—6 — основные поверхности (*1* — торцовая; *2* — радиусная торцовая; *3* — цилиндрическая наружная; *4* — конусная; *5* — конусная — фаска; *6* — цилиндрическое отверстие); *7—13* — дополнительные поверхности (*7* — зарезьбовая канавка; *8* — резьбовая поверхность; *9* — внутренняя трапецеидальная канавка; *10* — угловая канавка; *11* — внутренняя прямоугольная канавка; *12* — торцовая канавка; *13* — желоб)

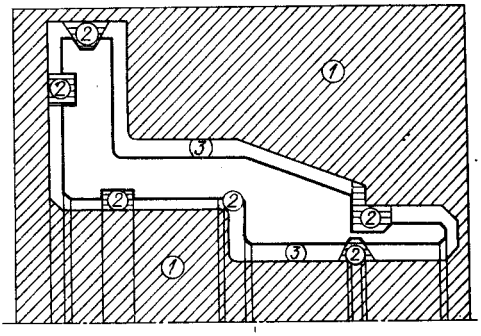


Рис. 6.5. Распределение припуска на токарную обработку в контуре заготовки

и средней серийности используют разрезанный прокат. При диаметрах заготовок 50 мм и выше применяют штучные заготовки на одну деталь. Для деталей, максимальный диаметр которых меньше 50 мм, можно использовать одну заготовку на несколько деталей.

Заготовки для деталей, обрабатываемых в центрах, должны быть зацентрованы с двух сторон, а один из торцов подрезан. Допустимые отклонения по длине не должны превышать 0,6 мм [17].

При использовании в качестве заготовок поковок необходимо предварительно обтачивать поверхности, используемые для закрепления. Термообработке, если она требуется, заготовки должны подвергаться перед обработкой на токарном станке с ЧПУ.

Контур заготовки чаще всего представляет собой прямоугольник (рис. 6.5). При использовании литья или штамповки контур заготовки может быть фасонным и состоять, как и контур детали, из отрезков прямых и дуг окружностей.

Припуски на обработку деталей

В начале технологического проектирования токарной операции необходимо сравнить требуемые точность обработки отдельных элементов контура детали и шероховатость поверхностей с паспортными данными станка и определить те участки поверхностей детали, которые не могут быть окончательно обработа-

ны на данном станке. Для соответствующих элементов контура назначают промежуточные припуски на последующую обработку и в соответствии с ними строят новые элементы контура детали, заменяющие первоначальные.

Существуют два метода определения припусков на обработку: опытно-статистический и расчетно-аналитический. *Опытно-статистический метод* дает обобщенные рекомендации в виде таблиц [57]. *Расчетно-аналитический* метод [17, 66] позволяет дифференцированно определить припуски на обработку — путем анализа производственных погрешностей в конкретных условиях обработки.

После назначения припусков на чистовую обработку основных поверхностей детали общий припуск на обработку, выполняемую на токарном станке с ЧПУ, разбивают на несколько промежуточных. С помощью линий, эквидистантных основным элементам контура детали и отстоящих от каждого из них на расстояние, равное чистовому припуску на соответствующий элемент, строят черновой контур детали (см. рис. 6.5). Припуск (*1*), расположенный между контуром заготовки и черновым контуром детали, представляет собой область черновой обработки основных поверхностей. Припуск (*2*), расположенный между черновым контуром детали и контурами дополнительных поверхностей (канавок, резьбовых поверхностей и т. д.), составляет области обработки этих поверхностей. Наконец, припуск (*3*), расположенный между черновым контуром детали и ее чистовым контуром, с учетом припусков под последующую обработку образует область чистовой обработки основных поверхностей. Черновая обработка детали, как правило, не ход. Более того, в большинстве случаев деталь обрабатывают за два установа. Поэтому припуск на черновую и чистовую обработку основных поверхностей детали разбивают на зоны в соответствии с отдельными переходами.

Зоны обработки

Каждая зона токарной обработки на станках с ЧПУ, как правило, соответствует одному технологическому переходу и формируется в зависимости от конфигурации чернового или чистового контура детали и технологических возможностей режущего инструмента, выполняющего данный переход. Для резцов эти технологические возможности определяются основным и вспомогательным углами в плане.

В зависимости от конфигурации участка чернового или чистового контура детали, формируемого за технологический переход, зоны обработки делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 6.6).

Открытая зона (рис. 6.6, *а*) формируется при снятии припуска с цилиндрической, а в некоторых случаях конической поверхности. При выборе резца для этой зоны не накладывают ограничений на главный и вспомогательный углы в плане.

Наиболее типичной является *полуоткрытая* зона (рис. 6.6, *б*), конфигурация которой регламентирует главный угол резца в плане.

Закрытые зоны (рис. 6.6, *в*), встречающиеся преимущественно при обработке дополнительных поверхностей, накладывают ограничения как на главный, так и на вспомогательный углы резца в плане.

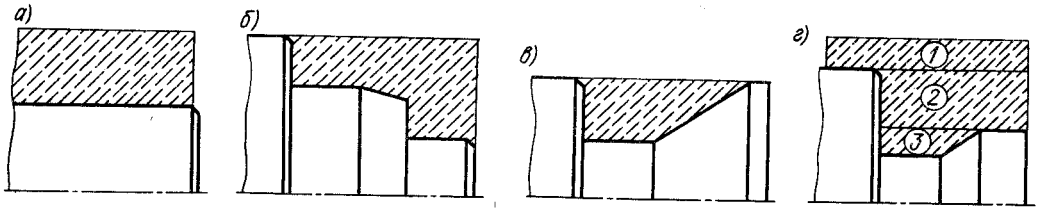
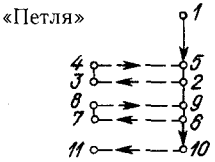
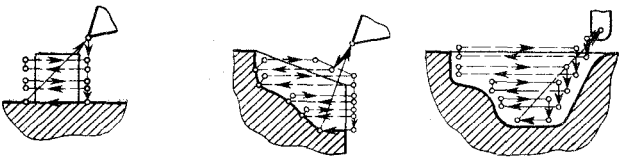
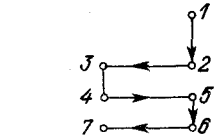
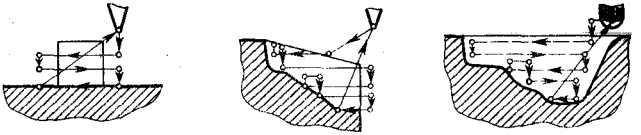
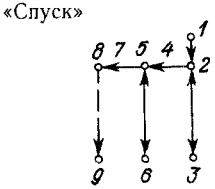
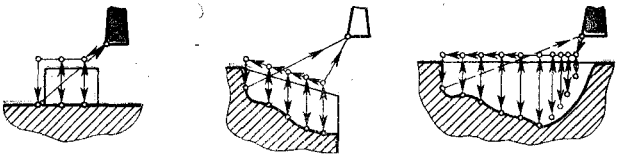


Рис. 6.6. Зоны токарной обработки

Таблица 6.3. Типовые схемы переходов при черновой токарной обработке основных поверхностей деталей

Схема перехода	Типовой переход в разных зонах обработки		
	Открытая зона	Полуоткрытая зона	Закрытая зона
«Петля»			
«Виток» («зигзаг»)			
«Спуск»			

Комбинированная зона (рис. 6.6, *г*) представляет собой объединение двух или трех зон, описанных выше.

Разработка черновых переходов при токарной обработке основных поверхностей

Типовые схемы переходов. В табл. 6.3 показаны типовые схемы переходов токарной обработки основных поверхностей.

Схема *«петля»* характеризуется тем, что по окончании рабочего хода инструмент отводится на небольшое расстояние (около 0,5 мм) от обработанной поверхности и возвращается во время вспомогательного хода назад. Эту схему наиболее часто применяют при обработке открытых и полуоткрытых зон. Разновидность ее может быть использована также при обработке деталей типа ступенчатых валиков методом «от упора».

Схема *«виток»* (*«зигзаг«*) предусматривает работу инструмента на прямой и обратной подаче и может быть реализована в зонах обработки всех видов.

Схема *«спуск»* характерна тем, что припуск снимается при радиальном перемещении резца. Наиболее часто эту схему используют при черновых переходах для закрытых зон.

Особое внимание следует уделять выбору схем для полуоткрытых зон, так как они наиболее часто встречаются при токарной обработке. Помимо простейших схем, приведенных в табл. 6.3, для них находят применение и более сложные.

Черновая схема *с подборкой* (рис. 6.7, *а*) отличается тем, что после прямолинейного рабочего хода инструмент, согласно УП, движется вдоль чернового контура детали (вплоть до уровня предыдущего прохода), срезая при этом оставшийся материал. В результате для последующей обработки остается равномерный припуск по всему контуру. Для увеличения стойкости инструмента при использовании этой схемы назначают две рабочие подачи: 1) основную, действующую в течение прямолинейного прохода; 2) подачу подборки, действующую при движении вдоль контура детали, когда срезаются гребешки.

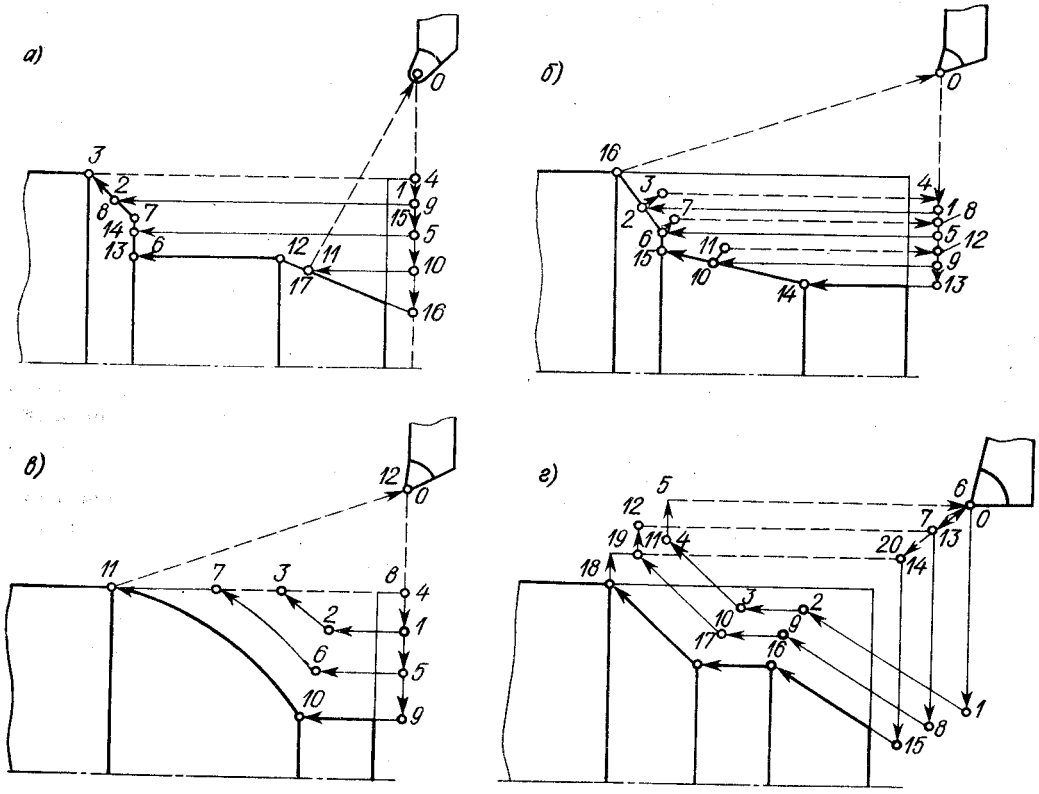


Рис. 6.7. Типовые схемы переходов при черновой токарной обработке для удаления припуска из полуоткрытых зон

Черновую схему с подборкой можно применять и в качестве окончательной, и в сочетании с последующей чистовой обработкой. Она позволяет получить поверхности с параметром шероховатости вплоть до $R_z = 40$. В данной схеме в точках конца хода инструмента на контуре детали могут оставаться риски. Их можно уменьшить, если вводить в конце каждого хода перебег инструмента вдоль контура детали, равный половине радиуса инструмента при вершине.

Другой схемой выполнения черновых переходов для полуоткрытых зон является *черновая с получистовым* (*зачистным*) *проходом* (рис. 6.7, *б*). В отличие от предыдущей схемы здесь после каждого хода инструмента не производится подборки материала, остающегося на контуре. Однако после выполнения последнего (или предпоследнего) чернового хода инструменту задают движение вдоль контура детали, осуществляя получистовой ход, при котором на контуре срезаются все гребешки и остатки металла. Получистовой ход дает переменную глубину резания, в связи с чем его целесообразно выполнять на подаче, отличной от той, которая использовалась при черновых ходах. Преимущество этой схемы перед предыдущей в том, что она позволяет в ряде случаев обойтись без дальнейших чистовых переходов при обработке детали, так как на поверхностях не остается рисок.

При обработке фасонных деталей можно использовать схему, которую назовем *эквидистантной* (рис. 6.7, *в*). Название ее определяется тем, что рабочие ходы инструмента эквидистантны контуру детали.

Последняя схема черновой обработки основных поверхностей детали — *контурная* (рис. 6.7, *г*) формируется путем

повторения рабочих ходов инструмента вдоль контура обрабатываемой детали. Каждый такой ход совместно с вспомогательным образует траекторию в виде замкнутого цикла, начальная точка которого смещается вдоль некоторой прямой, приближаясь к контуру заготовки. Контурная схема соответствует стандартному циклу и достаточно просто программируется.

При выполнении черновых переходов для открытых и полуоткрытых зон (см. рис. 6.7 и табл. 6.3) инструмент после завершения каждого рабочего прохода выводится из зоны и подается на глубину следующего хода (вспомогательный ход).

В случае закрытой зоны инструмент не может быть выведен из нее в процессе обработки, поэтому при использовании для таких зон схем черновой обработки с подборкой и с получистовым проходом их надо несколько видоизменить: после завершения каждого рабочего хода инструмент возвращается (вспомогательный ход) к начальной точке этого хода и врезается на глубину следующего хода, двигаясь на подаче врезания вдоль контура обрабатываемой зоны.

Оценка основных схем черновых переходов по производительности позволяет сделать следующие выводы [17].

1. Наибольшую производительность обеспечивает схема «петля» в связи с отсутствием зачистных рабочих ходов. Однако в подавляющем большинстве случаев она может обеспечить равномерный припуск на чистовую обработку только для открытых зон.

2. Черновая схема с подборкой проигрывает по производительности черновой схеме с получистовым (зачистным) ходом из-за большей длины вспомогательных ходов.

3. Для открытых зон наибольшую производительность обеспечивает схема «петля», а для полуоткрытых и закрытых зон — черновая схема с зачистным ходом.

Комбинированные зоны целесообразно разбивать на несколько участков (см. рис. 6.6, *г*, участки *1—3*). Если комбинированная зона состоит из открытого и полуоткрытого участков (зон), то первый следует обрабатывать по схеме «петля», а второй — по черновой схеме с зачистным ходом. При наличии в составе комбинированной зоны всех трех участков (см. рис. 6.6, *г*), первые два целесообразно объединять и обрабатывать по схеме «петля», а участок закрытого типа обрабатывать по схеме с зачистным ходом, продлив этот ход для зачистки чернового контура, входящего в первые два участка.

Определение зон при разработке токарных переходов. Область черновой обработки основных поверхностей разбивают на зоны. Существует несколько схем разделения припуска на зоны. На рис. 6.8, *а* показана схема, где зоны расположены между базовыми торцовыми сечениями *1—5*. Припуск снимают последовательно по основным обрабатываемым поверхностям. Очевидно, такая схема разделения на зоны не является рациональной, так как проигрывает по производительности схемам, приведенным на рис. 6.8, *б*, *в*. Это происходит из-за увеличения длины вспомогательных ходов, которые должны выполняться на всех торцах, кроме последнего.

Отсюда следует, что при работе на токарных станках при построении зон черновой обработки основных поверхностей надо стремиться включать в зону максимальное число таких поверхностей, обработка которых на данном установе возможна с применением выбранного инструмента.

Схемы удаления припуска при чер-

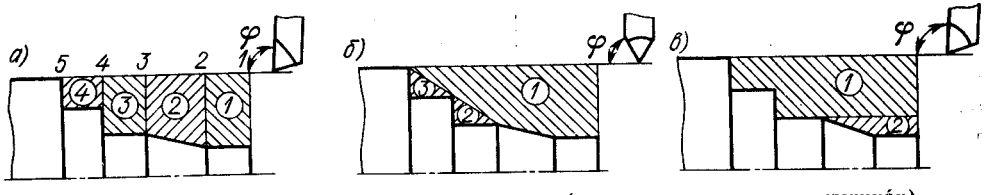


Рис. 6.8. Схема разделения припуска на зоны (номера зон указаны в кружкáх)

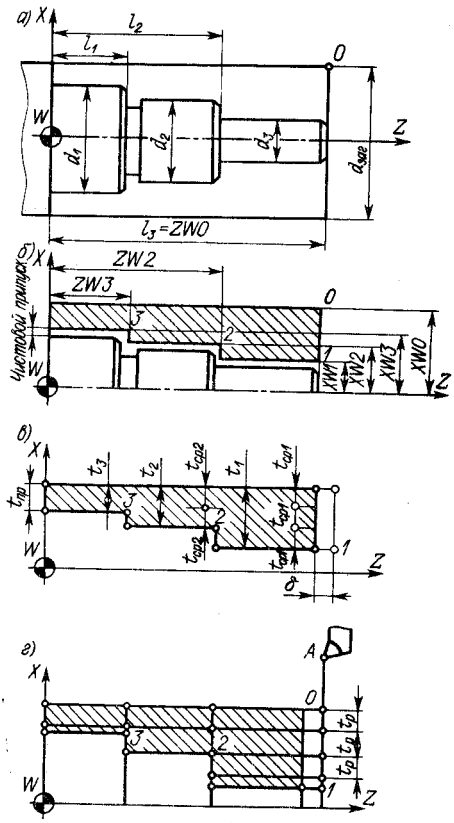


Рис. 6.9. Формирование черновой зоны обработки и разделение припуска на уровни для ступенчатых валов

новой обработке. Разделение обрабатываемого участка на переходы и выбор траектории инструмента в автоматизированных системах проектирования ТП осуществляется с помощью ЭВМ. Анализ реализованных в системах алгоритмов решения геометрических задач позволяет установить определенные формализованные правила построения траекторий инструмента при токарной обработке. Рассмотрим это на примере.

При обработке ступенчатого вала (рис. 6.9, *а*), определенного размерами в системе координат детали *ZWX*, можно выделить границу черновой зоны обработки. Эта граница определяется черновым контуром детали (рис. 6.9, *б*), образованным с учетом припусков на цилиндрические и торцовые поверхности, и контуром заготовки. Поэтому можно выделить опорные точки чернового контура детали, определив их соответствующими координатами X и Z, а также крайнюю точку заготовки, определенную размером $l_з = ZWO$ и диаметром $d_{заг}$. Полагаем, что в рассматриваемом случае вал изготавливается из предварительно заторцованной цилиндрической заготовки. Таким образом, припуск черновой зоны может быть четко определен схемой на рис. 6.9, *б* и разделен на области (с размерами *ZW3*, *ZW2* и *XW1*, *XW2*, *XW3*) над каждой цилиндрической поверхностью в соответствии с вертикалями, проходящими через опорные точки *1—3* (рис. 6.9, *в*). При этом относительно наружной поверхности заготовки можно определить припуски t_1, t_2, t_3 в каждой области.

Для определения числа проходов черновую зону разбивают горизонтальными прямыми-уровнями. Последовательность разбивки:

а) вычисляют припуски на черновую обработку для каждой цилиндрической поверхности (t_1, t_2, t_3 на рис. 6.9, *в*); $t_1 = XWO - XW1$; $t_2 = XWO - XW2$; $t_3 = XWO - XW3$;

б) определяют наименьшее число черновых проходов по каждой цилиндрической поверхности. Для этого делят вычисленные припуски t_1, t_2, t_3 на предельную глубину резания $t_{пр}$ и округляют полученное число до большего целого. Величина $t_{пр}$ зависит от прочности инструмента, мощности привода подач станка, максимального крутящего момента, задаваемой стойкости и других факторов при назначении режимов обработки. Для рассматриваемого примера примем, что величина $t_{пр}$ больше t_3, но меньше t_2 и t_1;

в) вычисляют глубину резания при черновых проходах в предположении, что припуск над каждой цилиндрической поверхностью разбит равномерно на определенное в предыдущем пункте число проходов. Для рассматриваемого примера в области первого цилиндра такой глубиной будет величина $t_{ср1}$, в области второго цилиндра — $t_{ср2}$, третьего цилиндра — $t_{ср3}$;

г) наибольшая среди определенных в предыдущем пункте глубин резания принимается единой ($t_р$) для всей чер-

новой зоны. Примем, что для рассматриваемого примера такой глубиной будет $t_{ср\,2}$, т. е. $t_р = t_{ср\,2}$;

д) по принятой величине $t_р$ последовательным вычитанием из размера заготовки *XWO* определяют горизонтали сверху вниз по всему припуску черновой зоны (рис. 6.9, *г*).

Величина $t_р$ делит черновой припуск на проходы более равномерно, чем $t_{пр}$.

Полученные горизонтали и вертикали определяют элементарные участки обрабатываемой заготовки (рис. 6.10, *а*), удалять которые при точении можно разными способами. Естественно, что при составлении траектории должна быть задана величина δ — недоход инструмента до заготовки (см. рис. 6.9, *в*).

Принимая во внимание рассмотренные выше схемы распределения припуска, можно выделить три основные схемы его удаления.

В схеме *по циклам вертикалей* припуск удаляют последовательно в каждой области. При такой схеме сначала удаляют припуск t_1 (рис. 6.10, *а*), потом t_2, потом t_3, и траектория резца проходит по следующим точкам: *A*, *4*, *5*, отход по 0,5 мм в точку *6* и на ускоренном ходу в точки *7*, *8*, *2*, *9—16*, *5*. Далее резец движется по точкам: *5*, *18*, *19*, *23(2)*, *20*, *21*, *22*, *17*, *3*, *24*, *25* и *A* (рис. 6.10, *б*).

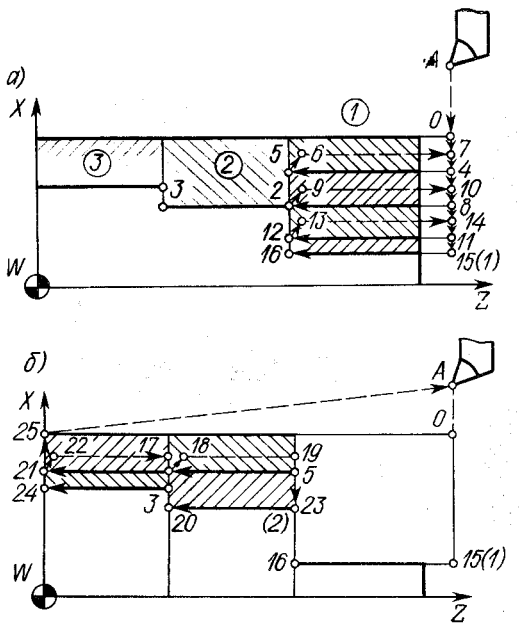


Рис. 6.10. Схема удаления припуска черновой зоны при обработке ступенчатых валов по циклам вертикалей

В схеме *по циклам уровней* припуск снимают последовательно вниз при продольных перемещениях резца в пределах уровня во всех областях (рис. 6.11). Там верхний слой будет удаляться при движениях резца через точку *A*, *4*, *5*, отход на 0,5 мм в точку *6*, ускоренный возврат в точку *7*, радиальное смещение (на $t_р + 0{,}5$ мм) в точку *8*. Далее на рабочей подаче происходит удаление следующего слоя припуска при траектории движения резца через точки *9*, *3*, *10*. Потом (после возврата резца на исходную вертикаль) срезают припуск при рабочих ходах резца из точки *11* в точку *12* и из точки *1* в точку *13*. Ходом *13—2* подчищают торец и резец возвращается в точку *A*.

Схема *по циклам горизонталей чернового контура* (рис. 6.12, *а*) отличается от предыдущего варианта тем, что сначала инструмент удаляет припуск $t_р$ продольным ходом по всем зонам (траектория *A—4—5*). Далее такой же припуск удаляется в первой зоне за два хода (траектории *4—6—2* и *6—7—8*), а затем следует окончательный проход, формирующий черновой контур заготовки,— движение резца от точки *1* через точки *9*, *2*, *10*, *3*, *11*.

Сравнивая данную схему и типовую — черновую с получистовым (зачистным) ходом (см. рис. 6.7, *б*), можно установить их определенное сходство, поскольку идея в них сводится к следующему: удалить слои припуска за несколько ходов инструмента по всем об-

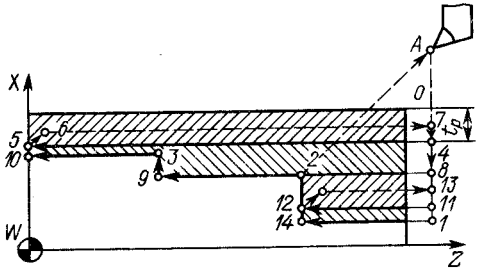


Рис. 6.11. Схема удаления припуска по циклам уровней

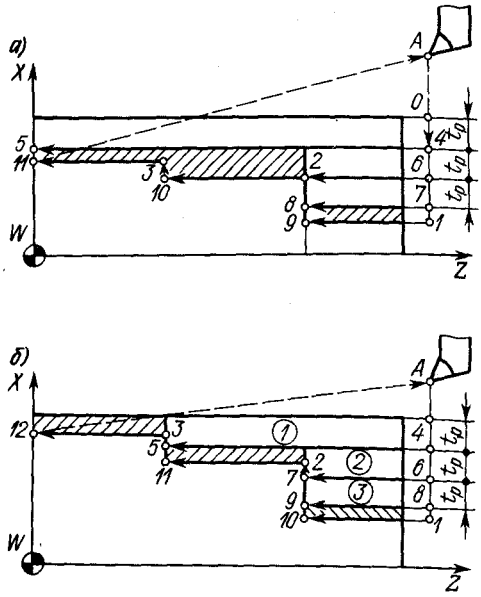


Рис. 6.12. Схемы удаления припуска по циклам горизонталей

ластям, оставляя в каждой области припуск, меньший предельного; затем выполнить зачистной ход по всему черновому контуру, сформировав его.

Еще один вариант удаления припуска по указанной схеме показан на рис. 6.12, *б*. Здесь припуск t в третьей зоне меньше предельного $t_р$. Сначала удаляют последовательно слои металла, обозначенные в кружка́х цифрами *1*, *2*, *3*, после чего выполняют ход по черновому контуру от точки *1* через точки *10*, *2*, *11*, *3*, *12*.

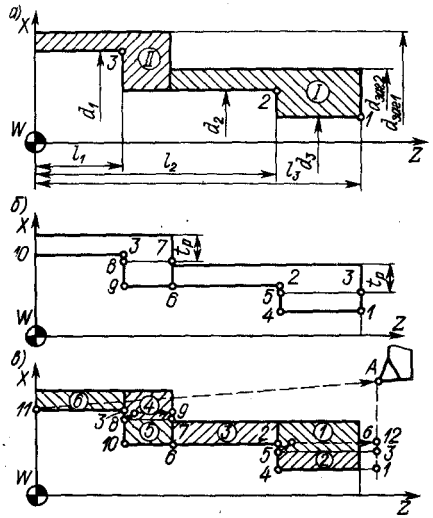


Рис. 6.13. Зона черновой обработки ступенчатой заготовки

Анализ [15] рассмотренных схем удаления припуска при черновой обработке показывает примерно одинаковую эффективность второй и третьей схем, однако предпочтение следует отдавать третьей схеме.

Рассмотренные схемы удаления припуска при обработке ступенчатых валов могут быть распространены на любые ступенчатые заготовки. Несложно представить зону черновой обработки ступенчатой заготовки отдельными участками, каждый из которых ограничен контуром одной ступени. На рис. 6.13, *а* показано разделение обрабатываемой части ступенчатой заготовки на участки *I* и *II*, на рис. 6.13, *б* — деление этих участков на уровни (на базе $t_р$) с выделением опорных точек, на рис. 6.13, *в* — последовательность удаления припуска (цифры *1*—*6*, заключенные в кружки́) по отдельным элементарным участкам при рабочих ходах инструмента через точки *A*, *3*, *5*, *12*, *1*, *4*, *2*, *6*, *7*, *8*, *9*, *6*, *10*, *3*, *11*, *A*.

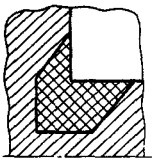
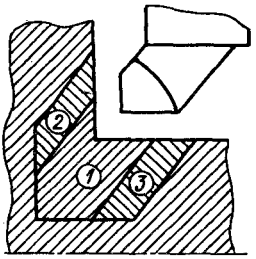
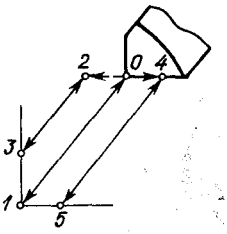
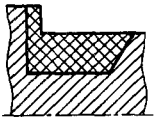
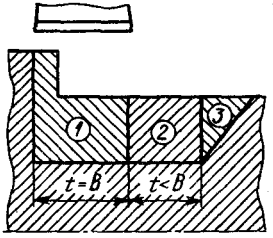
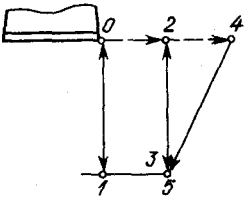
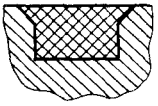
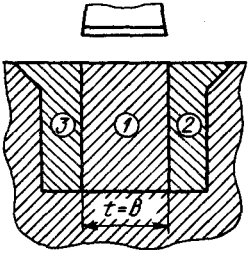
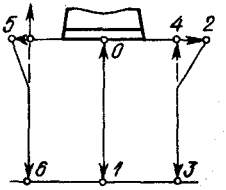
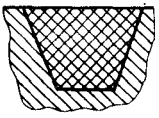
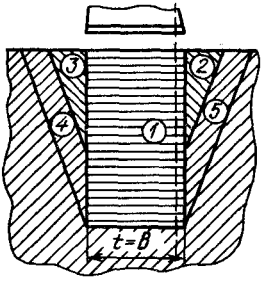
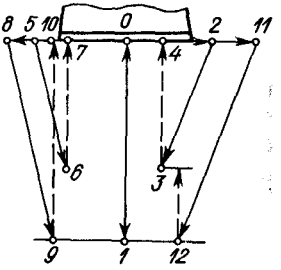
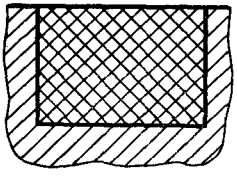
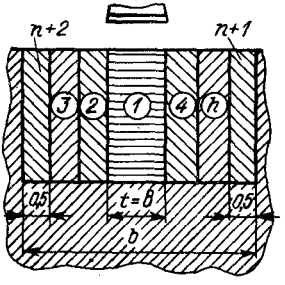
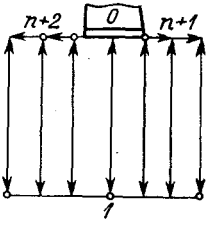
Следует отметить общность обработки ступенчатых деталей различных классов: валков, втулок, дисков, крышек и др., черновой припуск у которых может быть сформирован и обработан по рассмотренным для вала схемам [15, 17].

Типовые схемы переходов при токарной обработке дополнительных поверхностей (канавок, проточек, желобов)

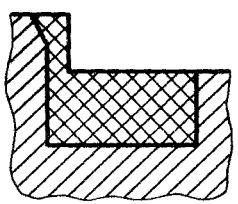
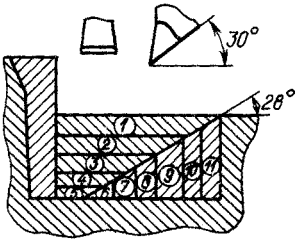
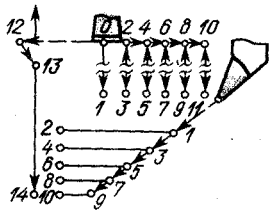
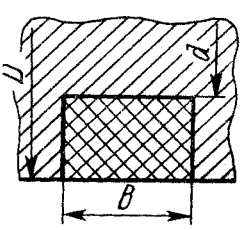
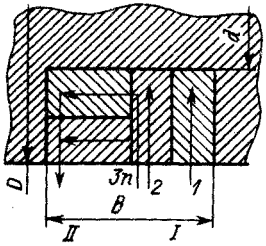
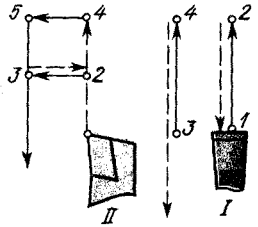
Типовые схемы обработки некоторых дополнительных элементов контура детали показаны в табл. 6.4.

По схеме 1 следует обрабатывать наружные угловые канавки для выхода шлифовального круга. Число проходов зависит от соотношения размеров резца и канавки. Рекомендуется подбирать инструмент таким образом, чтобы обработку завершить за один ход или за три хода.

Таблица 6.4. Типовые схемы обработки канавок, проточек, желобов

Номер схемы	Элемент контура	Разбивка припуска	Траектория инструмента
1			
2			
3			
4			
5			

Продолжение табл. 6.4

Номер схемы	Элемент контура	Разбивка припуска	Траектория инструмента
6			
7			

Примечание. Принятые обозначения: B — ширина рабочей части резца; t — глубина резания; цифры с кружках — последовательность рабочих ходов.

Схема 2 — рекомендуемая схема выполнения перехода при обработке наружных проточек для выхода резьбообразующего инструмента. Ширину режущей части прорезного резца целесообразно выбирать таким образом, чтобы обработку завершить за два или три хода, как это показано на рисунке.

Схема 3 — наиболее рациональная схема обработки канавок для пружинных, пружинных упорных, уплотнительных и поршневых колец. Ширину рабочей части резца следует стремиться выбирать такой, чтобы обработку канавки выполнить за три хода.

По схеме 4 целесообразно обрабатывать канавки шкивов, канавки для сальниковых войлочных колец, а также торцовые канавки.

Прямые канавки обрабатывают прорезным резцом по типовой схеме 5. При параметре шероховатости поверхностей канавки $R_z=40$ мкм и более обработка ведется без чистовых ходов, обозначенных на рисунке под номерами $n+1$ и $n+2$. Общее число ходов $n=(b-B)/(B-1)$, где b — ширина канавки; B — ширина рабочей части резца. В этой формуле знаменатель уменьшен на 1 мм для обеспечения необходимых перекрытий между соседними ходами.

При параметрах шероховатости торцов канавки R_z от 20 до 10 мкм и R_a от 2,5 до 1,25 мкм вводят чистовые ходы обработки этих торцов, как это показано на схеме. Под эти ходы оставляют припуск по 0,5 мм на сторону, вследствие чего общее число ходов

$$n=(b-B-1)/(B-1). \qquad (6.7)$$

Если названные параметры шероховатости должны быть обеспечены и по дну канавки, то вводят дополнительный проход для зачистки дна, под который также оставляют припуск.

Для широких ($b=6B$ и более) и глубоких канавок рекомендуется применять комбинированную схему, в соответствии с которой обработка выполняется за два перехода — контурным и канавочным резцами.

Зона перехода, выполняемого контурным резцом с главным углом в плане 95° и вспомогательным 30°, формируется с помощью прямой с углом наклона $\alpha=28°$ (схема 6). Обработка

этой зоны ведется по схеме черновой строки закрытого типа. Торец всегда подрезают прорезным резцом после завершения обработки контурным резцом. Чистовые ходы по торцам и дну канавки назначаются, как и в предыдущем случае.

Широкие канавки можно обрабатывать также прорезным *Л* и упорно-проходным *Н* резцами (схема 7). Сначала прорезной резец делает канавку за несколько рабочих ходов, потом удаляют припуск упорно-проходным резцом.

Типовые схемы нарезания резьб

На токарных станках с ЧПУ резьбы нарезают чаще всего с помощью резцов. Существуют две основные схемы формообразования резьбы резцами: с применением радиального и бокового врезания.

При *радиальном врезании* инструмент работает в условиях несвободного резания. Стружка формируется одновременно двумя кромками резца, процесс ее образования усложняется, она завивается в спираль, и отвод ее от резца затруднен, так как слои металла, срезаемые обеими кромками, стремятся загибаться по направлению друг от друга. Поэтому такую схему применяют или при нарезании мелких резьб с шагом до 2 мм включительно, или для чистовой обработки профиля резьбы.

Для черновых ходов при нарезании резьб с шагом более 2 мм используют *боковое врезание*, при котором стружка образуется только одной режущей кромкой резца, что улучшает ее отвод.

Распространено многопроходное нарезание резьбы с большим числом не только черновых, но и чистовых ходов. В табл. 6.5 приведены рекомендации по числу ходов при нарезании метрической треугольной резьбы.

На токарных станках с ЧПУ можно нарезать как цилиндрические и конические резьбы, так и резьбы, расположенные на торцах, перпендикулярных к оси вращения.

Таблица 6.5. Число ходов при нарезании метрической треугольной резьбы резцом

Шаг резьбы, мм	Число ходов		
	при боковом врезании	при радиальном врезании	
		черновых	чистовых
0,75	—	3	3
1,00	—	3	3
1,25	—	4	3
1,50	—	4	3
1,75	—	5	3
2,00	—	5	3
2,50	6	—	3
3,00	6	—	3
3,50	7	—	4
4,00	7	—	4
4,50	7	—	4
5,00	8	—	4
5,50	8	—	4
6,00	9	—	4

Примечание. Обрабатываемый материал — сталь, чугун, бронза, латунь.

Обобщенная последовательность переходов при токарной обработке

При технологическом проектировании структуры операций, выполняемых на токарных станках с ЧПУ, могут быть использованы типовые последовательности переходов.

При обработке деталей *в центрах* можно рекомендовать такую обобщенную последовательность переходов:

1.0 — черновая обработка основных поверхностей, из числа которых первыми обрабатываются поверхности, требующие рабочих перемещений режущего инструмента по направлению к передней бабке;

2.0 — черновая (при необходимости) и чистовая обработка дополнительных элементов, кроме зарезьбовых канавок, канавок для выхода шлифовального круга, резьб и мелких выточек;

3.0 — чистовая обработка основных поверхностей, в том числе: 3.1 — подрезка торца (на первом установе); 3.2 — обработка наружных поверхностей;

4.0 — обработка дополнительных элементов, не требующих черновых переходов.

Количество и типаж инструмента (инструментальная наладка), необходимого для выполнения операций обработки в центрах, зависит от применяемой крепежной оснастки и характера обработки (односторонняя или двусторонняя), а также от числа дополнительных элементов контура обрабатываемой детали.

Для выполнения операций обработки деталей *в патроне* рекомендуется такая обобщенная последовательность технологических переходов:

1.0 — центрование (выполняется при сверлении отверстий диаметром менее 20 мм);

2.0 — сверление; для ступенчатых отверстий при использовании двух сверл процесс разбивают на два перехода: 2.1 — сверление сверлом большего диаметра (бóльшая ступень); 2.2 — сверление сверлом меньшего диаметра (меньшая ступень);

3.0 — черновая обработка основных поверхностей: 3.1 — подрезка внешнего торца предварительно и окончательно; 3.2 — обработка наружных поверхностей; 3.3 — обработка внутренних поверхностей;

4.0 — черновая и чистовая обработка дополнительных элементов контура детали, кроме зарезьбовых канавок для выхода шлифовального круга, резьб и мелких выточек (в тех случаях, когда для черновой и чистовой обработки внутренних поверхностей используют один резец, все дополнительные элементы обрабатывают после выполнения чистовых переходов);

5.0 — чистовая обработка основных поверхностей детали, кроме внешнего торца: 5.1 — внутренних поверхностей; 5.2 — наружных поверхностей;

6.0 — обработка дополнительных элементов, не требующих черновой обработки: 6.1 — в отверстиях или на торце; 6.2 — на наружных поверхностях.

Схемы выполнения операций при обработке деталей в патроне и инструментальная наладка зависят от числа дополнительных элементов контура детали и от размеров и формы осевого отверстия.

Назначение инструмента для токарной обработки

Номенклатура инструментов. Режущий инструмент, применяемый на станках с ЧПУ, можно разделить на две большие группы.

В первую группу входят инструменты с осью вращения. Общим для них является то, что скорость резания определяется частотой вращения главного привода станка и диаметром инструмента. Сюда относятся стержневой инструмент для обработки отверстий (сверла, зенкеры, развертки, метчики и т. д.) и фрезы.

Ко второй группе относятся резцы для точения наружных и внутренних поверхностей вращения, а также для подрезания торцов.

В зависимости от направления подачи *проходные резцы*, используемые при реализации схемы обработки, делятся на правые и левые.

Для обработки наружных цилиндрических, конических и торцовых поверхностей используют в большинстве случаев проходные резцы трех типов: черновые с главным углом в плане $\varphi = 95°$ и вспомогательным углом в плане $\varphi_1 = 5°$, чистовые (контурные) с углами $\varphi = 95°$ и $\varphi_1 = 30°$ и комбинированные подрезные с углами $\varphi = 95°$ и $\varphi_1 = 5°$ (рис. 6.14).

Для обработки внутренних основных поверхностей применяют *центровочные и спиральные сверла*, а также *расточные резцы*: черновые ($\varphi = 95°$; $\varphi_1 = 5 \div 10°$) и чистовые (контурные) ($\varphi = 95°$; $\varphi_1 = 30°$).

Размеры расточного инструмента устанавливают в соответствии с размерами (диаметром и длиной) внутренних поверхностей деталей, обрабатываемых в патроне.

Чтобы выбрать размеры сверл для рассверливания многоступенчатых отверстий, сопоставляют длительность расточных и сверлильных переходов. Обычно для растачивания берут твердосплавные резцы, а для рассверливания — сверла из быстрорежущей стали. В связи с этим при растачивании скорость реза-

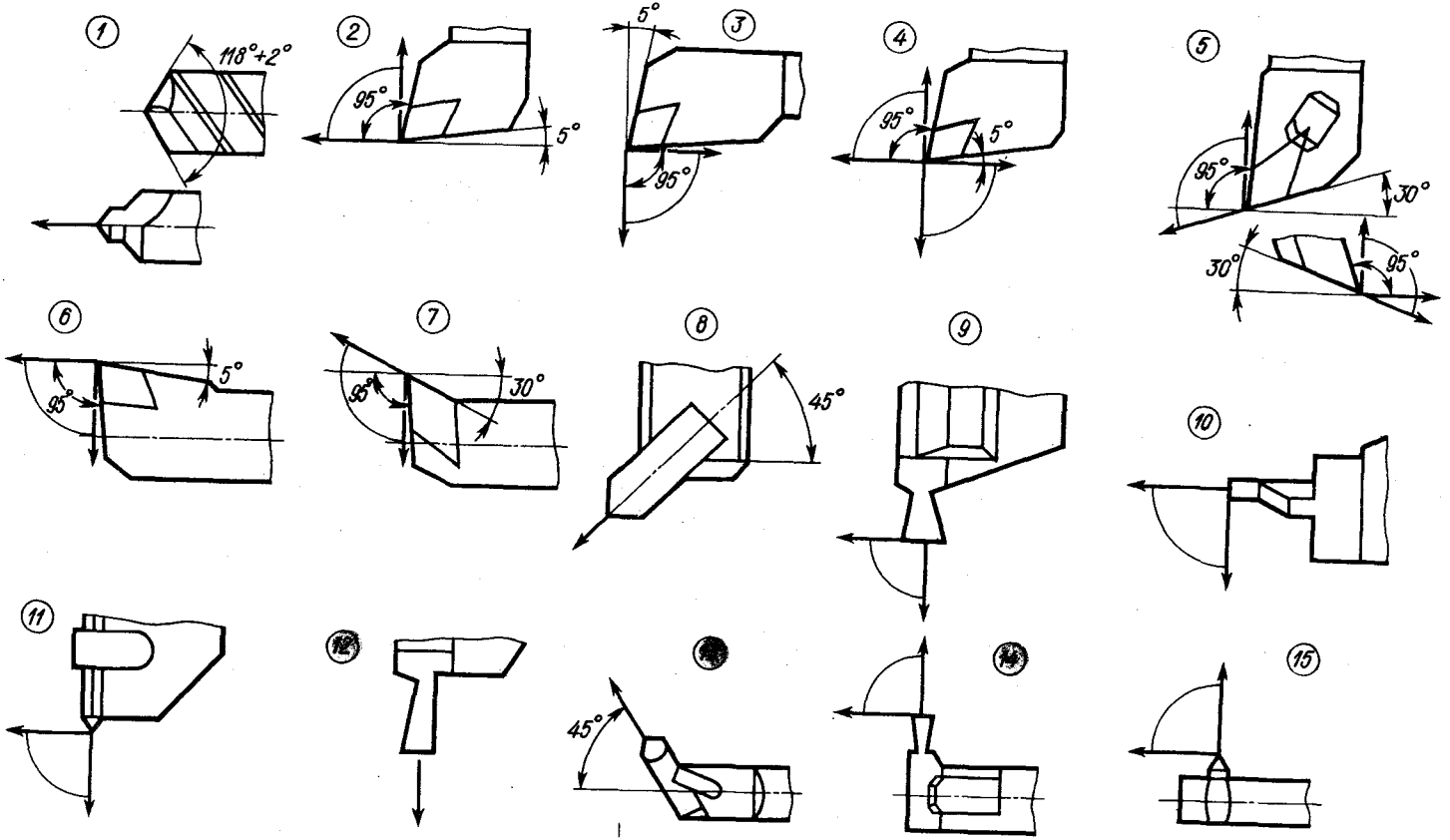


Рис. 6.14. Номенклатура режущего инструмента для токарных станков с ЧПУ с указанием зон направления рабочей подачи:

1 — сверла спиральное и центровочное; *2* — резец проходной левый; *3* — резец проходной (подрезной) правый; *4* — резец проходной (подрезной) левый; *5* — резцы контурные левый и правый; *6* — резец расточный проходной; *7* — резец расточный контурный; *8* — резец для угловых канавок; *9* — резец прорезной; *10* — резец для проточки торцовых канавок; *11* — резец резьбовой; *12* — резец отрезной; *13* — резец расточный для угловых канавок; *14* — резец прорезной расточный; *15* — резец резьбовой расточный

ния примерно в 2,5—3 раза выше, чем при сверлении, а подача составляет примерно 0,6—1,0 от подачи при сверлении. Два прохода расточным резцом выполняются быстрее, чем один проход сверлом.

Зенкеры обычно не включают в номенклатуру инструментов, используемых на токарных станках с ЧПУ. Это связано с тем, что при обработке отверстий на этих станках в большинстве случаев производительнее снять припуск расточными резцами, так как при этом формируется более высококачественная поверхность. Аналогично обстоит дело с использованием *разверток*. Токарные станки с ЧПУ позволяют с помощью расточных резцов получать отверстия, по точности и качеству поверхности не уступающие отверстиям, обработанным с помощью разверток. Поэтому развертки также нецелесообразно включать в основную номенклатуру инструмента для этих станков. Они могут быть рентабельными лишь при обработке больших партий деталей или отверстий малого диаметра.

Несмотря на большое разнообразие форм дополнительных поверхностей число типоразмеров применяемого для их обработки режущего инструмента резко сокращается за счет использования описанных выше типовых схем выполнения переходов. Для обработки дополнительных поверхностей применяют *прорезные резцы* (наружные, внутренние и торцовые), *внутренние и наружные резцы для угловых канавок*, а также *резьбовые наружные и внутренние резцы для метрических и дюймовых резьб*.

Использование ЭВМ для автоматизации выбора режущего инструмента. При технологическом проектировании операций обработки на станках с ЧПУ в память вычислительной машины должна быть введена картотека режущих инструментов, имеющихся в наличии на предприятии. Информацию об инструменте заносят в специальные формы, удобные как для использования их человеком, так и для внесения содержащейся в них информации на перфокарты, вводимые на ЭВМ.

Возможны различные уровни автоматизации выбора режущего инструмента при подготовке УП для станков с ЧПУ.

В простейшем случае технолог-программист сам назначает инструмент, задавая в исходных данных для ЭВМ его шифр. По этому шифру ЭВМ находит в картотеке данные соответствующего инструмента и использует их при расчете УП.

Можно задать в исходных данных для ЭВМ общий вид типовой инструментальной наладки. В более сложных случаях вычислительная машина на основе определенных критериев может сама синтезировать инструментальную наладку с учетом имеющихся в картотеке данных по инструментам. Наконец, при отсутствии в картотеке необходимых данных ЭВМ на основе анализа параметров режущего инструмента и державок может автоматически составить комплектный инструмент или даже проектировать его [17, 35, 36].

Следует проверить, какое количество из выбранных инструментов можно использовать на данном станке в одной наладке.

Если количество выбранных инструментов превышает число позиций магазина станка или револьверной головки, то целесообразно выполнить одно из следующих мероприятий:

1) применить комбинированный инструмент, например сверло-цековку;

2) перенести обработку на другой станок с ЧПУ, имеющий большее число инструментальных позиций или требующий для обработки меньшего числа инструментов;

3) расчленить обработку на две операции, выполняемые за два установа на том же станке с ЧПУ;

4) изменить тип резца, например заменить упорно-проходной резец контурным, допускающим бóльшую свободу перемещений;

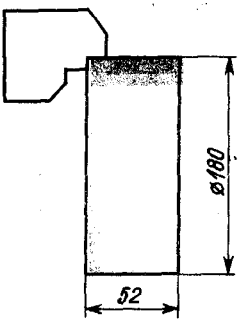
5) обработать фаски резцом по программе;

6) вынести отдельные переходы за пределы операции, выполняемой на станке с ЧПУ. Исключать переходы и переносить их в операцию обработки на станке с ручным управлением целесообразно в такой последовательности:

Таблица 6.6. Карта наладки токарного станка с ЧПУ

Данные				Операция: 1 Всего: 2	Номер программы Х-86
Модель станка	16К20ФЗС5	Деталь, заготовка	Наименование детали	*Колесо коническое*	
Номер станка	*12-8676*		Номер чертежа	*70М-00-11*	
Система управления	*Н22-1М*		Материал заготовки	*Сталь 40Х*	
			Размер заготовки	∅ 180×50	

Обработка в	*патроне*	Эскиз закрепления заготовки
Крепежная оснастка	*11.11*	
	X *Z*	
Исходная нулевая точка 1	*262* *900*	
Сдвиг нулевой точки		
Усилие зажима	*0,5 МПа*	
Диапазон частот вращения	*1*	
Влияние на подачу	*100 %*	
Охлаждение	*Включить*	
Установить гидравлику	*На зажим*	



Индекс инструмента	Позиция	Блок коррекции	Примечание
11.1.01.73.8 Сверло	*1*	*0*	
11.2.04.23.3 Резец подр.	*2*	*1*	*Черновое подрезание торца*
11.2.04.23.3 » »	*2*	*2*	*Торцовая канавка и торцы ∅ 140 и ∅ 120*
11.2.04.23.3 » »	*2*	*3*	*Фаска под углом 18° на ∅ 50*
11.3.03.01.1 Резец контурн.	*3*	*4*	
11.3.09.09.3 Резец проходн.	*4*	*5*	*Обточка ∅ 120*
11.3.09.09.3 » »	*4*	*8*	*Обточка ∅ 140 и подрезка торца*
11.4.10.12.1 Резец канавочн.	*5*	*6*	*Прорезка канавки*
11.4.10.25.3 Резец расточн.	*6*	*7*	*Расточка отверстия*

Номер кадра	Измеритель	Отклонение		Блок коррекции			Примечание
		верхнее	нижнее	№	X	Z	
59	*7,2*	*0*	*−0,05*	*2*			
59	*∅ 56*	*+0,1*	*−0,4*	*3*			*∅ 56 — начало фаски 18°*
59	*∅ 120*	*0*	*−0,4*	*5*			
59	*∅ 50*	*−0,373*	*−0,400*	*7*			*Калибр-пробка ∅ 50*
59	*∅ 140*	*0*	*−0,4*	*8*			
59	*10*	*0*	*−0,1*	*8*			
Дата	Фамилия						Подпись

а) не выполнять переход «обработка фаски»;

б) не выполнять переход «нарезание резьбы»;

в) не выполнять переход «развертывание».

Результаты проектирования инструментальной наладки заносят в карту

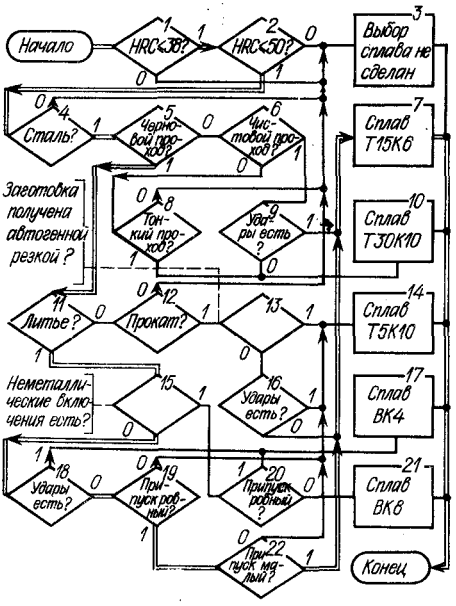


Рис. 6.15. Частный алгоритм выбора марки твердого сплава резца для обработки стали. Цветная линия — контрольный пример: HRC=40, сталь, черновой проход, литье, без неметаллических включений и ударов, припуск ровный и малый, марки сплава Т15К6

наладки (табл. 6.6), которая должна содержать все сведения, необходимые для наладки станка на конкретную операцию. При подготовке программ вручную карту наладки заполняет технолог-программист в процессе работы над технологическим процессом и программой. При автоматизированных методах технологического проектирования карта наладки выводится из ЭВМ вместе с УП и картой операционного технологического процесса.

Карта наладки обычно содержит разделы, посвященные станку и крепежной оснастке, детали, собственно инструментальной наладке, а также распределению блоков коррекции траектории инструментов УЧПУ станка.

В разделе, посвященном станку, записывают модель и номер станка, модель УЧПУ. Там же фиксируют координаты исходной (нулевой) точки станка, величины сдвига этой точки (при необходимости) и некоторую дополнительную информацию, зависящую от конструкции станка (например, диапазон частот вращения, устанавливаемый вручную, процент повышения или снижения рабочих подач и т. д.).

В разделе оснастки записывают ее шифр и характер обработки (в центрах, в патроне и т. п.).

В разделе, посвященном детали, должны быть заданы ее наименование и номер чертежа, материал заготовки, ее размеры и эскиз закрепления на станке.

Описание собственно наладки представляет собой таблицу, в которую заносят шифр инструмента, номер позиции в револьверной головке или инструментальном магазине станка и номер корректора УЧПУ, закрепленного в программе за данным инструментом. Сюда же целесообразно заносить размеры детали, которые необходимо контролировать в процессе наладки и последующей обработки, номер кадра УП, при отработке которого формируется контрольный размер, причем следует указать этот размер с допустимыми верхним и нижним отклонениями, а также номера блоков коррекции и корректирующие поправки, устанавливаемые на указанных блоках.

Ряд операций подготовки ТП для токарных станков достаточно просто выполнить при использовании ЭВМ на базе определенных алгоритмов [16, 17, 35, 36, 76]. В качестве простого примера на рис. 6.15 приведен частный алгоритм выбора марки твердого сплава проходного резца.

Выбор параметров режима резания при токарной обработке

Работа станка с ЧПУ не может быть успешной, если имеются ошибки в выборе параметров режимов резания. Несмотря на кажущуюся простоту вопроса он до сих пор не нашел полного решения. При обработке деталей на станках с ЧПУ в основном сохраняется методика, разработанная для обычных станков, но вместе с тем существуют некоторые особенности [17, 66, 76].

Общая последовательность выбора параметров режима резания при токарной обработке: 1) глубина резания; 2) подача; 3) скорость резания.

Глубина резания. В каждом случае выбирают максимально возможную глубину резания, которая ограничена припуском на обработку и возможностями станка. Если для обработки какой-либо поверхности предусмотрено два или три прохода (например, черновой, получистовой и чистовой), то общий припуск делят соответственно на две или три части, каждую из которых стремятся снять за один рабочий ход. От глубины резания зависят ширина среза и длина рабочей части режущей кромки.

Чистовой припуск зависит от ряда факторов, основными из которых являются требуемые точность и шероховатость детали, необходимость в последующей обработке, характер предыдущей обработки и т. д.

Глубину резания при черновом проходе в первом приближении задают в зависимости от жесткости инструмента, прочности и размеров пластины твердого сплава. Максимально допустимую глубину резания при черновых проходах и среднюю рекомендуемую обычно указывают в картах соответствующего инструмента или в нормативах. При оптимизации параметров резания первоначально назначенную глубину резания обычно корректируют в соответствии с назначаемой подачей и скоростью резания.

Подача. Подачу назначают максимально допустимой по условиям технических ограничений.

Такими ограничениями для подачи *при черновой обработке* являются: жесткость обрабатываемой детали, жесткость резца, прочность державки резца, прочность режущих пластин резца, прочность механизма подач станка, наибольший крутящий момент, мощности главного привода и привода подач, предельные минутные подачи на станке. Подачи при черновом точении обычно приводятся в соответствующих таблицах и корректируются различными коэффициентами в зависимости от условий обработки. На станках с ЧПУ подачу при первом черновом проходе заготовок, имеющих биение по торцу, наружному диаметру или отверстию, на участке входа резца обычно снижают на 20—30 %, чтобы предотвратить сколы режущих кромок.

Подачу s_j *при однопроходном чистовом точении* назначают с учетом требований к шероховатости и точности соответствующих поверхностей в зависимости от требуемой точности детали и погрешности заготовки:

$$s_j = \left(\frac{2{,}5}{C_p}\right)^{4/3} \left(\frac{\Delta_{дет}}{\Delta_{заг}}\right)^{4/3} J^{4/3}, \qquad (6.8)$$

где $\Delta_{дет}$ — допустимая погрешность детали, мм; $\Delta_{заг}$ — погрешность заготовки, мм; J — жесткость системы СПИД, Н/м; C_p — коэффициент, зависящий от рода обрабатываемого материала.

Подачу s_{R_z} (мм/об), обеспечивающую требуемую шероховатость, находят по формуле

$$s_{R_z} = \frac{C_н R_{z\,max}^{\alpha} r^{u} k_μ}{t^{x} \varphi^{z} \varphi_1^{z}} v^{n}, \qquad (6.9)$$

где $C_н$ — постоянный коэффициент; $R_{z\,max}$ — наибольшая высота микронеровностей поверхности, мкм; r — радиус при вершине резца, мм; $k_μ$ — поправочный коэффициент; φ, φ_1 — главный и вспомогательный углы резца в плане, °; v — скорость резания, м/мин; α, u, x, z, n — показатели степени.

Рассчитанные по приведенным формулам подачи не должны быть меньше $s_{мин\,min}$ (наименьшей минутной подачи на станке) и $s_{рез\,min}$ (наименьшей подачи, обеспечивающей нормальное резание).

Скорость резания. При выбранных глубине резания и подаче задают такую скорость резания, которая обеспечивала бы оптимальную стойкость инструмента.

Напомним, что при резании различают изнашивание по задней и передней граням. Наиболее часто за критерий изнашивания принимают ширину ленточки изнашивания $h_з$ по задней грани. В каждом случае можно установить допустимый износ (величину $h_з$), при достижении которого инструмент

подлежит переточке. *Стойкостью инструмента* называется период времени его работы между переточками.

Ориентировочный допустимый износ $h_з$: при *черновом точении* 1,8 мм для неперетачиваемых пластин и 1—1,4 мм для резцов с напаянными пластинами твердого сплава; при *чистовом точении* 0,4—0,6 мм для твердосплавных резцов.

В практике работ на станках с ЧПУ значения допустимого износа могут отличаться от указанных. Это зависит от требований, предъявляемых к заданной точности обработки, циклам принудительной замены инструмента, циклам подналадки инструмента и т. п.

Особое влияние на выбор параметров режима резания на станках с ЧПУ оказывает возможность быстро заменять изношенный инструмент новым с автоматической его подналадкой.

Особенности выбора параметров режима обработки для станков с ЧПУ

По сравнению с обычными станками при выборе параметров режима резания для токарных станков с ЧПУ (рис. 6.16) должны быть учтены хрупкое разрушение твердосплавного инструмента, экономическая стойкость инструмента и стабильность режимов резания.

Учет хрупкого разрушения. Твердосплавной инструмент выходит из строя из-за изнашивания или хрупкого разрушения. Обычно при выборе параметров режима резания для универсального оборудования с ручным управлением хрупкое разрушение не рассматривают. Имеется в виду, что рабочий непрерывно наблюдает за резанием и при выкрашивании инструмента отводит резец, чем предотвращает нежелательные последствия хрупкого разрушения. Станок с ЧПУ работает по полуавтоматическому циклу, а зона обработки на токарных станках закрыта кожухом, поэтому выкрашивание резца может вести к браку детали и поломке станка. Практика показывает, что до 30—50 % резцов выходят из строя вследствие хрупкого разрушения. Процесс выкрашивания носит вероятностный характер, точно никогда нельзя сказать, произойдет ли выкрашивание инструмента в той или иной конкретной ситуации, можно только учитывать и предупреждать явления, которые повышают вероятность выкрашивания.

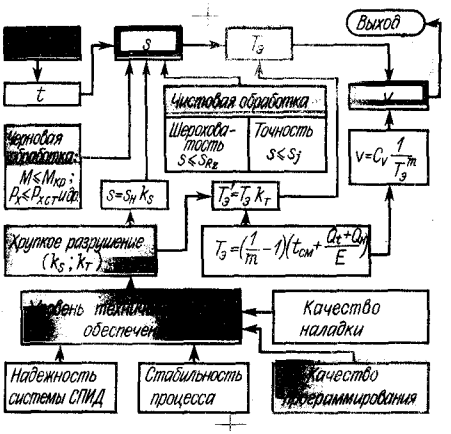


Рис. 6.16. Схема выбора параметров режима резания на станках с ЧПУ

Факторы, связанные с разрушением инструмента, можно разделить на три группы: 1) качество твердосплавного инструмента (марка материала, остаточные напряжения, микротрещины); 2) величина и характер нагружения пластины; 3) стабильность процесса обработки.

Любые дестабилизирующие факторы повышают вероятность выкрашивания: неравномерный припуск, дефекты поверхности, вибрации системы СПИД и т. д. Величина нагружения зависит в основном от подачи, а его характер — от геометрии инструмента. Пластина может работать на изгиб и на сжатие. Нагружение на сжатие менее способствует хрупкому разрушению инструмента.

Учет экономической стойкости инструмента. Режимы резания определяют энергетические затраты на обработку. Мощность резания, кВт

$$N_p = 9{,}8 \frac{P_z v}{60 \cdot 75 \cdot 1{,}36},$$

где P_z — составляющая силы резания, Н; v — скорость резания, м/мин.

Расчет мощности резания позволяет правильно выбрать мощность главного

привода станка и оценить жесткость системы СПИД.

Режимы резания определяют также интенсивность изнашивания инструмента и, следовательно, его *стойкость* T. При наибольшей производительности станка

$$T=(1/m-1)\,t_{см}, \qquad (6.10)$$

где $t_{см}$ — время работы инструмента до замены; m — показатель относительной стойкости (для твердосплавного инструмента $m=0{,}2$).

Экономическая стойкость — стойкость, которая для заданных условий обработки обеспечивает наибольшую производительность и минимальную стоимость обработки:

$$T_э=(1/m-1)\left(t_{см}+\frac{\theta_t+\theta_н}{E}\right), \qquad (6.11)$$

где $T_э$ — экономическая стойкость инструмента, мин; θ_t — затраты, связанные с работой инструмента в течение одного периода стойкости, коп.; $\theta_н$ — затраты, связанные с переточкой инструмента, коп.; E — стоимость одной станко-минуты, включая заработную плату рабочего с начислениями, коп.

На станках с ЧПУ с автоматической заменой инструмента экономическая стойкость инструмента может быть принята равной 15—25 мин, т. е. значительно меньшей, чем на станках с ручным управлением. Это позволяет форсировать режимы и получать на станках с ЧПУ бóльшую производительность обработки. Однако интенсификация режимов повышает вероятность хрупкого разрушения инструмента. Устранение последствий выкрашивания пластин требует значительных затрат времени, а это снижает производительность. Если в данных условиях вероятность выкрашивания инструмента высока, то интенсификация режимов резания недопустима и не имеет смысла снижать экономическую стойкость инструмента.

Последовательность выбора параметров. Поправки. С учетом сказанного можно рекомендовать выбирать параметры режима резания для токарных станков с ЧПУ в такой последовательности (для заданных условий обработки): 1) глубину резания; 2) подачу; 3) экономическую стойкость; 4) скорость резания (согласно соотношению $v=C_v/T_э^m$, где C_v — коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал; геометрию инструмента и др.).

При этом учитывают уровень технологического обеспечения, под которым понимают создание условий, повышающих надежность системы СПИД и стабильность процесса обработки, правильный выбор и повышение качества заготовок, дробление стружки, обеспечение равномерного припуска заготовок, высокое качество и правильный выбор режущего инструмента, рациональное обслуживание станка и т. д.

При выборе подачи кроме обычных поправок вводят поправку на вероятность выкрашивания пластины:

$$s=s_н k_s, \qquad (6.12)$$

где $s_н$ — номинальная подача; k_s — коэффициент вероятности в зависимости от уровня технологического обеспечения.

При высоком уровне технологического обеспечения $k_s=1{,}1\div1{,}4$, при его снижении $k_s\leqslant 1$, поэтому снижается подача, а значит, уменьшаются нагрузка на режущую кромку и вероятность выкрашивания.

Экономическую стойкость инструмента $T'_э$ при работе на станках с ЧПУ можно просто определить в зависимости от известной номинальной экономической стойкости $T_э$, установленной для станков с ручным управлением:

$$T'_э=T_э k_т, \qquad (6.13)$$

где $k_т$ — общий коэффициент уровня технологического обеспечения для станков с ЧПУ.

При высоком уровне обеспечения $k_т=0{,}25\div0{,}3$, а $T'_э=15\div20$ мин. При недостатках в технологическом обеспечении $k_т$ возрастает и может быть больше единицы. Это заставляет снизить параметры режимов, но повышает вероятность безотказной работы, т. е. достигается максимальная производительность обработки.

После определения $T'_э$ выбирают скорость резания, обеспечивающую экономическую стойкость (см. рис. 6.16).

Оптимизация параметров резания

Оптимизация условий обработки определяется знанием физических и технико-экономических зависимостей, существующих в данной области. Поскольку в настоящее время трудно учесть все зависимости, связывающие отдельные факторы, проявляющиеся в процессе обработки, на практике применяют частичную оптимизацию: используют только некоторые оптимальные факторы, при этом значения остальных факторов предполагаются.

Существуют три основные разновидности частичной оптимизации условий обработки:

1) однокритериальная, когда во внимание принимают минимальную единичную стоимость;

2) двухкритериальная, когда во внимание принимают минимальную единичную стоимость и необходимую шероховатость поверхности;

3) трехкритериальная, когда во внимание принимают минимальную единичную стоимость, необходимую шероховатость поверхности и необходимую точность размеров.

Кроме этих разновидностей применяют и другие разновидности методов оптимизации [5, 58, 66, 76].

Основной оптимизации условий обработки, которая обычно выполняется с помощью ЭВМ, являются установленные технические ограничения в виде уравнений. В общем случае при обработке резанием требуются следующие зависимости-ограничения.

Ограничение 1. Связь между стойкостью инструмента, его конфигурацией и материалом режущей части, глубиной резания, подачей, механическими свойствами обрабатываемого материала, с одной стороны, и максимально возможной скоростью резания, с другой стороны, определяется формулой

$$v=\frac{C_v d^{z_v} k_v}{T^m t^{x_v} s^{y_v} z^{n_v} B^{r_v}}, \qquad (6.14)$$

или, если принять во внимание, что $v=\pi dn/1000$,

$$ns^{y_v}=318 C_v d^{z_v-1} k_v\,(T^m t^{x_v} z^{n_v} B^{r_v})^{-1}, \qquad (6.15)$$

где v — скорость резания, м/мин; C_v — коэффициент скорости резания, характеризующий нормативные условия работы; d — диаметр обрабатываемой поверхности или диаметр инструмента, мм; k_v — суммарный поправочный коэффициент на скорость резания, учитывающий разницу с нормативными условиями обработки; T — стойкость инструмента, мин; t — глубина резания, мм; s — подача (мм/об, мм/зуб; мм/двойной шаг; мм/мин); z — число режущих кромок; B — ширина резания, мм; n — частота вращения, об/мин; m — показатель степени стойкости инструмента; x_v, y_v, z_v, n_v, r_v — показатели степени соответственно глубины резания, подачи, диаметра инструмента, числа режущих кромок, ширины резания.

Зависимость (6.15) показывает, что частота вращения n и подача s для заданных условий (стойкости инструмента, материала и т. д.) не должны превышать значений, определяемых неравенством $ns^{y_v}\leqslant B_1$, где B_1 — правая часть общей зависимости (6.15).

В целях отыскания линейных зависимостей, необходимых для решения задачи с помощью линейного программирования, логарифмируют функции, определяющие ограничения. Обозначим: $\ln n=x_1$; $\ln(100s)=x_2$; $\ln B_1=b_1$. Тогда уравнение, определяющее первое ограничение, будет иметь вид

$$x_1+y_v x_2\leqslant b_1.$$

Ограничение 2. Связь между мощностью резания N_e и мощностью главного привода станка N_z выражается формулой

$$N_e\leqslant N_z\eta. \qquad (6.16)$$

Эта зависимость также может быть выражена [58] уравнением ограничения, имеющим следующий вид:

$$n_z x_1+y_z x_2\leqslant b_2.$$

Ограничение 3. Расчетная скорость резания, подача и заданная производи-

тельность станка связаны уравнением-ограничением

$$x_1 + x_2 \geqslant b_3.$$

Ограничение 4. Это ограничение устанавливает связь между расчетной скоростью вращения при резании и наименьшей частотой вращения исходя из кинематики станка. Естественно, что расчетная частота вращения шпинделя $n = n_{\text{расч}}$ не должна быть меньше минимальной частоты $n_{\text{ст min}}$, определяемой кинематикой станка. Так как $\ln n = x_1$, а $\ln n_{\text{ст min}} = b_4$, то уравнение-ограничение имеет вид

$$x_1 \geqslant b_4.$$

Ограничение 5. Расчетная и максимально допустимая скорости резания связаны зависимостью (с технологической точки зрения это ограничение условное):

$$x_1 \leqslant b_5.$$

Ограничение 6. Установление связи между расчетной частотой вращения при резании и максимальной частотой вращения исходя из кинематики станка дает уравнение

$$x_1 \leqslant b_6,$$

т. е. $n_{\text{расч}} \leqslant n_{\text{ст max}}$.

Ограничение 7. Расчетные скорость резания v и подача s, допускаемые по условиям прочности инструмента, связаны уравнением

$$n_p x_1 + y_p x_2 \leqslant b_7.$$

Ограничение 8. Связь между расчетными величинами v и s, допускаемыми по условиям жесткости инструмента, выражается уравнением

$$n_r x_1 + y_z x_2 \leqslant b_8.$$

Ограничение 9. Расчетные параметры v, s и точность обработки, допускаемая жесткостью обрабатываемой детали и способом ее крепления, связаны зависимостью

$$n_r x_1 + y_y x_2 \leqslant b_9.$$

Ограничение 10. Связь между расчетными значениями v и s, допускаемыми по условиям прочности механизмов станка, определяется уравнением

$$n_s x_1 + y_s x_2 \leqslant b_{10}.$$

Ограничение 11. Связь между расчетной подачей s и наименьшей подачей $s_{\text{ст min}}$, допускаемой кинематикой станка, может быть получена из неравенства $s \geqslant s_{\text{ст min}}$:

$$x_2 \geqslant b_{11},$$

где $b_{11} = \ln s_{\text{ст min}}$.

Ограничение 12. Связь между расчетной подачей и максимальной подачей $s_{\text{ст max}}$, допускаемой кинематикой станка, устанавливается зависимостью $s \geqslant s_{\text{ст max}}$, т. е.

$$x_2 \leqslant b_{12}.$$

Ограничение 13. Связь между расчетной подачей и подачей, допускаемой из условия получения заданной шероховатости поверхности, определяется зависимостью $s \leqslant \sqrt[u_z]{R_z r/125}$, где R_z — допустимая (заданная) шероховатость; r — радиус закругления вершины режущей кромки инструмента. Следовательно, уравнение ограничения имеет вид

$$x_2 \leqslant b_{13}.$$

В результате составления всех неравенств получается математическая модель процесса резания металла на металлообрабатывающем станке. В этой модели записанные вместе неравенства

$$A \begin{cases} x_1 + y_v x_2 \leqslant b_1; \\ n_z x_1 + y_z x_2 \leqslant b_2; \\ x_1 + x_2 \geqslant b_3; \\ \dots\dots\dots \\ x_2 \leqslant b_{12}; \\ x_2 \leqslant b_{13} \end{cases}$$

определяют систему A, характеризующую основные ограничения обработки.

Для модели требуется установить функцию цели.

Для рассматриваемой модели эту функцию можно записать в виде

$$F_{\text{ц}} = x_1 * x_2 = \max$$

в результате следующего рассуждения. При соблюдении предусмотренной экономической стойкости инструмента параметры обработки оптимальны, когда

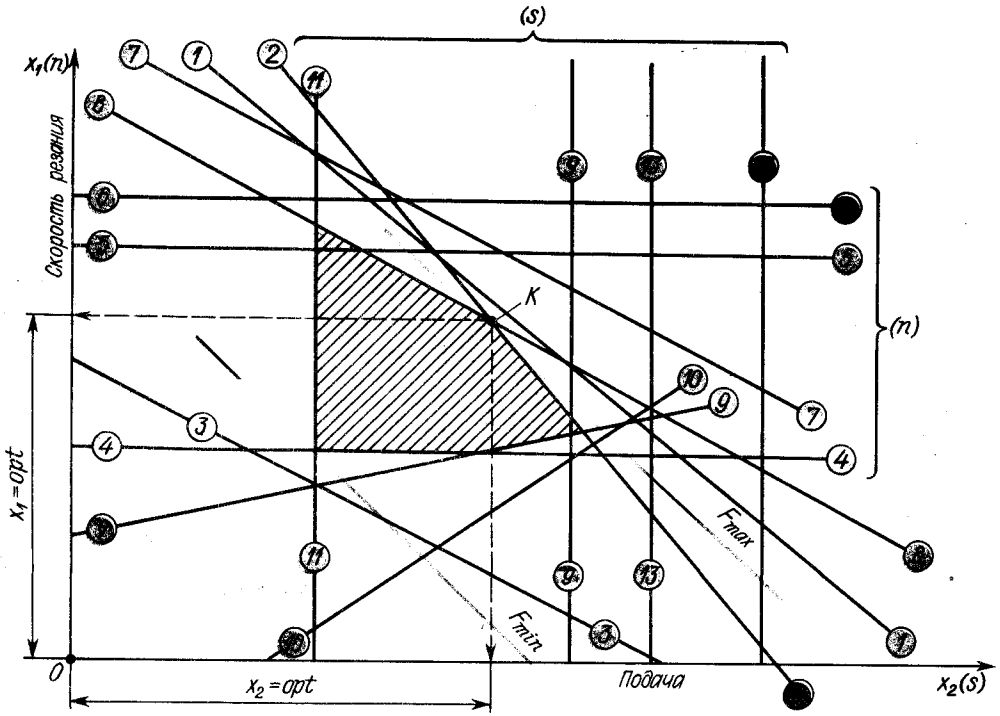


Рис. 6.17. Геометрическая интерпретация математической модели обработки при использовании линейного программирования:

1—13 — прямые, соответствующие уравнениям ограничений 1—13

время обработки наименьшее, а объем удаляемого металла ($A = vst$) наибольший. Так как время обработки обратно пропорционально произведению подачи и скорости резания (или частоты вращения), то время обработки минимально, когда произведение sv (или sn) максимально. А следовательно, при заданной глубине резания будет удаляться наибольший объем металла.

В геометрической интерпретации принятой математической модели (рис. 6.17) заштрихованное поле определяет множество параметров обработки, допускаемых ограничениями, принятыми в модели. В этом поле наиболее удаленная от начала системы точка K соответствует оптимальным значениям x_1 и x_2.

Анализ математической модели процесса резания и метода определения оптимальных значений частоты вращения и подачи дает возможность разработать универсальную программу [58] для расчета параметров режимов резания на токарных станках, имеющих предельное число дискретных частот вращения и подач. Программа позволяет выбирать оптимальные параметры резания с учетом всех ограничений, наиболее существенных с точки зрения технологии изготовления и прочности обрабатываемой детали. Для того чтобы пользоваться этой программой, необходимы следующие входные данные [58]:

R_{ms} — род обрабатываемого материала (сталь, чугун);
R_{m0} — род материала инструмента (твердый сплав, быстрорежущая сталь);
R_m — прочность материала, МПа;
НВ — твердость материала, МПа;
S_m — марка (сорт) стали;
d — наружный (внутренний) диаметр обрабатываемого материала, мм;
L — длина точения, мм;
d_{1T} — квалитет точности IT;
h — шероховатость R_a, мкм;

t — глубина резания, мм;
S_{mm} — состояние материала;
φ — угол резания в плане, рад;
N_N — номинальная мощность станка, кВт;
π — множество подач станка;
Ω — множество частот вращения шпинделя.

Выходные данные:
n — скорректированные частоты вращения, подобранные в множестве Ω, об/мин;
s — скорректированные подачи, выбранные из множества π, мм/об;
t_{m100} — машинное время (по таблице), мин;
t_m — машинное время, мин, рассчитанное по формуле $t_m = t_{m100} \times 0{,}01L$ или $t_m = L/(ns)$, при этом вторую формулу применяют, когда значение подач и частот вращения, подобранные из таблиц, не соответствуют диапазонам подач и частот вращения, которыми располагает токарный станок;
x_{1j} — тип режущей части;
x_{2j} — передний угол γ, рад;
x_{3j} — ширина тела резца;
x_{4j} — высота тела резца;
x_{5j} — ширина тела резца, не регламентированная стандартом;
x_{6j} — высота тела резца, не регламентированная стандартом;
x_{7j} — радиус закругления режущей кромки r, мм;
x_{8j} — параметр охлаждения.

6.4. ФРЕЗЕРНЫЕ ОПЕРАЦИИ

Фрезерование — наиболее универсальный вид механической обработки. Оно пригодно для обработки практически любых поверхностей. На универсальных фрезерных станках с ЧПУ это обеспечивается возможностью перемещать режущий инструмент одновременно по трем согласованным осям: X, Y, Z.

С точки зрения специфики программирования фрезерные операции принято классифицировать по числу осей станка с ЧПУ, которые одновременно используют для выполнения данной операции. Различают 2,5-; 3-; 4- и 5-координатную обработку.

При так называемой 2,5-координатной, или плоской, обработке одновременно используют не более двух осей. Третья ось служит в основном как установочная для подводов и отводов инструмента. 2,5-координатное фрезерование применяют для обработки цилиндрических и линейных поверхностей (контуров), произвольные направляющие и образующие которых или параллельны оси инструмента, или составляют с этой осью постоянный угол в нормальном сечении. В первом случае обработка осуществляется боковой поверхностью цилиндрических, а во втором — конических фрез. Другое назначение 2,5-координатного фрезерования — обработка плоскостей, перпендикулярных к оси инструмента.

Фрезерование с использованием одновременно трех осей станка предназначено для объемной обработки любых поверхностей, доступных для подвода инструмента при неизменном направлении его оси в пространстве. Остальные разновидности многокоординатной фрезерной обработки принято относить к специализированным технологическим процессам.

На станках с ЧПУ находят применение классические разновидности фрезерования — цилиндрическое и торцовое: *цилиндрическое* — обработка контуров боковой цилиндрической поверхностью инструмента; *торцовое* — формообразование торцов узких ребер, ширина которых не превышает диаметра фрезы, а также поверхностей с малым припуском.

На станках с ЧПУ применяют и смешанное фрезерование — одновременную обработку детали боковой и торцовой поверхностями концевых фрез.

Элементы контура детали. Области обработки

При программировании фрезерных операций, так же как и при токарной обработке, элементы контура обрабатываемых деталей могут быть разделены на основные и дополнительные. К числу дополнительных в данном случае относят сопрягающие поверхности с постоянным и переменным радиусами сопряжения. При плоской обработке внутренние сопряжения постоянного радиуса формируются за счет соответствующей конфигурации инструмента. Для обеспечения технологичности детали такие сопряжения должны выполняться с одинаковым, типовым для данного контура или детали радиусом r_{min}, с выдерживанием определенного соотношения между этим радиусом и типовым входящим радиусом $R_{тип}$ на контуре, регламентирующем максимально допустимый диаметр фрезы для чистовых переходов. Рекомендации по соотношению этих радиусов приведены в п. 4.4.

При фрезеровании можно выделить определенные области обработки (зоны). Они делятся на открытые, полуоткрытые, закрытые и комбинированные (рис. 6.18).

К числу *открытых* относятся области, не налагающие ограничений на перемещения инструмента вдоль его оси или в плоскости, перпендикулярной к этой оси.

В *полуоткрытых* областях перемещения инструмента ограничены как вдоль оси, так и в плоскости, ей перпендикулярной.

В *закрытых* областях перемещение инструмента ограничено по всем направлениям.

Комбинированные области формируются в результате объединения нескольких областей различных типов из числа описанных выше.

При программировании фрезерной обработки областей используют типовые схемы технологических переходов, определяющие правила построения траектории инструмента.

Припуски на обработку деталей

Фрезерные операции на станках с ЧПУ, как правило, состоят из черновых и чистовых переходов. Для выполнения чистовых переходов должны быть назначены промежуточные припуски и соот-

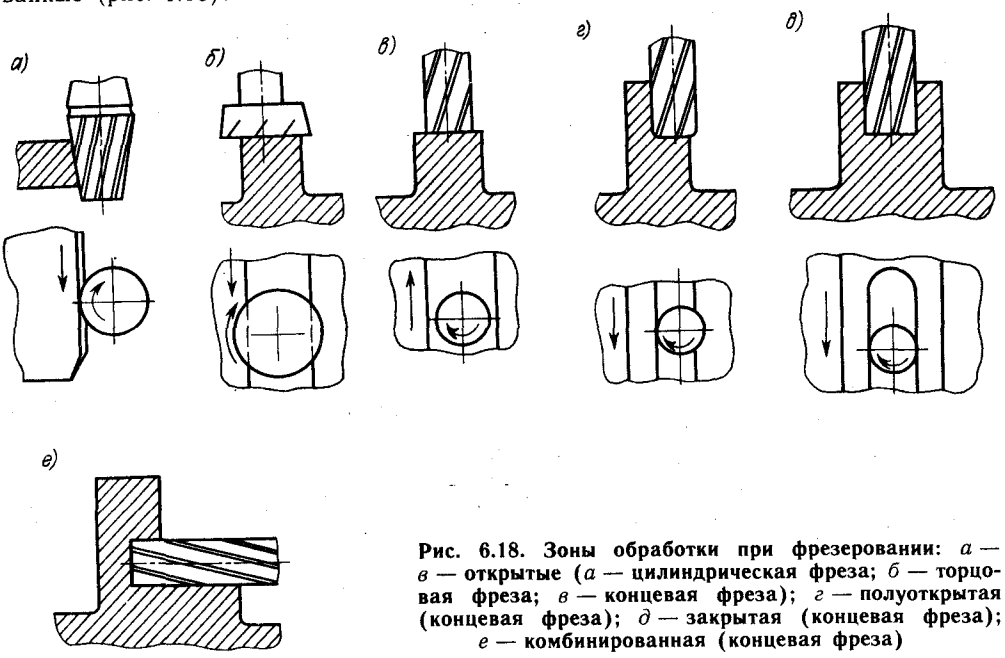


Рис. 6.18. Зоны обработки при фрезеровании: *а — в* **— открытые (** *а* **— цилиндрическая фреза;** *б* **— торцовая фреза;** *в* **— концевая фреза);** *г* **— полуоткрытая (концевая фреза);** *д* **— закрытая (концевая фреза);** *е* **— комбинированная (концевая фреза)**

ветствующие им межпереходные размеры. В общем случае припуски при фрезерной обработке могут быть назначены по таблицам или определены расчетным путем [17, 40—42, 57, 62].

При назначении припусков на чистовую обработку необходимо учитывать специфику закономерностей резания при фрезеровании. Дело в том, что даже при чистовых режимах контурного фрезерования концевыми фрезами, когда припуск минимальный и подача мала, ошибки, вызываемые деформацией системы СПИД, в которой наиболее слабым элементом в большинстве случаев является инструмент, могут превышать допуск на размер. Поэтому при фрезеровании снижение производительности для получения точности не всегда дает желаемый результат.

В отдельных случаях можно значительно уменьшить ошибки от деформации системы СПИД за счет надлежащего выбора при программировании размера чистового припуска [17] и схемы фрезерования. Последнее особенно важно, так как процессы резания в схемах фрезерования «против подачи» и «по подаче» существенно различаются. Так, при чистовом фрезеровании по схеме «против подачи» стойкость инструмента и шероховатость поверхности хуже, но одновременно (при работе в зоне контакта не более двух зубьев) деформации фрезы и детали меньше, поэтому припуск может быть назначен в размере до 30 % диаметра фрезы [17].

Типовые схемы переходов при фрезерной обработке

Обрабатываемые области. За типовой базовый элемент при разработке операций фрезерования принимают совокупность обрабатываемых зон — обрабатываемую область. Каждому технологическому переходу соответствует обработка одной или нескольких областей.

Различают одномерные и двумерные области. *Одномерные* (обычно состоящие из открытых зон), в общем случае непрямолинейные области получаются при обработке боковой поверхностью инструмента наружных контуров деталей и контуров окон, а также при обработке торцом фрезы узких ребер. *Двумерные* односвязные и многосвязные области — при обработке сложных поверхностей. Эти области могут быть определены любой комбинацией самых различных зон: открытых, закрытых, полуоткрытых.

С учетом специфики геометрических расчетов и технологического проектирования двумерные области разделяют на два основных класса: области, располагающиеся на плоскостях, перпендикулярных к оси инструмента, и области на криволинейных поверхностях и плоскостях, не перпендикулярных к оси инструмента.

Для обработки областей первого класса применяют 2,5-координатное фрезерование, в то время как обработка областей второго класса возможна лишь при использовании трех- или пятикоординатного фрезерования. Методы 2,5-координатной обработки более просты в геометрическом и технологическом отношениях.

Типовые траектории фрезы. Существуют два основных метода формирования траектории фрезы при фрезерной обработке: зигзагообразный и спиралевидный.

Зигзагообразный метод характеризуется тем, что инструмент в процессе обработки совершает движения в противоположных направлениях вдоль параллельных строчек с переходом от одной строки к другой вдоль границы области. В настоящее время этот метод распространен, хотя и обладает определенными недостатками. Основной недостаток — переменный характер фрезерования: если вдоль одной строки инструмент работает в направлении подачи, то вдоль следующей он будет работать в направлении, противоположном подаче. Аналогичная картина наблюдается и при переходе от одной строки к другой вдоль границы. Все это приводит к изменениям сил резания и отрицательно сказывается на точности и качестве поверхности. (Вместе с тем следует отметить, что в тех случаях, когда рас-

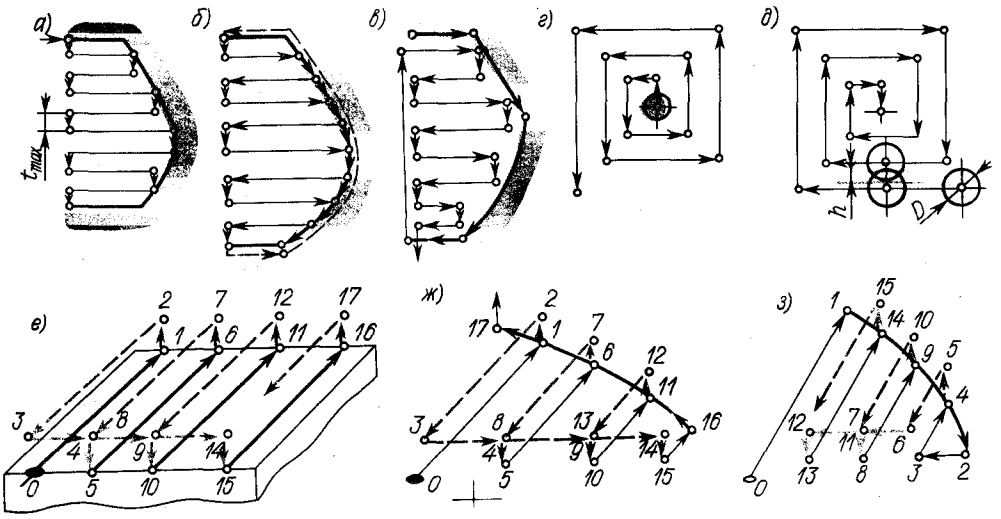


Рис. 6.19. Типовые схемы фрезерных переходов: *а — в* **— зигзагообразные (***а* **— ЗИГЗАГ;** *б* **— 1ЗИГЗАГ;** *в* **— 2ЗИГЗАГ);** *г, д* **— спиралевидные (***г* **— СПИР ПЧС;** *д* **— АСПИР ЧС);** *е — з* **— Ш-образного типа (***е* **— ШТИП;** *ж* **— 1ШТИП;** *з* **— 2ШТИП)**

стояние между соседними строками, определяющее глубину фрезерования, незначительно отличается от диаметра инструмента, изменение сил резания невелико.) Другой недостаток зигзагообразной схемы — повышенное число изломов на траектории инструмента. Это также отрицательно сказывается на динамике резания и приводит во многих случаях к увеличению времени обработки в связи с необходимостью выполнения операций по разгону — торможению, которые обусловливаются динамикой приводов подачи станка с программным управлением.

Зигзагообразная схема может иметь несколько разновидностей, связанных с порядком обработки границ: без обхода границ (рис. 6.19, *а*); с проходом вдоль границ в конце обработки области (рис. 6.19, *б*); с предварительным проходом вдоль границ (рис. 6.19, *в*).

Предварительная прорезка границ обеспечивает симметрию резания для инструмента в процессе выполнения этого прохода, а также облегчает условия работы инструмента при последующей обработке в начале и в конце каждой строки. Однако при этом ухудшаются прочностные условия, так как инструмент работает на полную глубину на участке траектории прорезки. Последующая зачистка границ облегчает условия работы, но ухудшает динамику обработки, поскольку инструмент работает с переменной глубиной резания. По этой причине при использовании схемы 1ЗИГЗАГ (рис. 6.19, *б*), как правило, вдоль границы следует оставлять припуск на последующую обработку.

Спиралевидный метод отличается от зигзагообразного тем, что обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершаемыми вдоль внешней границы области на разном расстоянии от нее. Спиралевидная схема выгодно отличается от зигзагообразной более плавным характером обработки. Она обеспечивает неизменное направление фрезерования (по или против подачи) и не дает дополнительных (кроме имеющихся на контуре) изломов траектории.

Спиралевидная схема имеет две основные разновидности, одна из которых характеризуется движением инструмента от центра области к периферии (рис. 6.19, *г*), а другая, наоборот, от границы области к ее центру (рис. 6.19, *д*). При использовании этих разновидностей следует иметь в виду, что при обработке колодцев с тонким дном на деталях из легких сплавов возможен

подрыв дна в конце обработки по схеме от периферии к центру.

Для того чтобы обеспечить необходимый характер фрезерования при правом и левом направлениях вращения шпинделя станка, каждая из описанных разновидностей спиралевидной схемы имеет два типа: с движением инструмента в направлении по или против часовой стрелки при наблюдении со стороны шпинделя (обозначается соответственно ЧС и ПЧС).

Выдержать одинаковый характер фрезерования можно также с помощью схемы *Ш-образного типа*. Согласно этой схеме, инструмент после выполнения прохода вдоль строки отводится на небольшое расстояние от обработанной поверхности и на ускоренном ходу возвращается назад. Ш-образная схема (рис. 6.19, *е—з*) может иметь такие же разновидности (ШТИП, 1ШТИП, 2ШТИП), как и зигзагообразная. Существенный недостаток этой схемы — большое число вспомогательных ходов.

Способ врезания инструмента в металл. Важным моментом при программировании фрезерной обработки областей является врезание инструмента в металл.

Наиболее простой способ — врезание с подачей вдоль оси инструмента. Однако этот метод неприемлем для фрез, имеющих технологические центровые отверстия. Для остальных типов фрез он также неэффективен, поскольку фрезы плохо работают на засверливание. Использовать этот метод наиболее удобно при предварительной обработке места врезания сверлом (рис. 6.20, *а*).

Наиболее технологичным способом является врезание при движении инструмента вдоль одной из строк с постепенным его снижением (СПУСК). Схема СПУСК может также осуществляться при движении инструмента по окружности или вдоль границы обрабатываемой области [17].

В случае чистовой обработки контуров, как правило, врезание осуществляют по дуге окружности, касательной к контуру в точке, с которой должно быть начато движение инструмента вдоль контура. Такой метод обеспечивает наиболее плавное изменение сил резания и минимальную погрешность обработки в упомянутой точке, он также наиболее удобен с точки зрения ввода в УП коррекции на радиус инструмента (рис. 6.20, *б*).

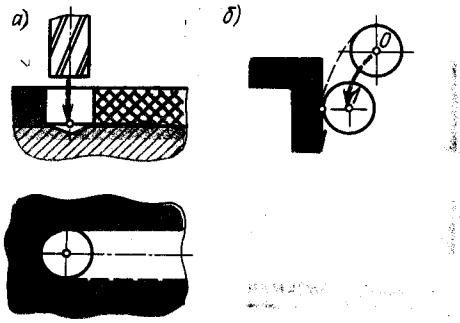


Рис. 6.20. Схемы врезания фрезы в металл: *а* **— ЗАСВ;** *б* **— КАС**

Расстояние между соседними проходами фрезы. Для построения траектории инструмента при черновых переходах важен вопрос о назначении расстояния между соседними проходами, так как оно определяет глубину резания. Максимально допустимое значение этого расстояния (см. рис. 6.19, *а*) зависит от геометрических параметров применяемого инструмента:

$$t_{max} = D - 2r - h, \qquad (6.17)$$

где D — диаметр фрезы; r — радиус скругления у торца; h — перекрытие между проходами (рис. 6.19, *д*), обеспечивающее отсутствие гребешков.

Выбор инструмента для фрезерной обработки

Последовательность выбора инструмента для фрезерования показана на рис. 6.21.

Тип фрезы выбирают, как правило, в зависимости от схемы обработки (см. рис. 6.18, 6.19). Для обработки плоскостей используют торцовые фрезы, для обработки контуров — концевые. Однако в ряде случаев плоскости также обрабатывают концевыми фрезами, ко-

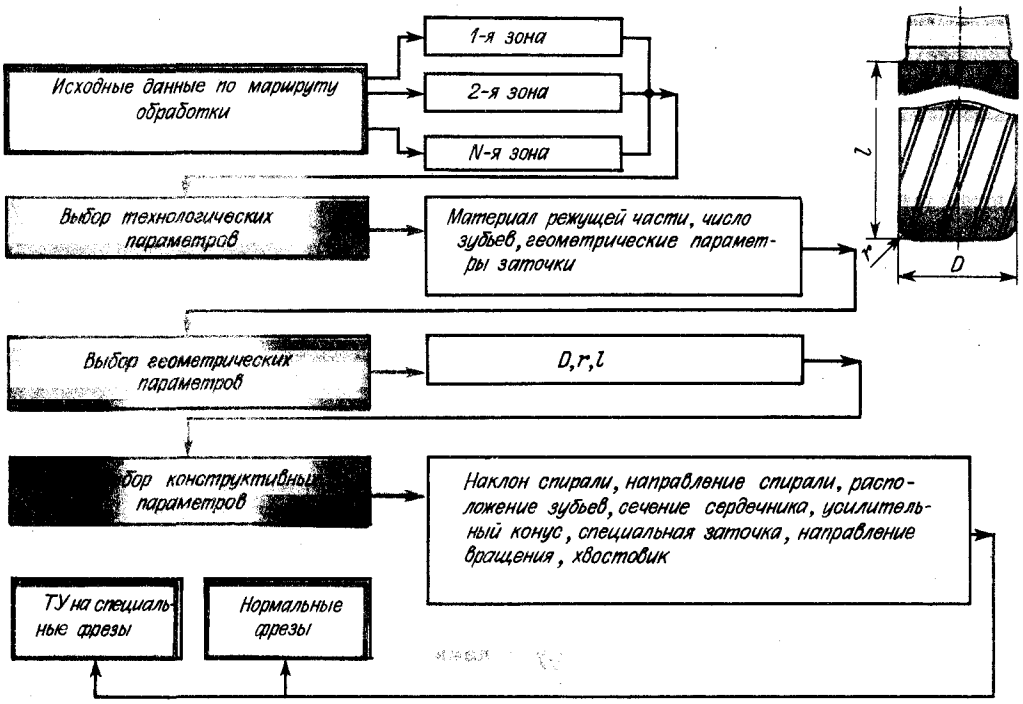


Рис. 6.21. Этапы выбора фрез

торые наиболее употребительны при фрезерной обработке на станках с ЧПУ.

Основные параметры фрез при выбранном материале режущей части: наружный диаметр фрезы D, длина рабочей части l, число зубьев z и радиус r.

При *обработке открытых плоских областей конфигурации детали* не накладывают ограничений на выбор диаметра фрезы. С увеличением диаметра фрезы растет производительность обработки. Поскольку стойкость фрез с ростом их диаметра тоже увеличивается, то выбор инструмента с большим диаметром обеспечивает не только наиболее производительную, но и более экономичную обработку.

При *торцовой обработке ребер* диаметр фрезы целесообразно назначать из условия $D=(5\div 10)\,b+2r$, где b — окончательная толщина стенки ребра; r — радиус закругления у торца инструмента.

При *обработке контуров*, а также *полуоткрытых, закрытых и комбинированных областей* максимальный диаметр фрезы ограничивается наименьшим радиусом, образующим вогнутость на контуре.

При *чистовой обработке внутренних радиусов сопряжения* на контуре инструментом, радиус которого равен радиусу контура, глубина фрезерования скачкообразно возрастает от значения, равного припуску на чистовую обработку δ_1 (десятые или сотые доли диаметра фрезы D_{max}) до значения t_{max} (рис. 6.22), сравнимого с D_{max}. При этом равнодействующая сил резания резко возрастает по величине и изменяет свое направление, вызывая отжим инструмента при фрезеровании в направлении подачи и его «подхват», приводящий к подрезу контура, при фрезеровании в направлении против подачи. Во избежание этого необходимо стремиться к постоянству числа одновременно работающих зубьев фрезы. Поэтому при чистовой обработке контура желательно выбирать такой инструмент, чтобы его радиус был меньше, чем минимальный радиус, образующий вогнутость на контуре.

При назначении диаметра инструмента для *черновой обработки внутренних радиусов сопряжения* желательно, чтобы оставляемый во внутренних углах контура припуск не превышал $(0{,}15 \div 0{,}25)\,D$, где D — диаметр инструмента, применяемого на чистовом переходе. Исходя из этого условия наибольший возможный диаметр фрезы для чернового перехода (рис. 6.22)

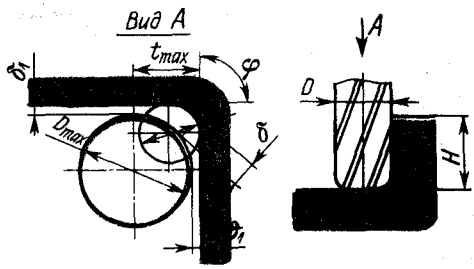


Рис. 6.22. К выбору диаметра фрезы

$$ns^{y_v} = 318 C_v d^{z_v - 1} k_v \left(T^m t^{x_v} z^{n_v} B^{r_v}\right)^{-1}, \qquad (6.15)$$

где δ — максимальный припуск при обработке внутреннего угла; δ_1 — припуск на чистовую обработку контура; φ — наименьший внутренний угол на контуре; D — диаметр окружности, скругляющей внутренний угол на контуре.

Для обеспечения жесткости инструмента желательно, чтобы его диаметр удовлетворял условию $H \leqslant 2{,}5D$, где H — максимальная высота стенки обрабатываемой детали (рис. 6.22). Если это условие не выполняется, то выбирают фрезу с ближайшим бо́льшим типовым диаметром. Иначе обработку производят за несколько переходов.

Длина режущей части инструмента для обработки *полуоткрытых* и *закрытых областей* $L = H + (5 \div 7)$, а для обработки *наружных* и *внутренних открытых контуров* $L = H + r + 5$, где r — радиус скругления у торца фрезы.

В ряде случаев к фрезам предъявляют особые требования, для выполнения которых проектируют специальный инструмент [25].

Выбор параметров режима резания при фрезеровании

Основное, или технологическое, время при фрезеровании, определяющее производительность перехода,

$$T_{рез} = L_\Sigma / (s_z z n), \qquad (6.19)$$

где L_Σ — суммарная длина рабочих ходов, мм; s_z — подача инструмента на один зуб, мм/зуб; z — число зубьев фрезы; n — частота вращения шпинделя, об/мин.

Длина рабочих ходов. Точное значение суммарной длины рабочих ходов L_Σ может быть определено в результате расчета УП. Здесь будем пользоваться приближенной оценкой величины L_Σ, позволяющей в наиболее простой форме выявить интересующие нас качественные закономерности.

Для *зигзагообразных* схем обработки величина L_Σ может быть приближенно определена по следующим формулам:

для схемы без обхода границ

$$L_\Sigma \approx F/t + 0{,}5P; \qquad (6.20)$$

для схем с проходом вдоль границ

$$L_\Sigma \approx F/t + 1{,}5P, \qquad (6.21)$$

где F — площадь обрабатываемой области, мм^2; P — периметр этой области, мм; t — глубина фрезерования, мм.

Площадь обрабатываемой области определяют исходя из площади обрабатываемой поверхности детали:

$$F \approx F_к - KR_и, \qquad (6.22)$$

где $F_к$ — площадь обрабатываемой поверхности детали; K — длина границ закрытого типа; $R_и$ — радиус цилиндрической поверхности фрезы.

Для *спиралевидных* схем

$$L_\Sigma \approx F_к/t + A, \qquad (6.23)$$

где A — величина, учитывающая длину перемещений от одного хода к другому. В качестве верхней оценки величины A можно использовать радиус описанной окружности для данной обрабатываемой области.

Скорость резания. Частоту вращения шпинделя определяют по скорости резания v и наружному диаметру инструмента D:

$$n = 10^3 v/(\pi D).$$

Скорость резания должна быть найдена заранее в зависимости от диаметра инструмента D, принятой стойкости фрезы T, ее конфигурации и материала режущей части, числа зубьев фрезы z, глубины t и ширины B резания, подачи на зуб s_z, рода обрабатываемого материала и его физико-механических свойств, условий обработки и т. п. Для определения скорости резания при фрезеровании может быть предложена следующая формула [17, 62]:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x s_z^y B^u z^p} K_v,$$

где C_v — коэффициент скорости резания, характеризующий нормативные условия работы; K_v — суммарный поправочный коэффициент, учитывающий качество обрабатываемого материала, состояние поверхности заготовки, материал инструмента; m, x, y, u, p, q — показатели степеней соответствующих параметров [62].

Подача. Подачу на зуб для каждого рабочего хода выбирают минимальной из четырех возможных:

$$s_z = \min [s_{z1}, s_{z2}, s_{z3}, s_{z4}],$$

где s_{z1} — подача, определяемая по заданной шероховатости в зависимости от припуска при глубине резания t и ширине B; s_{z2} — подача, зависящая от допускаемого отжима $[\Delta]$ инструмента (фреза диаметром D с длиной режущей части l); s_{z3} — подача, определяемая как функция прочности инструмента; s_{z4} — подача, допустимая по мощности электродвигателя привода главного движения.

Подачи могут быть найдены по следующим формулам [17]:

$$s_{z1} = C_1 D t^{-0,5} B^{-0,2}; \qquad (6.25)$$

$$s_{z2} = C_2 \left(\frac{[\Delta]\, D_1^4}{Bz\,(4l+B)\,(2l+B)^2}\right)^{1,35} \left(\frac{D}{t}\right)^{1,16}; \qquad (6.26)$$

Таблица 6.7. Коэффициенты для определения подач при фрезеровании

Обрабатываемый материал	C_1	C_2
Легкие цветные сплавы	0,024	$4{,}65 \cdot 10^4$
Сталь	0,008	$0{,}70 \cdot 10^4$

Обрабатываемый материал	C_3	C_4
Легкие цветные сплавы	$0{,}90 \cdot 10^{-12}$	$1{,}2 \cdot 10^6$
Сталь	$0{,}14 \cdot 10^{-12}$	$0{,}2 \cdot 10^6$

$$s_{z3} = C_3 \left(\frac{[\sigma]\, D_1^3}{Bz\sqrt{4k^2 l^2 + D^2}}\right)^{1,35} \left(\frac{D}{t}\right)^{1,16}; \qquad (6.27)$$

$$s_{z4} = C_4 \left(\frac{N_{дв}\eta}{Bzn_0}\right)^{-1,35} D^{-0,19} t^{-1,16}. \qquad (6.28)$$

Здесь C_1, C_2, C_3, C_4 — коэффициенты, зависящие от обрабатываемого материала (табл. 6.7); D_1 — приведенный диаметр сечения фрезы, мм, т. е. диаметр такого круга, осевой момент инерции которого равен моменту инерции сечения фрезы; $[\sigma]$ — допускаемое напряжение в наиболее опасной точке сердцевины фрезы, вызванное совместным действием деформации изгиба и кручения, Па; k — коэффициент, равный 0,6 при обработке легких сплавов и 0,8 при обработке сталей; η — КПД привода главного движения; z — число зубьев фрезы, находящихся в контакте с поверхностью резания; n_0 — округленная по паспортным данным станка частота вращения шпинделя.

В случае, если при фрезеровании существуют какие-либо ограничения, рабочую подачу выбирают на основе анализа конкретных условий обработки. При таком анализе следует учитывать, что суммарная длина рабочих ходов инструмента L_Σ, определяющая время обработки, а следовательно, и производительность, зависит от принятой глубины резания t на рабочих ходах, от принятой ширины фрезерования B, параметров режущего инструмента D, l и r. В свою очередь, производительность фрезерования можно охарактеризовать скоростью съема обрабатываемого мате-

риала в единицу времени: $Q = s_z z n t B$ (мм^3/мин). Как видим, при заданном инструменте (число зубьев z) и частоте вращения n шпинделя скорость съема припуска будет функцией подачи s_z, глубины t и ширины B фрезерования.

Достаточно сложная взаимосвязь входных данных, определенная ограничениями подач s_{zi}, требует оптимизации выбора параметров режимов резания при фрезеровании. Задачей оптимизации является сведение к минимуму следующих показателей: единичной стоимости операции; технологического времени обработки; единичной стоимости операции при обеспечении необходимой шероховатости поверхности и требуемых размеров обработанных деталей.

Оптимизация параметров резания

Программный выбор оптимальных условий фрезерования предусматривает два вида этой обработки [17, 58]:

1) черновую, для которой не уточняют требования, относящиеся к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности;

2) чистовую, для которой предусматривают возможность обработки по квалитетам 12—14; 8—9 и 7—8 с обеспечением параметра шероховатости R_a, равного соответственно 5; 2,5; 1,25 мкм.

Зависимости и ограничения здесь такие же, как и в случае токарной обработки, но при этом учитывается специфика фрезерования.

Программы выбора и оптимизации параметров режимов резания могут быть различными [5, 17, 58], но во всех случаях для программирования требуются определенные входные данные:

R — тип инструмента (цилиндрические фрезы, концевые, торцовые и т. д.);
D — диаметр инструмента, мм;
z — число зубьев фрезы;
t — глубина резания, мм;
B — ширина фрезерования, мм;
R_{m0} — материал инструмента;
R_{ms} — род обрабатываемого материала;
R_m — прочность материала, МПа;
НВ — твердость материала, МПа;
S_{mm} — состояние материала;
t_{IT} — квалитет точности;
h — шероховатость R_a, мкм;
L_Σ — длина фрезерования;
RS — вид фрезерования.

Выходные данные:
$s_{мин}$ — подача, мм/мин;
n — частота вращения, об/мин;
$t_{маш}$ — машинное время, мин.

Особенности объемного фрезерования

При объемном фрезеровании управление перемещением инструмента непрерывно осуществляется минимум по трем координатам одновременно. Чаще всего для объемного фрезерования используют фрезы со сферическим концом радиусом $\rho_и$ (рис. 6.23). При этом достаточную сложность представляет определение траектории движения инструмента, начиная от точки его касания с обрабатываемой поверхностью (точка P). Прежде всего в соответствии с принятой схемой рассчитывают расположение инструмента при выполнении двух соседних проходов. При заданных типах и параметрах обрабатываемой поверхности и инструмента это расположение, а следовательно, и глубина фрезерования определяются допустимой высотой гребешка, остающегося на обрабатываемой поверхности между проходами. Эту высоту часто называют допуском на оребрение ($\Delta_{ор}$).

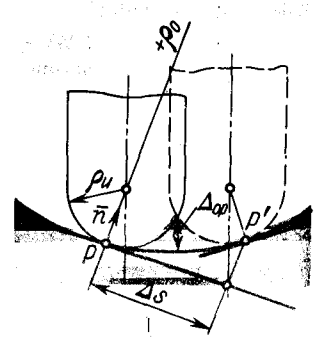


Рис. 6.23. Схема расчета взаимного расположения инструмента при выполнении соседних проходов объемной обработки вогнутой поверхности

При работе инструмент касается обрабатываемой поверхности в некоторой точке P в соответствии с нормальным вектором $\bar{n}$ и мгновенным радиусом кривизны обрабатываемой поверхности $+\rho_0$, определенным в зависимости от положения касательной в рассматриваемой точке. Для следующего хода инструмент смещается в положение, где он соприкасается с поверхностью в точке P'. Если принять обычные для практики соотношения $\Delta_{op} \approx 0{,}01\rho_и$ и $\Delta_{op} < (0{,}01 \div 0{,}001)\,\rho_0$, то подачу Δs на строку можно определить, задаваясь допуском на оребрение [17]:

$$\Delta s = [8\Delta_{op}/(1/\rho_и - 1/\rho_0)]^{1/2}. \qquad (6.29)$$

Дальнейшие расчеты объемного фрезерования связаны с определением траектории инструмента. Для этого могут быть использованы различные математические методы, в частности: метод анализа границ; метод, основанный на теории дискретной геометрии, позволяющий получить цифровое изображение поверхности, и др. [17, 52].

Пятикоординатная фрезерная обработка

Пятикоординатное фрезерование на станках с ЧПУ характеризуется тем, что в процессе обработки поверхность резания инструмента совершает в пространстве относительно детали перемещения наиболее общего вида — винтовые, в противоположность поступательным при обычной трехкоординатной объемной обработке.

Под поверхностью резания при программировании фрезерной обработки понимают поверхность, ограничивающую объем пространства, заполняемый вращающимся инструментом. Эта поверхность рассматривается в качестве модели инструмента при геометрических расчетах.

Пятикоординатную фрезерную обработку принято относить к числу специализированных технологических процессов, потому что применение ее необходимо или оправдано лишь для ограниченного круга машиностроительных деталей.

В пятикоординатном фрезеровании можно выделить два основных направления: обработку поверхностей торцовой или боковой частью инструмента (в тех случаях, когда применение обычной объемной обработки невозможно или неэффективно) и обработку поверхностей только боковой частью инструмента. В первом варианте контакт поверхности резания инструмента с обрабатываемой поверхностью, как правило, точечный (в исключительных случаях плоскостный), а во втором — линейный.

Особенности пятикоординатной обработки рассмотрены в специальной литературе [17].

6.5. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ

В производстве часто встречаются сложные корпусные детали, требующие обработки с шести сторон. Если детали имеют наклонные плоскости, то число сторон увеличивается до 10 и более. На каждой из сторон имеются выступы, карманы, пазы, направляющие, ребра и другие конструктивные элементы, т. е. каждая сторона корпуса — поверхность, имеющая несколько уровней по глубине, каждый уровень имеет сложный контур. На каждой стороне расположено определенное число основных и крепежных отверстий: гладких, ступенчатых, конических и резьбовых, разных размеров, глубины и точности. Часто требуется обработка внутренней полости корпусной детали, в которой имеются перемычки, стенки, ребра жесткости, карманы. В обычных условиях это требует разработки сложной технологии, предусматривающей значительное число фрезерных, сверлильных и расточных операций. При этом тяжелый и громоздкий корпус необходимо транспортировать от одного станка к другому, многократно устанав-

ливать его на станке, выверять и закреплять, проектировать средства механизации для подъемно-транспортных работ. При такой работе машинное время обычно не превышает 30 % штучного времени, а остальную его часть занимают тяжелые вспомогательные операции и переходы.

Многоцелевые станки (МС) позволяют совместить операции фрезерования прямолинейных и криволинейных поверхностей, центрования, сверления, рассверливания, зенкерования, развертывания, цекования, растачивания, раскатывания и накатывания отверстий, нарезания резьбы (метчиками, плашками, резцовыми головками, резцами), круговое фрезерование наружных и внутренних цилиндрических, конических и фасонных поверхностей и круговых пазов концевыми и дисковыми фрезерами.

Для достижения высокой эффективности МС всю обработку заготовок стремятся выполнять на одном станке за один-два установа. Но приходится считаться с опасностью искажения формы обработанных деталей вследствие перераспределения остаточных напряжений, имеющихся в исходной заготовке. В этих случаях технологический процесс разделяют на операции черновой (обдирочной) и последующей обработки. Черновую обработку выполняют на мощных, особо жестких станках (с ЧПУ или универсальных), и детали направляют на термообработку для снятия внутренних напряжений. Дальнейшую механическую обработку выполняют на многооперационном станке.

Особенности обработки различных элементов контура детали. *Плоскости* фрезеруют торцовыми и концевыми фрезами с твердосплавными многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП). Обычно это делают в два перехода. Первый — черновое фрезерование при больших припусках целесообразно выполнять торцовыми фрезами, последовательными проходами вдоль обрабатываемой поверхности. Ширину поверхности, обрабатываемой за один рабочий ход инструмента, а следовательно, и диаметр фрезы выбирают такими, чтобы отжим инструмента не сказывался на точности чистового перехода. Поэтому при неравномерном большом припуске диаметр фрезы приходится уменьшать. Для чистового перехода стремятся использовать фрезу, диаметр которой позволяет захватить всю ширину обработки.

Для получения особо мелкой шероховатости поверхности при малых припусках применяют торцовые фрезы с пластинами из эльбора и минералокерамики.

Концевыми фрезами открытые плоскости обрабатывают реже, главным образом тогда, когда эту же фрезу используют для фрезерования других поверхностей (уступов, пазов), чтобы уменьшить номенклатуру применяемых инструментов.

Пазы, окна и уступы обычно обрабатывают концевыми фрезами, оснащенными твердосплавными пластинами.

Для повышения точности обработки по ширине паза и сокращения номенклатуры инструментов диаметр фрезы принимают несколько меньшим паза. Обработку выполняют последовательно: сначала фрезеруют среднюю часть паза, затем обе стороны, используя возможность получения высокой точности паза по ширине за счет введения коррекции на радиус фрезы. В конце цикла коррекцию отменяют.

Для повышения стойкости, улучшения условий отвода стружки при обработке глухих пазов применяют концевые фрезы с увеличенным углом наклона спирали и полированными канавками. Для облегчения врезания с осевой подачей применяют фрезу с особой заточкой торцовых зубьев. Повышенной жесткостью обладает конструкция фрезы с усиленной сердцевиной конической формы и переменной глубиной канавок. При увеличенных вылетах фрезы, обусловливаемых конфигурацией заготовки, используют фрезы с усилительным конусом. Уменьшение вибрации достигается у фрез с тремя и четырьмя зубьями благодаря различному расстоянию между ними (разношаговые фрезы).

Круговое фрезерование — новая операция, которая стала возможной с появлением фрезерных и многоцелевых

станков с ЧПУ. Отверстия в корпусных деталях всегда обрабатывались растачиванием. На станке с ЧПУ они могут быть обработаны фрезерованием. Для этого фрезе сообщают круговую подачу. Если обозначить время фрезерования $t_ф$, а время растачивания $t_р$, то производительность кругового фрезерования будет выше производительности растачивания, если выполняется соотношение $t_ф/t_р < 1$. Величины $t_ф$ и $t_р$ могут быть рассчитаны по известным формулам [17].

Как показывает анализ данных по построению ТП на фрезерные операции, в современных условиях круговому фрезерованию отдается предпочтение во всех случаях, когда этот процесс возможен к применению. Ограничениями являются лишь глубина отверстия (она ограничена длиной обычных концевых фрез и составляет 60—80 мм), его диаметр и точность обработки. Следует отметить, что особенно успешно используется круговое фрезерование для предварительной обработки отверстий в литых заготовках (для снятия чернового припуска).

Обработка отверстий — самый распространенный вид технологических переходов на МС. Среди них сверление и нарезание резьбы в крепежных отверстиях под болты, винты и шпильки; сверление, зенкерование, развертывание, растачивание точных посадочных отверстий — гладких и ступенчатых; обработка отверстий в литых деталях.

Соосные отверстия в противолежащих стенках корпусных деталей обрабатывают на МС консольно закрепленными инструментами, последовательно, с поворотом заготовки вместе со столом станка на 180°. Достигаемая соосность зависит от точности делительного стола. Погрешность деления не должна превышать половины поля допуска на отклонение взаимного расположения отверстий по чертежу детали. Для увеличения жесткости шпиндельного узла отверстия стремятся растачивать с постоянным вылетом шпинделя, за счет перемещения стола или стойки станка. Дело в том, что жесткость выдвижной пиноли в десятки раз меньше жесткости шпиндельной бабки. Поэтому на МС с выдвижной пинолью шпинделя приходится снижать параметры режимов резания, чтобы получить высокую точность обработки. Только при изготовлении особо точных корпусных деталей окончательную обработку наиболее важных отверстий завершают отдельной операцией, на прецизионных расточных станках.

При обработке отверстий *осевым инструментом*, если требования к точности невысоки, операции выполняют в следующей последовательности: сначала обрабатывают все отверстия одним инструментом, затем следующим (при условии, что смена инструмента на данном станке требует больше времени, чем позиционирование стола). Если требования к точности диаметров и формы отверстий высокие, их стремятся обрабатывать полностью по отдельности, со сменой инструментов у каждого отверстия и с перемещением шпинделя только по оси Z. В противном случае погрешность обработки будет увеличиваться за счет погрешности позиционирования.

Для сокращения времени сверления *спиральными сверлами* и повышения стойкости инструментов используют быстрое автоматическое изменение режима резания. После ускоренного подвода сверла к заготовке включают рабочую подачу, а когда бóльшая часть отверстия будет просверлена, подачу уменьшают во избежание поломки инструмента из-за скачкообразного изменения нагрузки при выходе сверла из отверстия. Если имеется литейная корка на входе в отверстие или выходе из него, на этих участках предусматривают в программе уменьшение частоты вращения шпинделя.

В связи с тем, что на МС при сверлении, как правило, не используют кондуктор, широко применяют засверливание отверстий короткими жесткими сверлами — своеобразную разметку расположения будущих отверстий. При работе по литейной корке это позволяет решить и другие задачи: облегчить врезание и повысить стойкость сверл небольшого диаметра и вместе с тем снять фаску на входе в отверстие, если она предусмотрена чертежом. Засверливание

целесообразно применять для обработки отверстий диаметром до 8—15 мм в деталях из черных металлов.

Для обработки *отверстий в корпусных заготовках* весьма эффективным оказалось применение инструментов, предназначавшихся раньше только для сверления глубоких отверстий, например двухкромочных сверл с механическим креплением трехгранных твердосплавных пластин. Использование таких сверл наряду с делением припуска по ширине среза и внутренним подводом СОЖ позволяет в три-пять раз повысить эффективность резания по сравнению с обычными спиральными сверлами. Конструкции сверл различны (см. гл. 4).

Большие возможности повышения производительности при обработке отверстий заключаются в использовании *комбинированных инструментов* разных типов [25, 56, 62, 73]. Например, если отверстие в исходной заготовке отсутствует, можно использовать инструмент, сочетающий сверло и зенкер. Применяют и трехступенчатые инструменты, в которых передняя часть (первая ступень) изготовлена из инструментальной стали, а вторая и третья части, работающие с более высокими скоростями резания, оснащены твердосплавными пластинами. Такой инструмент работает по ранее просверленному отверстию. В зависимости от формы, размеров и расположения твердосплавных пластин вторая и третья ступени могут иметь различное назначение [25, 62].

Выбор плана операций. Большое число обрабатываемых поверхностей, наличие черновых, получистовых и чистовых проходов при обработке каждой поверхности, значительное число инструментов в магазине усложняют выбор плана операций обработки детали на многоцелевом МС. Возникает задача выбора такого варианта, который будет наиболее эффективен. Возможностей при выборе плана операций достаточно много. Можно, например, сначала деталь полностью обработать с одной стороны, затем развернуть ее; можно сначала обработать деталь со всех сторон начерно, затем приступить к чистовой обработке; можно сначала обработать все плоскости, затем приступить к обработке отверстий. Для деталей с соосными отверстиями целесообразна последовательная обработка с двух противоположных сторон и т. д.

Конкретное решение задачи должно учитывать значительное число разнообразных факторов. Есть несколько общих принципов, которыми следует руководствоваться при этом: чем выше точность элемента конструкции, тем позже следует предусматривать его обработку; сначала следует планировать черновую обработку, затем чистовую; чем меньше время срабатывания исполнительного органа (смена инструмента, поворот стола и др.), тем чаще этот орган должен функционировать. Наибольшая точность обработки достигается при обработке детали с одного установа. Для деталей с большими припусками должны быть предусмотрены разгрузочные операции, часть которых целесообразно выполнять на универсальном или специализированном оборудовании.

При выборе плана операций обработки деталей на многоцелевых станках прежде всего целесообразно использовать типовые схемы обработки, рекомендуемые соответствующими нормативными документами [62, 69, 74, 78]. Обычно эти документы предлагают последовательность переходов операций в зависимости от типа детали и заготовки, от вида обрабатываемых поверхностей и их точности и т. д.

Пример 1. Содержание и последовательность переходов при обработке на многоцелевом станке детали «крышка» (рис. 6.24):

1) черновое фрезерование верхней плоскости (зона *А*); фреза торцовая *1* — с СМП диаметром 200 мм;

2) чистовое фрезерование зоны *А*; фреза торцовая *2* — с СМП и подчистным ножом диаметром 200 мм;

3) фрезерование наружного контура (зона *Б*); фреза концевая *3* — твердосплавная диаметром 40 мм;

4) черновое фрезерование выемки 210×130 мм по контуру (зона *В*); фреза концевая *3* — твердосплавная диаметром 40 мм;

5) чистовое фрезерование зоны *В*; фреза концевая *4* — быстрорежущая диаметром 20 мм;

6) фрезерование бокового паза 20×10×180 мм (зона *Г*); фреза дисковая *5* — пазовая быстрорежущая диаметром 70 мм;

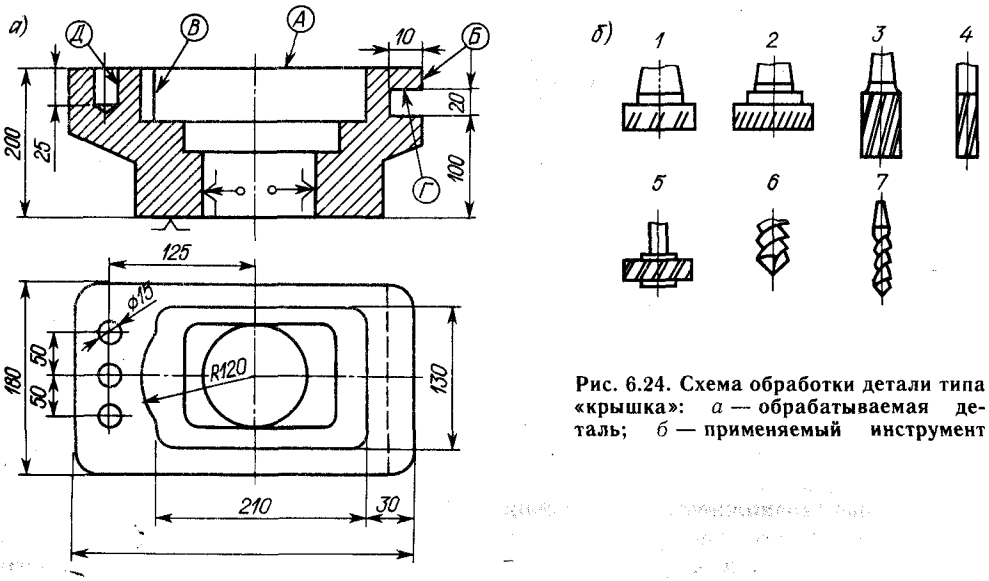


Рис. 6.24. Схема обработки детали типа «крышка»: *а* **— обрабатываемая деталь;** *б* **— применяемый инструмент**

7) центрование трех отверстий диаметром 15 мм (зона *Д*); сверло *6* — быстрорежущее диаметром 25 мм;

8) сверление трех отверстий диаметром 15 мм (зона *Д*); сверло *7* — быстрорежущее диаметром 15 мм.

Пример 2. Содержание и последовательность переходов при обработке на многоцелевом станке детали «корпус» (рис. 6.25):

1) фрезерование верхней плоскости (зона *А*); фреза торцовая *1* — с СМП;

2) фрезерование верхнего уступа (зона *Б*); фреза торцовая *2* — со вставными ножами с прямым углом;

3) фрезерование нижнего уступа (зона *В*); фреза торцовая *2* — со вставными ножами с прямым углом;

4) фрезерование боковой поверхности

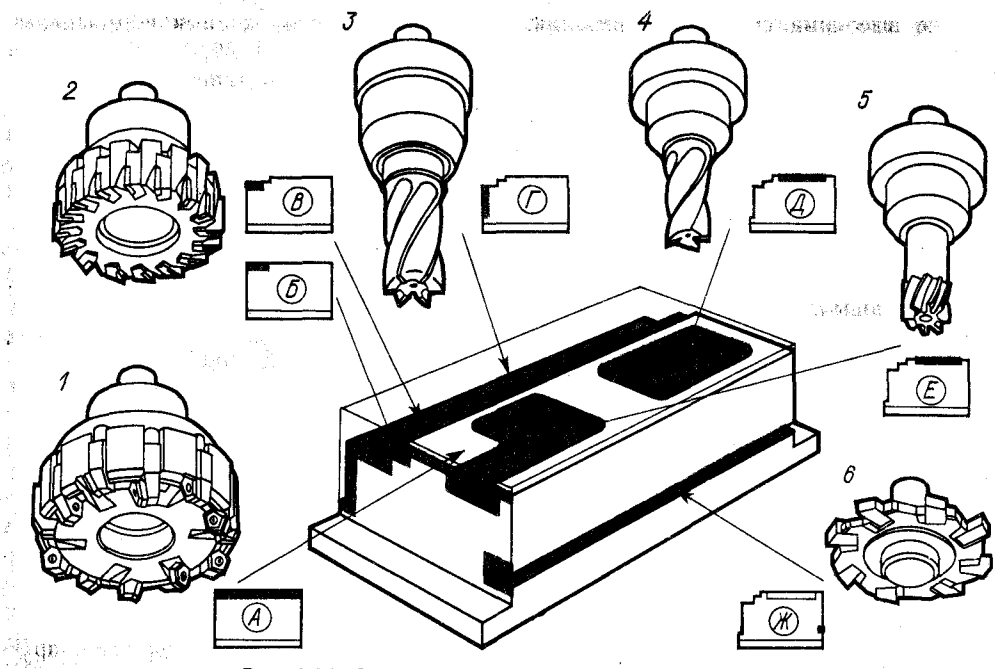


Рис. 6.25. Схема обработки детали типа «корпус»:

1—6 — применяемый инструмент

(зона *Г*); фреза концевая *3* — быстрорежущая;

5) фрезерование окна (зона *Д*); фреза концевая *4* — быстрорежущая с торцовыми зубьями;

6) фрезерование контурной выемки (зона *Е*); фреза концевая *5* — твердосплавная;

7) фрезерование продольного паза (зона *Ж*); фреза дисковая *6* — пазовая с твердосплавными вставными ножами.

6.6. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

Технологические процессы и управляющие программы разрабатывают на основе разнообразной информации, носителем которой является технологическая документация.

Технологической документацией называется комплекс текстовых и графических документов, определяющих в отдельности или в совокупности технологический процесс изготовления изделия и содержащих данные, необходимые для организации производства.

Государственными стандартами установлена Единая система технологической документации (ЕСТД), в которой определены правила ее разработки, оформления и комплектации, применяемые всеми машиностроительными и приборостроительными предприятиями. Основное назначение стандартов ЕСТД — унификация обозначений и последовательности размещения однородной информации в формах документов, разрабатываемых для работ различных видов.

Стандарты предписывают не только форму бланков, но и характер записи, термины и определения, условные обозначения и др.

Технологическую документацию, используемую при разработке технологических процессов (ТП) и подготовке УП можно разделить на *справочную* и *сопроводительную*. Сопроводительную документацию составляют при выполнении того или иного этапа работ, она может быть исходной для следующих этапов.

Справочная документация. В состав справочной документации входят классификаторы деталей по конструкторско-технологическим признакам; типовые технологические процессы; каталоги и картотеки универсальных станков и станков с ЧПУ, режущего, вспомогательного и измерительного инструмента, приспособлений и обрабатываемых материалов; нормативы режимов резания; таблицы допусков и посадок; инструкции по расчету, кодированию, записи, контролю и редактированию УП; методические материалы по определению экономической эффективности обработки на станках с ЧПУ.

Ряд справочных данных, используемых при разработке ТП на станках с ЧПУ в условиях реального предприятия, удобно представлять на специально разработанных картах, составляющих вместе специализированную тематическую картотеку.

Карта станка с ЧПУ предназначена для записи его краткой технической характеристики. Формы этих карт разработаны для отдельных технологических групп станков. В карту оборудования с ЧПУ для конкретного станка записывают: модель и инвентарный номер станка; тип устройства ЧПУ; технологическую группу и назначение станка; наибольшие габаритные размеры обрабатываемых заготовок; число программно-управляемых координат, в том числе управляемых одновременно; исходные положения и предельные перемещения рабочих органов станка; число позиций инструмента и размеры, определяющие положение его державок; мощность и КПД двигателя привода главного движения; частоты вращения шпинделя по диапазонам и соответствующие им допустимые крутящие моменты; допустимые силы на привод подач; дискретность задания перемещений; скорости рабочих подач и быстрых ходов; продолжительность смены инструмента; экономическую точность станка и стоимость работы станка в течение 1 мин.

В карте станка с ЧПУ приводят схематический чертеж, на котором указывают обозначения осей координат и положительные направления перемещений рабочих органов.

Карта режущего инструмента предназначена для записи всех необходимых для программирования данных об ин-

струменте. Формы карт разработаны для отдельных групп инструментов: резцов, фрез, сверл и других инструментов для обработки отверстий. В карту записывают: тип и назначение инструмента; характер обработки; шифр инструмента, содержащий коды режущей части, державки и станка, в комплект которого входит данный инструмент; координаты вершины инструмента относительно базовой точки его державки; настроечные размеры, определяющие положение инструмента в приспособлении при его настройке вне станка; материал режущей части; предельные глубины резания и врезания; признак формы передней грани; радиус закругления при вершине; длину режущей части; главный и вспомогательный углы в плане; углы наклона режущей кромки; рекомендуемые глубину резания, скорость резания и подачу; допустимый износ; число переточек или граней неперетачиваемых пластинок; стоимость нового инструмента.

В карте режущего инструмента приводят эскиз, поясняющий расположение вершины инструмента и ориентацию его режущей части. На эскизе показывают также возможные направления движения инструмента на рабочей подаче.

Карту крепежной оснастки при обработке на станках токарной группы используют в основном для записи размеров патрона и зажимных кулачков, необходимых для определения положения заготовки относительно шпиндельного узла станка. В карту крепежной оснастки записывают: шифр патрона, определяющий его принадлежность к конкретному станку; расстояния между опорными поверхностями кулачков и базовой плоскостью шпинделя; предельные диаметральные размеры рабочих поверхностей кулачков; твердость кулачков и наибольшее усилие зажима. В карте приводят эскиз патрона с кулачками, установленными для зажима наружных и внутренних поверхностей заготовки, с обозначением записываемых в карте размеров.

Аналогично составляют карты для тисков, координатных плит, универсальных сборных приспособлений и специальной зажимной оснастки, используемой при обработке на сверлильных, фрезерных и других станках с ЧПУ.

Карта обрабатываемого материала предназначена для записи технологических параметров, используемых при выборе режимов резания. Основной характеристикой обрабатываемого материала служит зависимость между скоростью резания и стойкостью инструмента. Коэффициенты и показатели степени этой зависимости вносят в соответствующие графы формы. Обрабатываемые материалы систематизируют по группам (углеродистые и легированные конструкционные и инструментальные стали, коррозионно-стойкие жаропрочные стали, чугуны, алюминиевые и бронзовые сплавы и т. п.), в пределах которых они различаются коэффициентами обрабатываемости и поправочными коэффициентами, учитывающими материал режущего инструмента. В наибольшем объеме содержание карт обрабатываемых материалов используют при машинном программировании.

Сопроводительная документация. Сопроводительная технологическая документация при разработке ТП и УП для станков с ЧПУ достаточно разнообразна. Часть документации, в частности при разработке маршрутной технологии, в ряде случаев не отличается от общепринятой при проектировании ТП для универсальных станков. Сопроводительная документация при выполнении этапов работ II и III имеет существенную специфику, она включает информацию о программировании обработки детали на станке с ЧПУ, информацию о наладке станка и инструмента, информацию, отражающую контроль УП, и др.

В соответствии с комплектностью УП сопроводительная документация содержит операционную карту и операционный чертеж детали, карты наладки станка и инструмента, операционную расчетно-технологическую карту с эскизом траектории инструментов УП на программоносителе и ее распечатку, график траектории инструментов, полученный на этапе контроля УП, и акт внедрения УП.

Операционная карта предназначена для описания операций технологическо-

го процесса изготовления детали с разделением на переходы и указанием оборудования, оснастки и режимов резания. Особенность операционной карты обработки на станке с ЧПУ: она содержит указания о взаимном расположении базовых поверхностей детали, крепежного приспособления и инструмента при описании установов и переходов.

Карта наладки станка содержит все сведения, используемые при наладке станка для работы по УП. Формы карт наладки разработаны для технологических групп или отдельных станков с ЧПУ. В процессе ручной подготовки УП карту заполняет технолог-программист, при автоматизированной подготовке УП на ЭВМ ее выдает оператор. Для каждого установа в карту наладки станка записывают: номер чертежа и наименование детали; модель станка с ЧПУ; номер УП; тип и материал заготовки; шифр крепежной оснастки и силу зажима заготовки; координаты исходных положений рабочих органов станка; диапазон частот вращения шпинделя; сведения об изменении рабочей подачи с пульта УЧПУ; указание о включении охлаждения; шифры инструментов с указанием номеров их позиций и блоков коррекции; данные об отдельных размерах с допусками и указанием номеров кадров УП, а также блоков коррекции для компенсации отклонений формы и расположения обработки в наладочном режиме. В карте наладки станка приводят эскиз, поясняющий схему крепления заготовки в данном установе.

Карту наладки инструмента используют при настройке инструмента вне станка и установе его на станке в соответствии с выбранной наладкой. В карту записывают координаты вершин всех инструментов наладки и показания прибора для их настройки вне станка.

Операционная расчетно-технологическая карта (ГОСТ 3.1418—82) предназначена для ручной подготовки УП. В эту карту, представляющую собой «рукопись» программы, в принятой для операции последовательности обработки записывают: номера, координаты или приращения координат опорных точек траектории; подачи; частоты и направления вращения шпинделя; номера корректоров и технологические команды.

К операционной расчетно-технологической карте прилагают эскиз траектории инструмента. На нем траекторию инструмента вычерчивают для всех переходов с нумерацией опорных точек, обозначением начала системы координат, а также точек, в которых выполняются технологические команды.

Распечатка УП выполняется на бумажной полосе устройством подготовки данных одновременно с подготовкой перфоленты. При автоматизированном программировании распечатка УП выдается ЭВМ в составе сопроводительной документации.

График траектории инструментов вычерчивается на автономном или подключенном к ЭВМ графопостроителе.

Акт внедрения УП является заключительным документом, в котором отражаются результаты пробной обработки одной или нескольких заготовок на станке с ЧПУ по подготовленной УП. В акте отмечают соответствие обработанных поверхностей требованиям к их точности и шероховатости, рациональность режимов резания и приводят данные хронометража. Акт подписывают контролер ОТК, мастер участка станков с ЧПУ, технолог ОГТ и начальник БПУ. Если деталь ранее изготовлялась на станке с ручным управлением, то в акте обосновывают экономическую эффективность ее перевода на станок с ЧПУ, после чего акт служит основанием для изменения технологического процесса на предприятии.

Комплектность и формы технологической документации, используемой при подготовке УП, могут меняться в зависимости от принятого на данном предприятии документооборота и метода программирования (ручного или с помощью ЭВМ).

ГЛАВА 7
ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ

7.1. УРОВНИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В общем виде процесс подготовки УП можно представить как последовательное программирование отдельных этапов обработки детали (табл. 7.1). На каждом этапе решают определенные задачи. В зависимости от метода решения задач различают четыре уровня автоматизации программирования: первый уровень (ручное программирование) — подготовка УП 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 операционного технологического процесса и всех этапов подготовки УП. Подготовка УП на высоком уровне автоматизации может входить в состав задач автоматизированных систем технологической подготовки производства (АСТПП).

Как правило, второму — четвертому уровням автоматизации подготовки УП соответствует методика, реализуемая системой автоматизированного программирования (САП). А этой методике соответствует и определенный проблемно-ориентированный язык программирования — язык САП.

При ручном программировании самым главным является характер представления и организации информации УП в

Таблица 7.1. Уровни автоматизации при программировании обработки для станков с ЧПУ

Этап подготовки УП	Задачи подготовки УП	Уровень автоматизации			
		1-й	2-й	3-й	4-й
I	Разделение операции на установы и позиции	—	—	—	+
	Выбор метода крепления заготовки	—	—	—	+
	Подготовка операционной карты	—	—	—	+
II	Определение последовательности переходов	—	—	—	+
	Выбор инструмента	—	—	—	+
	Разделение переходов на ходы	—	—	+	+
	Расчет режимов обработки	—	—	+	+
	Подготовка карт наладки станка и инструмента	—	—	+	+
III	Определение наладочных размеров инструмента и оборудования	—	—	+	+
	Пересчет размеров детали в координаты опорных точек траектории	—	—	+	+
	Расчет координат опорных точек	—	+	+	+
	Преобразование систем координат	—	+	+	+
IV	Формирование элементарных перемещений	—	+	+	+
	Определение технологических команд	—	+	+	+
	Кодирование УП	+	+	+	+
	Запись УП на программоноситель	+	+	+	+
V	Контроль программоносителя	+	+	+	+
	Контроль траектории инструмента	+	+	+	+
	Редактирование УП	+	+	+	+

Примечание. Знаком «+» отмечены задачи, решаемые на соответствующем уровне автоматизации средствами вычислительной техники.

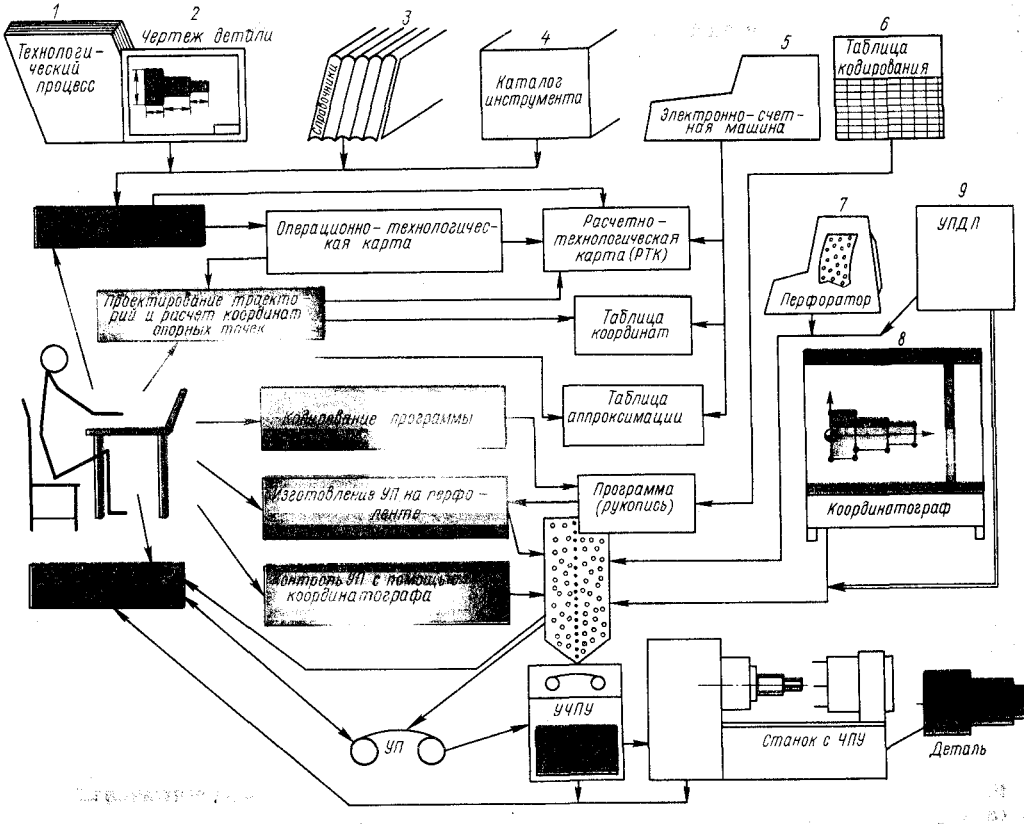


Рис. 7.1. Основные этапы ручной подготовки УП

принятом коде. Методика подготовки УП, включая их редактирование, зависит также от типа УЧПУ станка (рис. 7.1, 7.2), конкретных условий производства, организационных принципов работы станка с ЧПУ и др.

7.2. СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЕТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

По операционному эскизу, выполненному на основе попереходного технологического процесса в соответствии с выбранными типовыми траекториями движения инструмента, технолог составляет расчетно-технологическую карту (РТК). Эта карта содержит законченный план обработки детали на станке с ЧПУ в виде графического изображения траектории движения инструмента со всеми необходимыми пояснениями и расчетными размерами. По данным РТК технолог-программист, не обращаясь к чертежу детали или каким-либо другим источникам, может полностью рассчитать числовую программу автоматической работы станка. Ниже приведена последовательность оформления РТК.

1. Вычерчивают деталь в прямоугольной системе координат, выбирают исходную точку *О*. При многоинструментальной обработке могут быть выбраны несколько исходных точек — для каждого инструмента. Контуры детали, подлежащие обработке, и контур заготовки вычерчивают в масштабе с указанием всех размеров, необходимых при программировании.

2. Намечают расположение прижимов и зон крепления детали в соответствии с техническими условиями на приспособление.

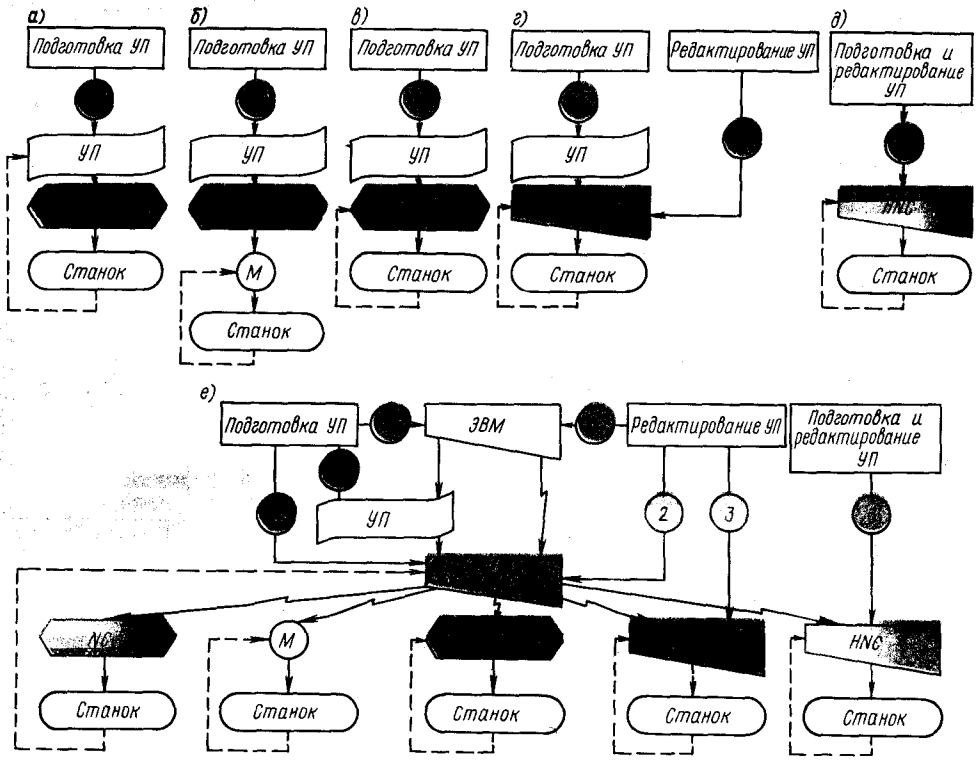


Рис. 7.2. Путь управляющей информации при использовании различных УЧПУ: *а* **— класса NC;** *б* **— класса NC с промежуточной записью УП на магнитной ленте (М);** *в* **— класса SNC;** *г* **— класса CNC;** *д* **— класса HNC;** *е* **— класса DNC для управления группой станков с УЧПУ перечисленных типов;**

1—4 — возможные варианты подготовки и редактирования УП (*1* — на внешней ЭВМ; *2* — на ЭВМ, управляющей группой станков; *3* — на ЭВМ, встроенной в УЧПУ станка; *4* — вручную

3. Наносят траекторию движения центра инструмента в двух плоскостях системы координат. Если предполагается многоинструментальная обработка, следует изображать траектории движения центра каждого используемого инструмента.

Началом (и концом) траектории инструмента является исходная точка *O*. Если положение исходной точки не совпадает с началом координат детали (точкой *W*), оно должно быть задано координатами *XWO*, *YWO*, *ZWO* относительно этого начала. Траекторию инструмента наносят с учетом его параметров, выбранной ранее последовательности обработки и намеченных типовых траекторий в инструментальных переходах.

4. На траектории движения инструмента отмечают и обозначают цифрами (реже буквами латинского алфавита) опорные точки траектории и ставят стрелки, указывающие направление движения. Опорные точки необходимо намечать по геометрическим и технологическим признакам, т. е. они должны быть или точками, в которых изменяется геометрический характер траектории инструмента, или точками, в которых изменяется технологическое состояние детали (изменение режимов обработки, включение вертикальной подачи и пр.).

5. При необходимости указывают места контрольных точек, в которых предусматривается кратковременная остановка инструмента в целях проверки точности отработки программ рабочими органами станка. Такие точки предусматривают, например, перед окончательными чистовыми проходами при обра-

ботке дорогостоящих деталей. Обозначают также точки остановки, необходимые для смены инструмента, изменения частоты вращения шпинделя, перезакрепления детали и пр., указывают продолжительность остановки в секундах.

6. Особо обозначают опорные точки, координаты которых можно определить графически непосредственно на РТК.

7. На РТК наносят дополнительные данные (тип станка, шифр, наименование и материал детали), указывают особенности заготовки и ее крепления, параметры инструмента и режимы его работы на отдельных участках, характер движения на отдельных участках траектории и пр. Как один из основных технологических документов РТК обычно шифруют и заносят в специальную картотеку.

При построении траектории движения центра инструмента на РТК необходимо соблюдать следующие правила.

1. Подводить инструмент к обрабатываемой поверхности и отводить его следует (при необходимости) по специальным траекториям — вспомогательным перемещениям.

Например, при фрезеровании необходимо обеспечить врезание инструмента по касательной со своевременным (за 5—10 мм до края заготовки) переходом с холостого хода на рабочий. Определенный подход должен быть у сверл, разверток, зенкеров, резцов, причем точка перехода с холостого хода на рабочий должна быть определена как опорная.

2. Недопустимы остановка инструмента и резкое изменение подачи в процессе резания, когда режущие поверхности лезвия соприкасаются с обрабатываемой поверхностью, иначе неизбежны повреждения поверхности. Перед остановкой, резким изменением подачи, подъемом или опусканием инструмента необходимо отвести инструмент от обрабатываемой поверхности.

3. Длина холостых перемещений должна быть минимальной.

4. Для устранения влияния на точность обработки люфтов станка желательно предусматривать дополнительные петлеобразные переходы в зонах реверса, обеспечивающие выборку люфта.

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

7.3. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ТРАЕКТОРИИ ИНСТРУМЕНТА

Расчет траектории инструмента при ручном программировании состоит прежде всего в определении координат опорных точек на контуре детали и (если траектория является эквидистантной к обрабатываемому контуру) на эквидистанте. При этом предполагается (см. гл. 1), что принятую траекторию, фиксированную опорными точками, при обработке последовательно обходит центр инструмента.

При расчете траектории инструмента уточняют параметры резания (скорость резания и подачу) на отдельных участках траектории.

Расчет координат опорных точек на контуре детали. Начальный этап расчета — определение координат опорных точек контура детали в выбранной системе координат. Для этого используют заданные на чертеже деталей размеры и данные РТК. Координаты опорных точек контура детали вычисляют с помощью уравнений, описывающих геометрические элементы контура детали, и соотношений в треугольниках. Точность вычислений обычно ограничивается дискретностью задания перемещений, определяемой конкретной схемой УЧПУ и используемым станком.

Наиболее часто в процессе программирования контурной обработки решаются задачи определения координат опорных точек, лежащих на прямых, окружностях и пересечениях этих элементов.

Прямые линии описываются уравнением $y = kx + b$, представление которого зависит от исходных данных. В уравнении прямой k — угловой коэффициент, рав-

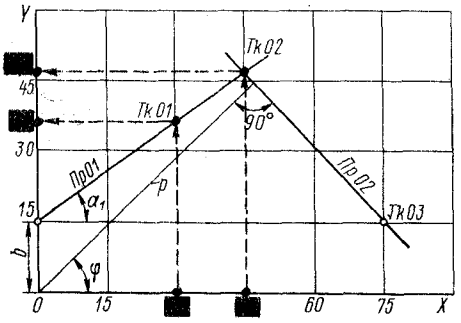


Рис. 7.3. К определению параметров прямой

ный тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс; b — начальная ордината, равная ординате точки пересечения прямой с осью ординат (рис. 7.3).

Например, при начальной ординате $b=15$ мм и угле $\alpha_1=35°$ уравнение прямой (Пр01) будет иметь вид

$$y=kx+b=x\ \mathrm{tg}\ 35°+15=0{,}7x+15.$$

Пользуясь этим уравнением, нетрудно для любой *точки прямой* определить одну координату по заданной другой.

Например, при известной абсциссе $x_1=30$ мм ордината точки Тк01 будет $y_1=0{,}7\cdot30+15=36$ мм. При $x_2=45$ мм ордината $y_2=0{,}7\cdot45+15=46{,}5$ мм.

При известных координатах одной точки $(x_т, y_т)$ и угле наклона прямой уравнение этой прямой имеет вид

$$y=k(x-x_т)+y_т.$$

Если координаты точки Тк02 $x_2=45$ мм и $y_2=46{,}5$ мм, а угол $\alpha_1=35°$, то уравнение прямой Пр01

$$y=k(x-x_2)+y_2=\mathrm{tg}\ 35°(x-45)+$$
$$+46{,}5=0{,}7x-0{,}7\cdot45+46{,}5=0{,}7x+15.$$

Уравнение прямой, проходящей через две заданные точки Тк01 (x_1, y_1) и Тк02 (x_2, y_2), записывается в виде

$$y=\frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}(x-x_1)+y_1.$$

При Тк01 (30; 35) и Тк02 (45; 46,5) уравнение прямой Пр01 примет вид

$$y=\frac{46{,}5-36}{75-30}(x-30)+36=$$
$$=0{,}7\ (x-30)+36=0{,}7x+15.$$

Уравнение прямой Пр02 при известных точках Тк02 (45; 46,5) и Тк03 (75; 15)

$$y=\frac{15-46{,}5}{75-45}(x-45)+46{,}5=$$
$$=-1{,}05\ (x-45)+46{,}5=-1{,}05x+93{,}75.$$

Уравнение прямой при необходимости можно выразить полярным расстоянием p (перпендикуляр из начала координат к прямой) и полярным углом φ (угол между перпендикуляром и осью абсцисс):

$$x\cos\varphi+y\sin\varphi-p=0.$$

При $p=64{,}58$ мм и $\varphi=43{,}55°$ уравнение прямой Пр02

$$x\cos43{,}55°+y\sin43{,}55°-64{,}58=0.$$

После подстановки значений тригонометрических функций это уравнение приводится к уравнению прямой в общем виде:

$$0{,}7247x+0{,}6889y-64{,}58=0,$$

или

$$y=-\frac{0{,}7247}{0{,}6889}x+\frac{64{,}58}{0{,}6889},$$

или

$$y=-1{,}05x+93{,}75.$$

Точка пересечения двух прямых определяется решением системы уравнений, описывающих эти прямые. Решением системы уравнений

$$y=k_1x+b_1;\quad y=k_2x+b_2$$

являются координаты точки пересечения:

$$x_т=(b_2-b_1)/(k_1-k_2);$$

$$y_т=k_1x_т+b_1.$$

Так, для прямых Пр01 и Пр02 (см. рис. 7.3), уравнения которых

$$y=0{,}7x+15;\quad y=-1{,}05x+93{,}75,$$

координаты общей точки Тк02:

$$x_2=(b_2-b_1)/(k_1-k_2)=(93{,}75-$$
$$-15)/(0{,}7+1{,}05)=45\ \text{мм};$$

$$y_2=0{,}7x+15=0{,}7\cdot45+15=46{,}5\ \text{мм}.$$

Уравнение окружности радиусом R с центром $O(x_0, y_0)$ имеет вид

$$R=(x-x_0)^2+(y-y_0)^2,$$

или, когда оно разрешено относительно ординаты,

$$y=y_0\pm[R^2-(x-x_0)^2]^{1/2}.$$

Точке на окружности, заданной абсциссой $x_т$, соответствуют два (точки Тк04 и Тк04′) значения ординаты:

$$y_т = y_0 \pm [R^2 - (x_т - x_0)^2]^{1/2},$$

а точке, заданной ординатой $y_т$ — два значения абсциссы:

$$x_т = x_0 \pm [R^2 - (y_т - y_0)^2]^{1/2}.$$

Требуемое решение выбирают из этих значений по признаку расположения искомой точки.

Если выражение в квадратных скобках равно нулю, что имеет место при задании предельных значений одной из координат, то другая координата точки определяется однозначно.

Например, окружность радиуса $R = 15$ мм с центром $O(x_0 = 25$ мм; $y_0 = 30$ мм) описывается (рис. 7.4) уравнением

$$y = y_0 \pm [R^2 - (x - x_0)^2]^{1/2} = 30 \pm [15^2 - (x - 25)^2]^{1/2}.$$

Ордината Тк04 при заданной абсциссе $x_4 = 35$ мм

$$y = 30 \pm [15^2 - (35 - 25)^2]^{1/2} = 30 \pm 11{,}18.$$

Искомая ордината соответствует меньшему из двух ее возможных значений: $y = 30 - 11{,}18 = 18{,}82$ мм.

Точки пересечения прямой и окружности определяются решением системы описывающих их уравнений. Решение системы уравнений прямой и окружности, а также двух окружностей, приводит к выражению вида

$$x = a \pm [\ldots]^{1/2},$$

где величина в квадратных скобках может быть больше, равна или меньше нуля; соответственно точек пересечения будет две, одна (элементы касаются) или ни одной (элементы не пересекаются).

Так, окружность (рис. 7.4) с радиусом $R = 15$ мм, с центром $O(x_0 = 25$ мм; $y_0 = 30$ мм) описывается уравнением

$$y = 30 \pm [15^2 - (x - 25)^2]^{1/2},$$

прямая Пр03 — уравнением

$$y = -0{,}14x + 45.$$

Решение системы этих уравнений позволяет определить координаты точек Тк05 и Тк04:

$$-0{,}14x + 45 = 30 \pm [15^2 - (x - 25)^2]^{1/2},$$

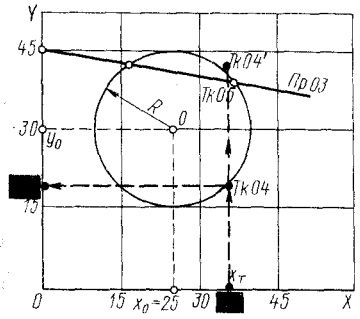


Рис. 7.4. К определению параметров окружности

или $15 - 0{,}14x = \pm [15^2 - (x - 25)^2]^{1/2}$,

или $(15 - 0{,}14x)^2 = 15^2 - (x - 25)^2$,

или $x^2 - 53{,}158x + 612{,}985 = 0$;

$$x_{1,2} = -p/2 \pm [(p/2)^2 - q]^{1/2} = 26{,}579 \pm \pm (706{,}443 - 612{,}985)^{1/2} = 26{,}579 \pm 9{,}667.$$

Искомые координаты точек пересечения:

$x_5 = 36{,}246$; $x_6 = 16{,}912$;

$y_5 = -0{,}14x_1 + 45 = -0{,}14 \cdot 36{,}246 + 45 = 39{,}92$;

$y_6 = -0{,}14x_2 + 45 = -0{,}14 \cdot 16{,}912 + 45 = 42{,}63$.

Совместным решением уравнений можно также достаточно просто определить *точки пересечения двух окружностей, точки касания прямой с одной и двумя окружностями,* а также *точку касания двух окружностей* и т. д. [15, 28].

Расчет координат опорных точек на эквидистанте. Координаты опорных точек эквидистантной траектории инструмента наиболее просто представить как приращение координат опорных точек контура детали. Целесообразность предварительного определения опорных точек контура очевидна, поскольку в плоскости обработки в большинстве случаев траектория центра инструмента представляет собой линию, эквидистантную обрабатываемому контуру.

Эквидистанта как геометрическое место точек, равноудаленных от контура детали на расстояние, равное радиусу $R_и$ инструмента, строится справа или слева от элементов этого контура в зависимости от расположения инструмента

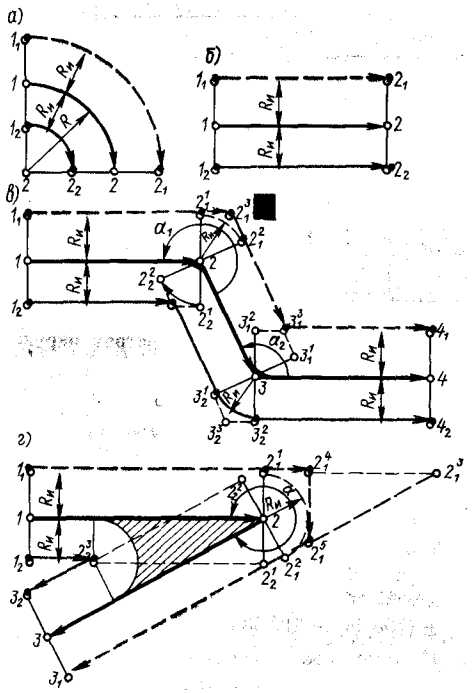


Рис. 7.5. Участки эквидистанты

относительно обрабатываемого контура. Эквидистантой к дуге окружности *1—2* является дуга концентричной ей окружности $1_1—2_1$ или $1_2—2_2$ с тем же центральным углом (рис. 7.5, *а*), а к отрезку прямой *1—2* — отрезок, параллельный данному (рис. 7.5, *б*).

Метод соединения элементов эквидистанты выбирают в зависимости от угла α, образованного соседними элементами контура, если смотреть со стороны расположения инструмента при обходе этого контура (рис. 7.5, *в*, *г*). Этот угол для пары отрезков измеряют непосредственно между ними. Если же элементом контура является дуга окружности, то угол α измеряют относительно касательной к этой дуге в общей точке рассматриваемой пары элементов контура детали. Так, при $\alpha > 180°$ элементы эквидистанты соединяются сопрягающими дугами окружностей радиусом $R_и$, центры которых находятся в общих точках элементов контура. При $\alpha < 180°$ общей точкой элементов эквидистанты является точка пересечения этих элементов (рис. 7.5, *в*). Для сопряженных элементов контура ($\alpha = 180°$) элементы эквидистанты также сопряжены.

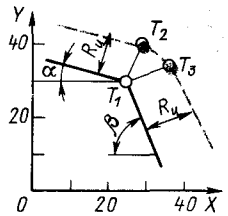
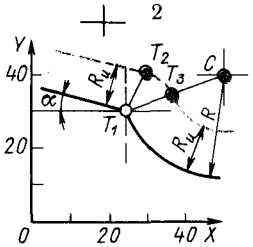
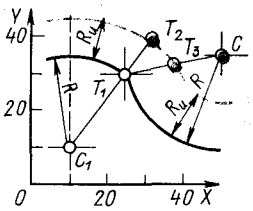
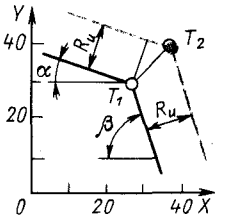
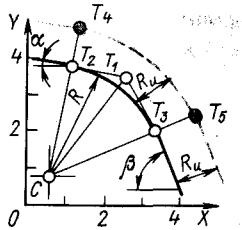
Движение центра инструмента вдоль сопрягающей дуги окружности эквидистанты при обработке острого угла контура может привести к «зарезам» из-за изменения величин и направлений сил резания. В этом случае более технологичной является траектория центра инструмента, в которой дуги сопрягающих окружностей заменены отрезками прямых, продолжающих участки эквидистанты к элементам контура. Для случая, приведенного на рис. 7.5, *в*, левой эквидистантой является линия $1_1—2_1^1—2_1^2—3_1^3—4_1$, а более технологичной траекторией — линия $1_1—2_1^3(A)—3_1^3—4_1$.

При обходе углов $\alpha > 300°$ во избежание значительных отклонений траектории инструмента от эквидистанты необходимо сделать дополнительные построения. Примером может служить перпендикуляр, опущенный из точки 2_1^4 (рис. 7.5, *г*). Поэтому для рассматриваемого случая левой эквидистантой будет линия $1_1—2_1^4—2_1^5—3_1$ или $1_1—2_1^3—3_1$.

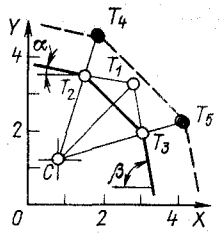
При вычислении опорных точек эквидистанты различают три типовых случая сопряжения дугой (радиусом $R_и$) участков эквидистанты: прямая — прямая, прямая — окружность и окружность — окружность (табл. 7.2). Как уже говорилось, координаты опорных точек траектории инструмента чаще всего рассчитывают путем определения приращений координат опорных точек контура детали. Для нахождения этих приращений существуют определенные зависимости. Возможны и другие схемы расчета [15].

Трудоемкость вычисления координат опорных точек при ручном программировании во многом зависит от опыта технолога-программиста, его знаний и способности ориентироваться при постановке и решении геометрических задач. Систематизация встречающихся геометрических задач и способов их решения не исключает индивидуального подхода к конкретной задаче, что часто позволяет найти более простое ее решение. Ускоряет решение задач и использование справочной литературы, содержащей типовые

Таблица 7.2. Типовые схемы для определения опорных точек эквидистанты

Схема	Формулы для расчета
1 	$x_2 = x_1 + R_и \sin\alpha;$ $y_2 = y_1 + R_и \cos\alpha;$ $x_3 = x_1 + R_и \sin\beta;$ $y_3 = y_1 + R_и \cos\beta$
2 	$R\,[(x_C - x_1)^2 + (y_C - y_1)^2]^{1/2};$ $x_3 = x_1 + \frac{1}{R} R_и (x_C - x_1);$ $y_3 = y_1 + \frac{1}{R} R_и (y_C - y_1);$ x_2 и y_2 определяются так же, как для схемы 1
3 	$R_1 = [(x_1 - x_C)^2 + (y_1 - y_C)^2]^{1/2};$ $x_2 = x_1 + \frac{1}{R} R_и (x_1 - x_C);$ $y_2 = y_1 + \frac{1}{R} R_и (y_1 - y_C);$ x_3 и y_3 определяются так же, как для схемы 2
4 	$x_2 = x_1 + R_и \frac{\sin[(\alpha+\beta)/2]}{\cos[(\alpha-\beta)/2]};$ $y_2 = y_1 + R_и \frac{\cos[(\alpha+\beta)/2]}{\cos[(\alpha-\beta)/2]}$
5 	$x_2 = x_C + R\sin\alpha;$ $y_2 = y_C + R\cos\alpha;$ $x_3 = x_C + R\sin\beta;$ $y_3 = y_C + R\cos\beta;$ $x_4 = x_C + (R+R_и)\sin\alpha;$ $y_4 = y_C + (R+R_и)\cos\alpha;$ $x_5 = x_C + (R+R_и)\sin\beta;$ $y_5 = y_C + (R+R_и)\cos\beta;$ $x_C = x_1 - R\frac{\sin[(\alpha+\beta)/2]}{\cos[(\beta-\alpha)/2]};$ $y_C = y_1 - R\frac{\cos[(\alpha+\beta)/2]}{\cos[(\beta-\alpha)/2]}$

Продолжение табл. 7.2

Схема	Формулы для расчета
6 	$x_2 = x_C + R \sin\alpha$; $y_2 = y_C + R\cos\alpha$; $x_3 = x_C + R\sin\beta$; $y_3 = y_C + R\cos\beta$; $x_4 = x_C + (R + R_и)\sin\alpha$; $y_4 = y_C + (R + R_и)\cos\alpha$; $x_5 = x_C + (R + R_и)\sin\beta$; $y_5 = y_C + (R + R_и)\cos\beta$; $x_C = x_1 - R\dfrac{\sin[(\alpha+\beta)/2]}{\cos[(\beta-\alpha)/2]}$; $y_C = y_1 - R\dfrac{\cos[(\alpha+\beta)/2]}{\cos[(\beta-\alpha)/2]}$

примеры геометрических построений [28, 48, 57].

Особенности расчета с использованием ЭВМ. Трудоемкость процесса определения координат опорных точек существенно снижается при использовании микроЭВМ. Такие ЭВМ имеют математическое обеспечение в виде минимальных систем подготовки УП. Язык системы содержит ограниченное число вычислительных процедур и позволяет решать задачи по определению точек стыков геометрических элементов траектории перемещения центра инструмента. Обычно исходные данные в такие микроЭВМ вводят через клавиатуру печатающего устройства или дисплея.

При использовании микроЭВМ можно также решать ряд других задач, например рассчитывать частоты вращения шпинделя на каждом переходе при заданной скорости, находить максимально допустимый крутящий момент, определять скорости подачи по контуру и др. Достаточно прост при этом вывод рассчитываемой траектории на графопостроитель, что позволяет более четко контролировать разрабатываемую УП.

7.4. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ, ОСНАЩЕННЫХ УЧПУ КЛАССА NC (SNC)

Программирование обработки некоторых типовых элементов деталей

При программировании токарной обработки составляют РТК. При составлении РТК учитывают типовые схемы обработки отдельных элементов детали и определяют траектории всех инструментов, назначенных для выполнения операции.

Программирование обработки винтовых поверхностей. Крепежные и ходовые резьбы, червяки, шнеки и другие винтовые поверхности могут обрабатываться на станках с ЧПУ, имеющих связь между поступательным и вращательным движениями рабочих органов. Эта связь, в отличие от жесткой механической связи на токарно-винторезных станках с ручным управлением, осуществляется синхронизацией движения подачи с вращением шпинделя с помощью установленного на нем датчика углового положения.

Принципиально на станках с ЧПУ могут быть реализованы разнообразные схемы перемещения инструмента для нарезания одно- и многозаходных цилиндрических и конических резьб, а также винтов различного профиля с постоянными или изменяющимися по заданному закону шагами винтовых поверхностей.

Для случая *нарезания винтовой поверхности* с заданными диаметром d и шагом P при выбранной скорости резания v частоту вращения шпинделя

определяют по формуле $n = 1000v/(\pi d)$. После выбора соответствующего этой частоте значения $n_р$ из ряда частот вращения шпинделя данного станка, находят требуемую минутную подачу $s_м = Pn_р$. Все параметры режимов резания при нарезании винтовой поверхности ($n_р$, P, $s_м$) должны находиться в допустимых для конкретного станка пределах.

Например, параметры нарезания резьбы М16×0,5 при скорости резания $v = 80$ м/мин составляют: $n_р = 1600$ об/мин; $P = 0{,}5$ мм; $s_м = 800$ мм/мин, т. е. лежат в допустимых пределах для этого станка: $n_р = 20 \div 2000$ об/мин; $s_{м\,max} = 1200$ мм/мин; $P = 0{,}2 \div 30$ мм. Увеличение шага резьбы до $P = 2{,}5$ мм требует $s_м = 4000$ мм/мин, что превышает наибольшую минутную подачу, которую может обеспечить данный станок (рис. 7.6).

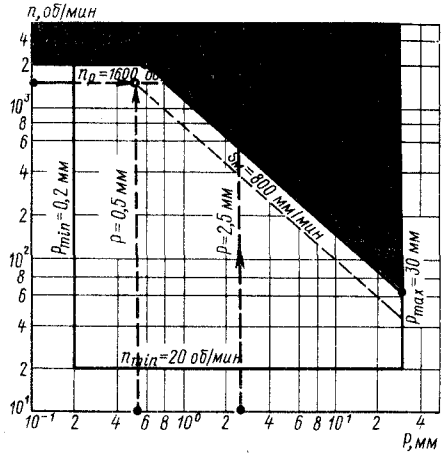


Рис. 7.6. График (в логарифмической сетке) для определения предельных значений параметров режимов резания при обработке винтовых поверхностей

Технологические схемы *многопроходной обработки крепежных резьб* показаны на рис. 7.7. Их строят исходя из того, что форма резьбового резца соответствует профилю обрабатываемой резьбы. Многопроходная обработка резьб состоит из черновых проходов для выборки резьбовой впадины и чистовых проходов с небольшим припуском или без него. На рис. 7.7, *а* представлен общий случай радиального перемещения резьбового резца под некоторым углом α к направлению винтовой поверхности. Частными случаями этой схемы являются схемы, которые предусматривают заглубление резца перпендикулярно к направлению винтовой поверхности (рис. 7.7, *б*) и вдоль одной из сторон профиля резьбы

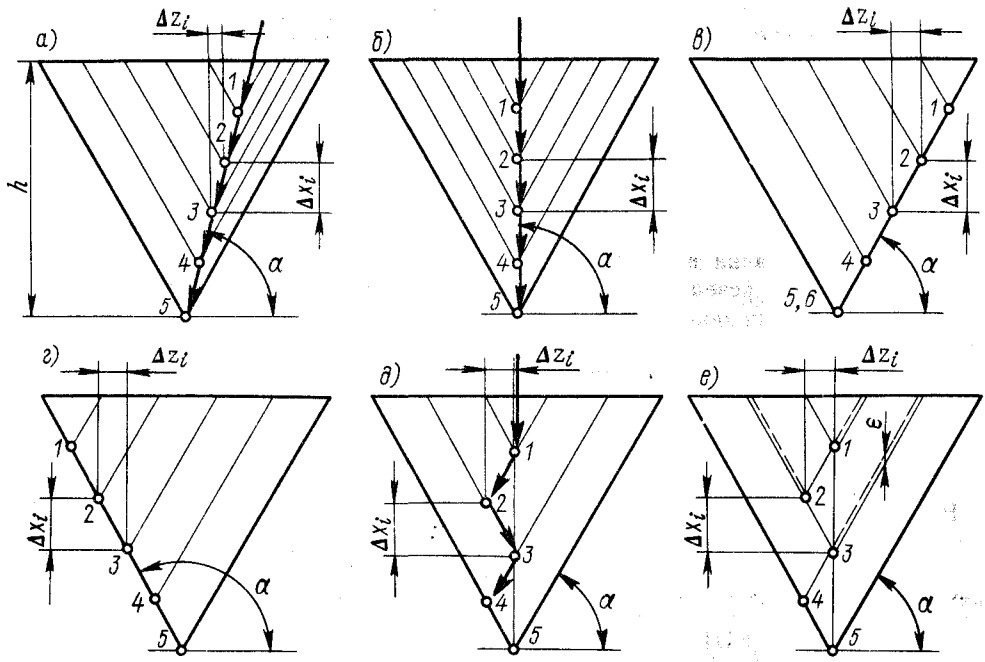


Рис. 7.7. Технологические схемы многопроходной обработки крепежных резьб

(рис. 7.7, *в*, *г*). По схемам на рис. 7.7, *д*, *е* резец перемещается поочередно вдоль обоих сторон профиля резьбы.

В схемах на рис. 7.7, *а*, *б* при нарезании резьбы участвуют одновременно обе режущие кромки резца, стружка имеет корытообразную форму, что повышает ее жесткость, в результате чего увеличивается нагрузка на резец. Схемы на рис. 7.7, *в*, *г* обеспечивают лучшее стружкообразование, но приводят к неравномерному изнашиванию режущих кромок резца. Схемы обработки, показанные на рис. 7.7, *д*, *е*, позволяют наряду с удовлетворительным стружкообразованием достигнуть равномерности изнашивания обеих кромок резца. Резьбонарезание по схеме рис. 7.7, *е* предусматривает образование зазора ε между проходами, исключающего трение ненагруженной кромки резца, что повышает стойкость инструмента.

Разделение припуска на черновые проходы является самостоятельной задачей, решаемой с учетом требований к параметрам режима резьбонарезания.

Простейшее решение, наиболее часто применяемое на практике,— выбор одинаковой глубины резания t на всех черновых проходах: $t=h/k$, где h — глубина впадины резьбы; k — число черновых проходов. Такое равномерное разделение припуска приводит к увеличению сечения стружки на каждом последующем проходе и, следовательно, к увеличению нагрузки на резец. В этом случае допустимую глубину прохода выбирают из условия прочности резца на последнем черновом проходе, а на всех предшествующих проходах резец будет недогружен.

Постоянство сечения стружки на i-м проходе достигается разделением припуска по закону геометрической прогрессии:

$$t_i = hk^{-1/2}[i^{1/2} - (i-1)^{1/2}].$$

Нагрузка на единицу длины режущей кромки более равномерна при разделении припуска на проходы по закону арифметической прогрессии:

$$t_i = 2hk^{-1}[1 - i/(k+1)].$$

Приращение координаты Δz вершины резьбового резца на i-м проходе для схем на рис. 7.7, *а*—*г* определяют по формуле $\Delta z_i = t_i \operatorname{ctg}\alpha$, а для схем на рис. 7.7, *д*, *е* — по формуле $\Delta z_i = -t_i \operatorname{ctg}\alpha$ (при четных значениях i) или $\Delta z_i = t_{i-1}\operatorname{ctg}\alpha$ (при нечетных значениях i, кроме $i=1$, когда $\Delta z_i = 0$).

Приращение координаты Δx для всех схем, кроме схемы на рис. 7.7, *е*, $\Delta x_i = -t_i$, а для схемы на рис. 7.7, *е* в целях образования зазора ε первое приращение увеличивают на $(k-1)\varepsilon$, а последующие уменьшают на ε:

$$\Delta x_1 = -t_1 - (k-1)\varepsilon; \quad \Delta x_i = -t_i + \varepsilon.$$

Нарезание резьбы резцом программируется вручную преимущественно для схем, приведенных на рис. 7.7, *б*, *в* или *г*, с равномерным разделением припуска на заданное число проходов. Более технологична, но более трудоемка при вычислениях схема на рис. 7.7, *е*.

Рассмотрим пример реализации схемы, приведенной на рис. 7.7, *е*, с разделением на проходы по закону геометрической прогрессии для резания метрической резьбы М30×1,5 при обработке ступени детали типа «вал» (рис 7.8).

Исходные данные для расчета координат точек начал проходов: диаметр резьбы $D=30$ мм; шаг резьбы $P=1{,}5$ мм; число проходов $k=5$; зазор между проходами $\varepsilon=0{,}02$ мм.

Высота исходного треугольника

$$H = P\sqrt{3/2} = 1{,}5\sqrt{3/2} = 1{,}3 \text{ мм}.$$

Глубина разделяемой на проходы впадины

$$h = H - \frac{H}{8} - \frac{H}{6} = 1{,}3\left(1 - \frac{1}{8} - \frac{1}{6}\right) = 0{,}92 \text{ мм}.$$

Глубины проходов t_i, приращения координат Δx_i и Δz_i, рассчитанные по приведенным выше формулам, и координаты точек начал проходов (точек запуска) в системе координат станка

$$x_i = D - 2\Delta x_i; \quad z_i = L_{\text{уст}\,2} + 3P + \Delta z_i$$

сведены в табл. 7.3.

Программирование обработки тел вращения. Определить координаты опорных точек контуров тел вращения достаточно просто с помощью исходной схемы обработки, на которой показаны системы координат станка и детали, базовые точки, исходные точки размещения инструмента и т. д. Необходимо учитывать

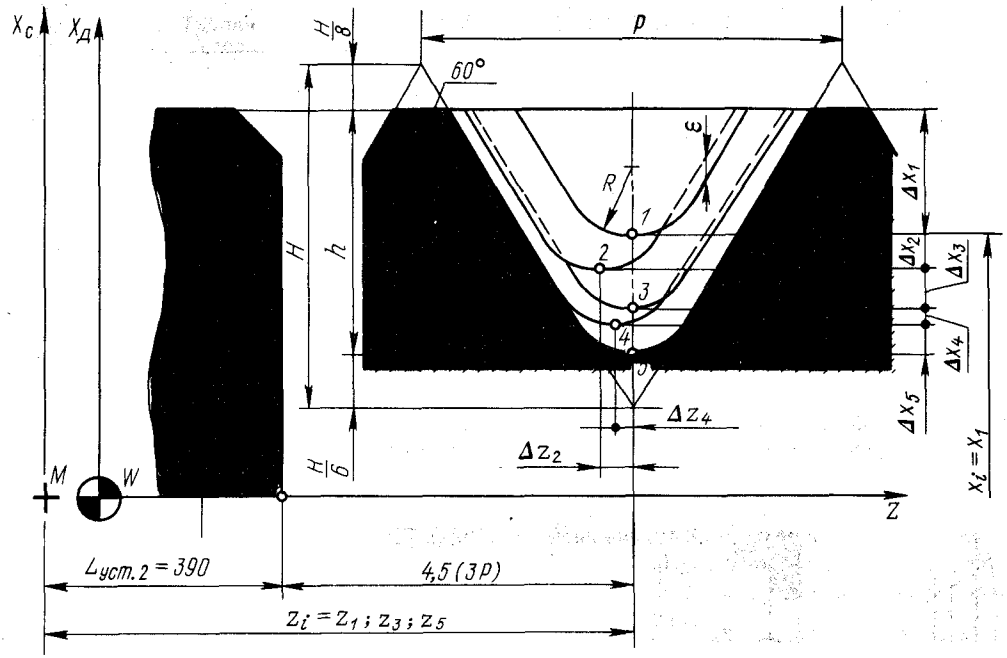


Рис. 7.8. Нарезание резьбы М30×1,5 в детали типа «вал» по схеме, приведенной на рис. 7.7, *е*

ориентацию детали на станке относительно заданного ее расположения на чертеже (относительно принятой системы координат детали).

Деталь типа «вал» (например, рис. 7.9, *а*) изготовляется на токарном станке за два установа: в прямой и обратной ориентации относительно ее расположения на чертеже. Взаимное расположение систем координат станка, детали и инструмента при закреплении заготовки в первом установе показано на рис. 7.9, *б*.

Таблицы координат опорных точек в системе координат станка заполняют отдельно для каждого установа. Сначала находят координаты всех опорных точек контура в системе координат детали, а затем их пересчитывают в систему координат станка с учетом взаимного расположения этих систем в каждом установе. Для упрощения подготовки УП в большинстве УЧПУ токарных станков, включая рассматриваемый случай, перемещения по оси X задают в кадрах УП значениями диаметров, а не радиусов.

Некоторые координаты опорных точек рассматриваемого в системе координат детали контура вала можно перенести в таблицу (табл. 7.4) без пересчетов. Неизвестные координаты вычисляют с

Таблица 7.3. Данные для нарезания резьбы, мм

Номер прохода i	t_i	Δx_i	Δz_i	x_i *	z_i
1	0,41	—0,49	0	29,02	394,50
2	0,17	—0,15	—0,10	28,72	394,40
3	0,13	—0,11	0,10	28,50	394,50
4	0,11	—0,09	—0,06	28,32	394,44
5	0,10	—0,08	0,06	28,16	394,50

* В большинстве случаев в УП для токарных станков с ЧПУ, согласно инструкции, указанная координата x_i означает диаметр (не радиус), если координаты заданы в абсолютных размерах.

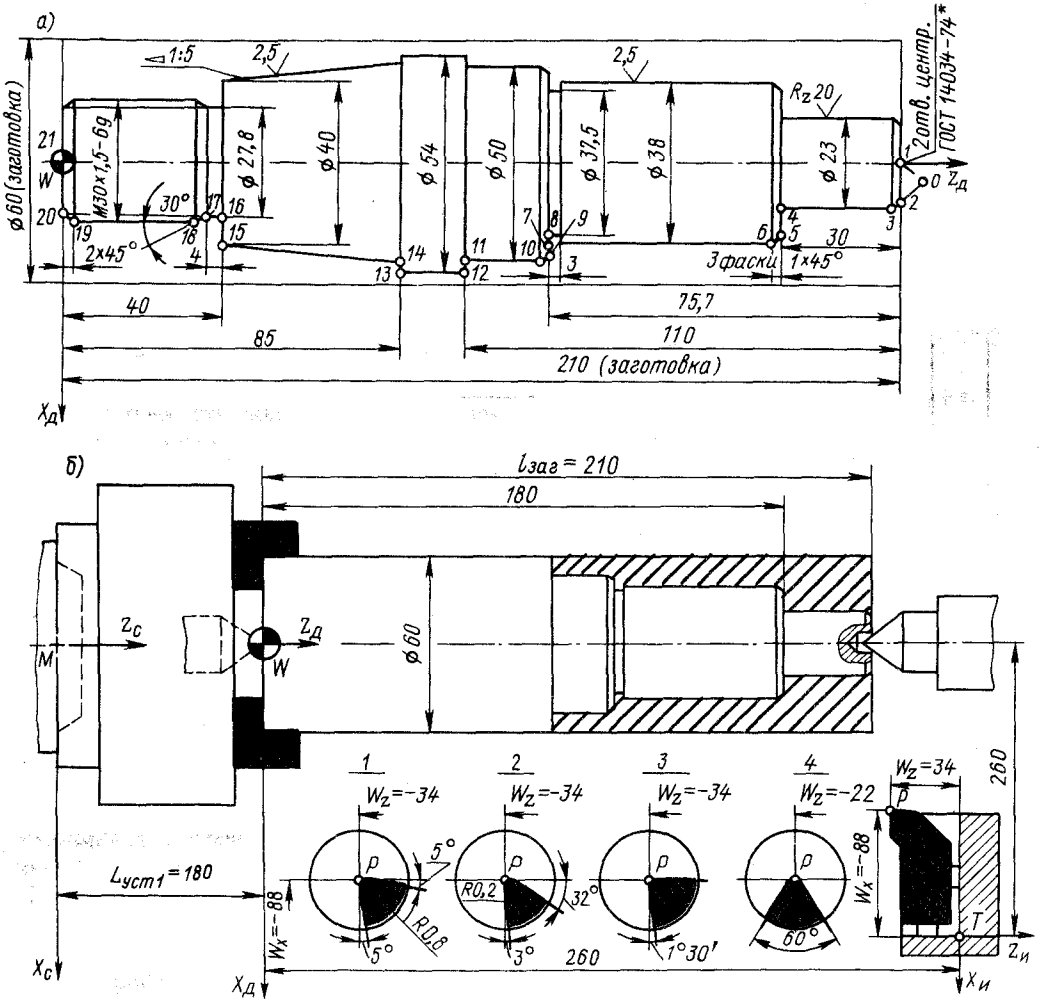


Рис. 7.9. Обработка детали типа «вал» на токарном станке: *а* **— чертеж детали в системе координат детали;** *б* **— общая схема установа детали на станке**

Таблица 7.4. Исходная таблица координат опорных точек в системе координат детали $X_д W Z_д$

Точка	Координаты, мм		Точка	Координаты, мм		Точка	Координаты, мм	
	$z_д$	$x_д$		$z_д$	$x_д$		$z_д$	$x_д$
1	210	0	*8*	z_8	37,5	*15*	40	40
2	210	x_2	*9*	z_9	x_9	*16*	40	27,8
3	z_3	23	*10*	z_{10}	50	*17*	z_{17}	27,8
4	z_4	23	*11*	z_{11}	50	*18*	z_{18}	30
5	z_5	x_5	*12*	z_{12}	54	*19*	2	30
6	z_6	38	*13*	85	54	*20*	0	x_{20}
7	z_7	38	*14*	85	x_{14}	*21*	0	0

помощью размерных цепей, например:

$$x_2 = x_3 - 2 \cdot 1 = 23 - 2 = 21 \text{ мм};$$

$$z_3 = z_1 - 1 = 210 - 1 = 209 \text{ мм};$$

$$z_4 = z_5 = z_1 - 30 = 210 - 30 = 180 \text{ мм};$$

$$x_5 = x_6 - 2 \cdot 1 = 38 - 2 = 36 \text{ мм и т. д.}$$

Для первого установа координаты опорных точек *1—11* контура вала пересчитаны из системы координат детали в систему координат станка (табл. 7.5) по формулам:

$$z_с = L_{уст\,1} + z_д = 180 + z_д; \qquad x_с = x_д.$$

Таблица 7.5. Таблица координат опорных точек в системе координат станка X_cMZ_c (первый установ)

Точка	Координаты, мм			Точка	Координаты, мм		
	$z_д$	$x_c = x_д$	z_c		$z_д$	$x_c = x_д$	z_c
1	210	0	390	*7*	134,3	38	314,3
2	210	21	390	*8*	134,3	37,5	314,3
3	209	23	389	*9*	134,3	48	314,3
4	180	23	360	*10*	133,3	50	313,3
5	180	36	360	*11*	100	50	280
6	179	38	359				

Таблица 7.6. Таблица координат опорных точек в системе координат станка X_cMZ_c (второй установ)

Точка	Координаты, мм			Точка	Координаты, мм		
	$z_д$	$x_c = x_д$	z_c		$z_д$	$x_c = x_д$	z_c
12	100	54	290	*17*	36	27,8	354
13	85	54	305	*18*	34,09	30	355,91
14	85	49	305	*19*	2	30	388
15	40	40	350	*20*	0	26	390
16	40	27,8	350	*21*	0	0	390

Для второго установа (табл. 7.6) пересчитаны координаты опорных точек *12—21*:

$$z_c = L_{уст\,2} - z_д = 390 - z_д; \quad x_c = x_д.$$

Выполненные схемы и расчеты позволяют определить траекторию движения каждого из назначенных инструментов (см. рис. 7.9, *б*) при обработке детали как в первом, так и во втором установах, назначить опорные точки на траектории черновых проходов. После уточнения режимов резания для каждого инструмента на каждом переходе вся информация по обработке детали может быть представлена как РТК, состоящая из рисунка, пояснительного текста на рисунке (указывающего, например, порядок обхода опорных точек каждым инструментом), таблиц координат опорных точек и схемы наладки инструмента.

Режимы резания, назначенные при разработке операционной технологии, при составлении РТК должны быть уточнены.

Скорость резания при токарной обработке на каждом переходе может быть задана или постоянной, или изменяющейся по определенному закону. В любом случае она определяется частотой вращения шпинделя и регулируется или бесступенчато, или переключением ряда частот вращения шпинделя. Зависимость между частотой вращения шпинделя n и скоростью резания v имеет вид $n = 1000v/(\pi d)$, где d — диаметр обрабатываемой поверхности вращающейся заготовки. При бесступенчатом регулировании n заданная скорость резания реализуется практически без отклонения, а при ступенчатом регулировании отклонения v определяются параметрами ряда частот вращения шпинделя.

Ряд частот вращения шпинделя $n_j (j = 1, 2, \ldots, N)$, как правило, строят по закону геометрической прогрессии со знаменателем φ:

$$n_j = n_1 \varphi^{j-1}.$$

Для *горизонтальных проходов* (при постоянном диаметре точения d_i) необходимо выбрать одну из двух соседних частот вращения ряда (n_j и n_{j+1}), между которыми лежит значение требуемой частоты $n_р$, обеспечивающей заданную скорость резания $v_р$. В связи с тем что превышение технологически обоснованной скорости резания нежелательно, из двух соседних частот вращения ряда выбирают ту, которая соответствует меньшему значению скорости резания.

Для *наклонных* или *вертикальных проходов* ($d_i = \text{var}$), например при обработке торца заготовки на токарном станке, рабочий ход разбивают на участки элементарных перемещений, между которыми переключается частота вращения шпинделя. В зависимости от того, уменьшается или увеличивается диаметр, частота вращения шпинделя определяется соответственно начальным или конечным диаметрами на этих участках и заданной скоростью резания. Наибольшее отклонение от заданной скорости на каждом участке

$$\Delta v = v_р(\varphi - 1)/\varphi.$$

На рис. 7.10 приведен график изменения скорости резания при обработке

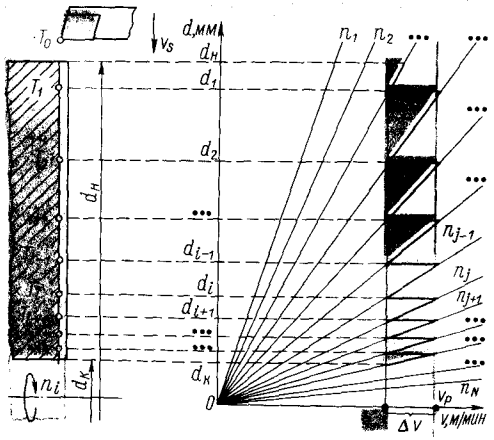


Рис. 7.10. Характер изменения скорости резания при торцовом точении

торца заготовки с наружным диаметром $d_н$ и внутренним $d_к$ в направлении от периферии к центру. Частоты вращения шпинделя переключаются в точках траектории резца T_i, в которых для диаметров d_i и данного ряда частот вращения n_j скорость v равна заданной скорости резания $v_р$.

Скорость подачи инструмента v_s при токарной обработке обычно задают для всех участков траектории значением минутной подачи $s_м = s_0 n$, где s_0 — подача на оборот.

Вспомогательные перемещения производятся на максимальной рабочей подаче или в режиме быстрого хода.

Кодирование и запись управляющей программы

Информацию, полученную при разработке РТК, кодируют кодом, в котором работает заданное УЧПУ. Как уже указывалось, информация, образующая УП, записывается в соответствии с форматом кадра УП (см. п. 1.6).

Характер перемещения задают в кадрах УП соответствующей подготовительной функцией: G00 (позиционирование), G01 (линейная интерполяция, перемещение на рабочей подаче), G02 (круговая интерполяция по часовой стрелке), G03 (круговая интерполяция против часовой стрелки), G10 (линейная интерполяция на ускоренном ходу), G90 (задание размеров в абсолютных значениях), G91 (задание размеров в приращениях) и др.

Размерные перемещения у токарных станков в большинстве случаев кодируют с адресами X (радиальное) и Z (продольное). В большинстве моделей УЧПУ с адресом X в абсолютных значениях X указывают диаметральный размер, а в приращениях — радиальное смещение. В новейших моделях УЧПУ размеры в приращениях кодируют с адресами U (по оси X) и W (по оси Z) без указания функции G91. При этом возможно смешанное задание размеров, например по оси X в абсолютных значениях, а по оси Z в приращениях и наоборот. Естественно, что в УП для УЧПУ, ориентированных только на один способ задания размеров,

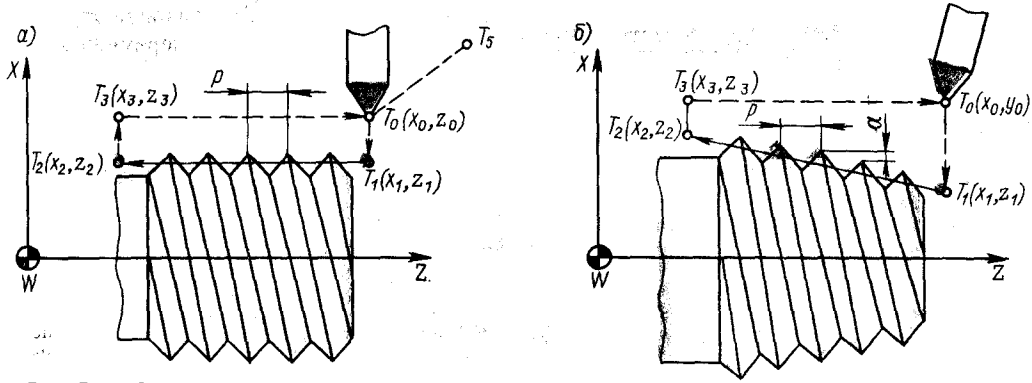


Рис. 7.11. Схема организации прохода для нарезания резьбы: *а* — цилиндрической; *б* — конической

подготовительные функции G90 и G91 не указывают.

Проход для нарезания винтовой поверхности с постоянным шагом кодируют подготовительной функцией G33. Шаги винтовой поверхности в направлении осей координат X и Z задают параметры I и K. Например, участок траектории инструмента $T_0 - T_1 - T_2 - T_3 - T_0$ (рис. 7.11, *а*), включающий проход для нарезания цилиндрической резьбы ($T_1 - T_2$), записывается кадрами:

```
N{i}   G90 G00 X{x1} ...
N{i+1}     G33 Z{z2} K{P}
N{i+2}     G00 X{x3}
N{i+3}         Z{z0}
```

При нарезании конической резьбы (рис. 7.11, *б*):

```
N{i}   G90 G00 X{x1}
N{i+1}     G33 X{x2} I{α} Z{z2} K{P}
N{i+2}     G00 X{x3}
N{i+3}         Z{z0}
```

Для уменьшения динамической ошибки траектории при изменении направления движения инструмента подготовительной функцией G09 кодируют торможение в конце отработки кадра. Например, участок траектории $T_5 - T_0$ (рис. 7.11, *а*), на котором при подходе к точке T_0 необходимо снизить скорость подачи, записывается кадром

```
N{i} G90 G11 G09 X{x0} Z{z0}
```

Выдержку времени при отработке операций с известной продолжительностью кодируют подготовительной функцией G04. Продолжительность (мкс) паузы записывается в кадре словом с адресом G04. Например, выстой инструмента в 1 с при цековании отверстий записывается кадром

```
N{i} G04... X1000...
```

В некоторых УЧПУ принята форма записи выдержки времени заданием продолжительности отработки фиктивного перемещения по координате X с заданной рабочей подачей. Например, та же пауза в 1 с записывается подготовительной функцией G04 и перемещением 3 мм со скоростью подачи 180 мм/мин:

```
N{i} G04... X3000 F180...
```

Имеются и другие особенности кодирования информации при составлении УП для токарных станков.

Поясним сказанное конкретными примерами для условного УЧПУ с форматом

```
% : / DS N03 G2 X+053 Z+053 I+053
K+053 B053 A+032 F031 S04 T04 M2 LF
```

Напомним, что при таком формате УЧПУ воспринимает явную десятичную запятую, символы начала программы, главного кадра и пропуска кадра. Кроме того, в числовых значениях по адресам N, X, Z, B, A, I, K, F, S, T могут быть опущены незначащие нули, знак плюс можно не писать (кроме адреса A); функции подачи и главного движения записываются истинными значениями величин.

Пример 1. *Обточка детали типа «вал».* Для рассматриваемого примера (рис. 7.12) перемещение инструмента от точки *0* (Tk0) до точки *5* (Tk5) может быть запрограммировано в абсолютной системе координат (в исходных размерах). Все указываемые в УП размеры относятся к нулевой точке детали W, в которую по команде

```
N{i} G92 Z300. LF
```

смещают нуль станка (TkM). Эта команда задается в одном из первых кадров программы. Следует указать, что при задании перемещений в абсолютных размерах система выводит инструмент в точку, определенную координатами. Напомним, что все значения по координате X задаются диаметрами, а не радиусами. Следовательно, для рассматриваемого примера все числовые значения в программе будут положительными. Предположим, что в Tk0 центр инструмента выводится пятью предыдущими кадрами. Далее следуют перемещения из Tk0 в Tk1, из Tk1 в Tk2, из Tk2 в Tk4:

```
N6 G90 G00 G60 X30. Z140. LF
N7     G01 Z95.5 F85. S800 LF
N8     G96 X58. Z71. S75. LF
```

В шестом кадре подготовительные функции определяют: G00 — позиционирование на быстром ходу; G60 — точный подход к заданной точке; G90 — указание, что размеры задаются в абсолютной системе координат. Значения $x = 30$ мм и $z = 140$ мм определяют положение Tk1.

В седьмом кадре G01 — линейная интерполяция (или перемещение с рабочей подачей)

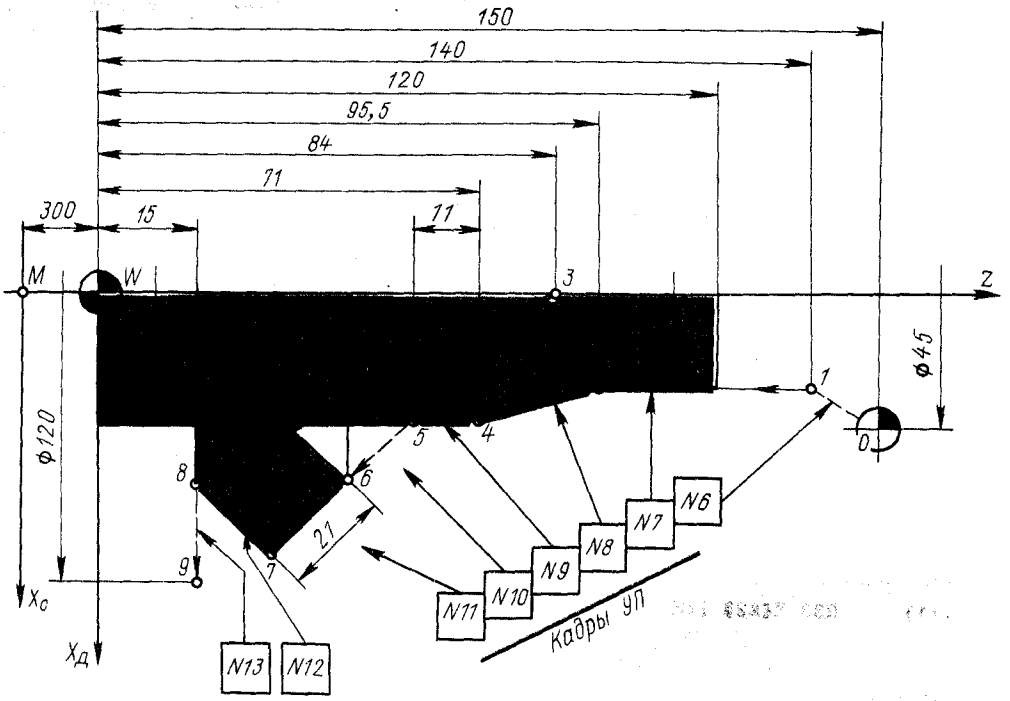


Рис. 7.12. Построение траектории инструмента при обточке вала

при подаче (адрес F), равной 85 мм/мин до Tk2, определенной координатой $z=95{,}5$ мм. Частота вращения шпинделя 800 об/мин.

По команде восьмого кадра инструмент перемещается из Tk2 в Tk4, координаты которой $x=58$ мм, $z=71$ мм. На кадр N8 распространяется подготовительная функция G01 (линейная интерполяция) кадра N7, поэтому в кадре N8 она не повторяется. Новыми в кадре N8 являются команды G96 и S75. Сочетание этих команд определяет условие обработки участка от Tk2 до Tk4 с постоянной скоростью резания 75 м/мин. Эта скорость в м/мин программируется с адресом S, а подготовительная функция G96 показывает, что частота вращения шпинделя при точении рассматриваемого участка будет регулироваться автоматически в целях поддержания запрограммированной скорости.

В некоторых случаях может возникнуть необходимость (при постоянной скорости резания) блокировать дальнейшее возрастание частоты вращения шпинделя, т. е., начиная с определенной границы, продолжать обработку с постоянной частотой. Тогда в программу вводят подготовительную функцию G92 и предельную частоту вращения с адресом S.

Если бы это было необходимо в данном примере, то перед кадром N8 надо было бы записать

```
N{i} G92 S1500 LF
```

Здесь S1500 — принятая для данного примера предельно допустимая частота вращения шпинделя (1500 об/мин).

Для условий обработки, определенных кадром N8, подача остается прежней, заданной в кадре N7.

Далее следуют кадры:

```
N9  G91 G97 Z-11. S410 LF
N10 G90 G10 Z84. X0. B54.3 A+135. LF
N11     G11 G96 B75.3 F45. S75. LF
N12         B79.3 A+148. LF
N13     G63 Z15. X120. F180. LF
```

В кадре N9 подготовительная функция G91 указывает, что размеры заданы в приращениях ($z=-11$ мм), знак минус определяет направление перемещения. В кадре задается также новая частота вращения шпинделя, равная 410 об/мин (адрес S). То, что она выражена в об/мин, указывает подготовительная функция G97.

Задать и закодировать в УП перемещение инструмента от Tk5 до Tk8 целесообразно в полярных координатах, которые также являются абсолютными.

Первое перемещение (до Tk6) задано кадром N10, в котором подготовительные функции означают: G90 — абсолютная система координат; G10 — линейная интерполяция быстрого хода; Z84. и X0. — координаты центра полярной системы координат,

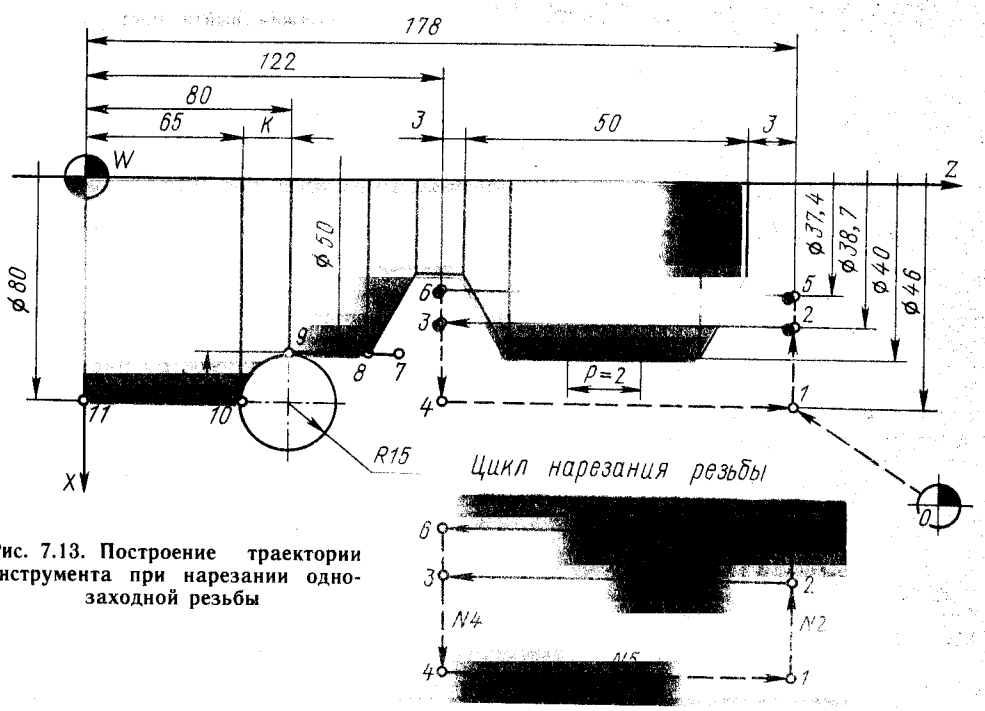


Рис. 7.13. Построение траектории инструмента при нарезании однозаходной резьбы

т. е. координаты Tk3; B54,3 — радиус (мм), соответствующий положению Tk6, т. е. точки, в которую должен придти инструмент; A+ +135 — угол, который составляет радиус с осью *Z*. Следует указать, что угол всегда относится (указывается) к первой запрограммированной в кадре оси в положительном направлении, т. е. в данном случае от $+Z$ к $+X$.

Кадр N11 определяет перемещение инструмента от Tk6 до Tk7. При этом на участке точения обеспечивается заданная (45 мм/мин) подача. Это определяет подготовительная функция G11 (линейная интерполяция подачи). Подготовительная функция G96 совместно с записью S75 показывает, что на участке будет сохранена постоянная скорость резания 75 м/мин. Положение конечной точки участка задается радиусом B75.3 (54,3+ +21=75,3 мм). Угловое положение радиуса остается прежним, т. е. таким, каким оно было задано в кадре N10.

Кадр N12 обеспечивает перемещение инструмента с сохранением всех ранее определенных условий из Tk7 в Tk8, положение которой задано углом 148° и радиусом 79,3 мм.

По команде кадра N13 инструмент придет в Tk9 (координаты $z=15$ мм; $x=120$ мм). При этом подготовительная функция G63 указывает на позиционирование (с заданной подачей 180 мм/мин) с остановкой шпинделя по достижении позиции.

Пример 2. *Обработка валика с однозаходной резьбой.* В программе отметим кадры для обточки дуги и нарезания резьбы (рис. 7.13).

Перемещения по дуге окружности кодируют с указанием подготовительных функций круговой интерполяции G02 (перемещение по часовой стрелке) и G03 (перемещение против часовой стрелки).

Перемещение инструмента из Tk9 в Tk10 (рис. 7.13) определяется кадром

```
N{i} G90 G03 X80. Z65. I15. K-15. LF
```

Здесь G90, G03 — подготовительные функции, определяющие соответственно задание координат опорных точек в абсолютных размерах и круговую интерполяцию против часовой стрелки; X80, Z65 — координаты конечной точки (Tk10); I — параметр интерполяции по оси *X*, равный смещению (15 мм) по оси *X* в направлении конечной точки с соответствующим знаком (плюс); K — параметр интерполяции по оси *Z*, равный смещению (15 мм) по оси *Z* в направлении конечной точки с соответствующим знаком (минус).

Если перемещение инструмента предполагается от Tk10 к Tk9, то оно будет выражено кадром

```
N{i} G90 G02 X50. Z80. I-15. K15. LF
```

Здесь конечной точкой является Tk9 с координатами $x=50$ мм и $z=80$ мм, круговая интерполяция по часовой стрелке (G02).

Круговая интерполяция может быть задана и через радиус. В этом случае перемещение из Tk9 в Tk10 определяется кадром

```
N{i} G90 G02 X80. Z65. B15. LF
```

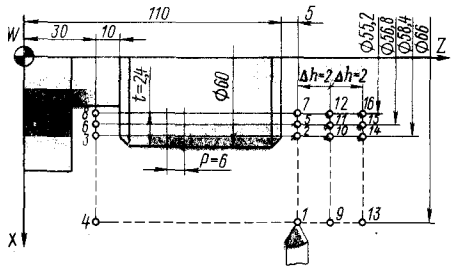


Рис. 7.14. Построение траектории инструмента при нарезании многозаходной резьбы

т. е. указывают координаты конечной точки (Tk10) и радиус (15 мм), адрес радиуса B.

При перемещении из Tk10 в Tk9 кадр УП имеет вид

```
N{i} G90 G02 X50. Z80. B15. LF
```

При задании круговой интерполяции через радиус его знак определяется углом дуги. Если угол дуги меньше 180°, то радиус указывают с плюсом, если больше 180° — с минусом. Полные окружности следует программировать по квадрантам с помощью параметров интерполяции *I* и *K*.

Кодированию процесса нарезания резьбы, как уже говорилось (см. рис. 7.18), предшествует расчет координат опорных точек траектории. Эти точки выбирают исходя из схемы распределения припуска при нарезании и числа проходов.

Например, *при нарезании резьбы с шагом* $P=2$ мм и высотой профиля 1,3 мм опорные точки могут быть установлены, как показано на рис. 7.13. По оси *Z* точки будут размещены в плоскостях вне обрабатываемой детали (смещение по 3 мм в обе стороны от нарезаемого участка резьбы на длине 50 мм). По оси *X* точки будут располагаться: Tk1 и Tk4 — на диаметре 46 мм (вне детали); Tk2 и Tk3 — на диаметре первого прохода (38,7 мм); Tk5 и Tk6 — на диаметре второго (последнего) прохода (37,4 мм).

Кадры УП для нарезания резьбы будут иметь следующий вид:

```
N1  G90 G00 G60 Z178. X46. S800 LF
N2          X38.7 LF
N3      G33 Z122. K2. M08 LF
N4      G00 X46. LF
N5          Z178. LF
N6          X37.4 LF
N7      G33 Z122. K2. LF
N8      G00 X46. M09 LF
```

В кадре N1 кодируются позиционирование на быстром ходу (G00), точный выход в заданную точку Tk1 (G60), абсолютное задание размеров (G90), координаты точки, в которую должен выйти инструмент ($z=178$ мм; $x=46$ мм), частота вращения шпинделя 800 об/мин.

Кадр N2 кодирует переход из Tk1 в Tk2.

В кадре N3 дается команда на осуществление первого прохода при нарезании резьбы. Подготовительная функция G33 устанавливает зависимость между частотой вращения шпинделя и подачей. По адресу Z указывается координата конечной точки прохода (Tk3), по адресу K задается шаг резьбы. Функцией M08 кодируется включение охлаждения.

Кадрами N4 и N5 инструмент на быстром ходу последовательно смещается из Tk3 в Tk4 (кадр N4) и из Tk4 в Tk1 (кадр N5). Далее (кадром N6) инструмент выводится в Tk5 и потом в Tk6 (кадром N7). Кадром N8 инструмент выводится в Tk4, при этом отключается охлаждение (функция M09).

Пример 3. *Нарезание многозаходных резьб с постоянным шагом.* Такая обработка кодируется в УП по циклу со смещением точки запуска (рис. 7.14). При этом первый заход программируют так же, как и однозаходную резьбу, а после первого захода смещают начальную точку (точку запуска) на определенную величину Δh, зависящую от шага *P* резьбы и числа заходов i: $\Delta h=P/i$. Для двухзаходной резьбы с шагом 6 мм смещение точки запуска $\Delta h=3$ мм. Для трехзаходной резьбы с таким же шагом $\Delta h=2$ мм, а точек запуска будет три — по числу заходов (см. рис. 7.14).

Программа для нарезания трехзаходной резьбы на детали, показанной на рис. 7.14, будет иметь следующий вид:

```
N1  G90      S800 LF
N2       G00 X66. Z115. LF     ...Tk1
N3           X58.4             ...Tk2
N4       G33 Z30. K6. M08 LF   ...Tk3
N5       G00 X66. LF           ...Tk4
N6           Z115. LF          ...Tk1
N7           X56.8 LF          ...Tk5
N8       G33 Z30. K6. LF       ...Tk6
N9       G00 X66. LF           ...Tk4
N10          Z115. LF          ...Tk1
N11      G60 X55.2 LF          ...Tk7
N12      G33 Z30. K6. LF       ...Tk8
N13      G00 X66. LF           ...Tk4
N14          Z117. LF          ...Tk9
N15          X58.4 LF          ...Tk10
N16      G33 Z30. K6. LF       ...Tk3
N17      G00 X66. LF           ...Tk4
N18          Z117. LF          ...Tk9
N19          X56.8 LF          ...Tk11
N20      G33 Z30. K6. LF       ...Tk6
N21      G00 X66. LF           ...Tk4
```

```
N22        Z117. LF          ...Tk9
N23    G60 X55.2 LF          ...Tk12
N24    G33 Z30. K6. LF       ...Tk8
N25    G00 X66. LF           ...Tk4
N26        Z119. LF          ...Tk13
N27        X58.4 LF          ...Tk14
N28    G33 Z30. K6. LF       ...Tk3
N29    G00 X66. LF           ...Tk4
N30        Z119. LF          ...Tk13
N31        X56.8 LF          ...Tk15
N32    G33 Z30. K6. LF       ...Tk6
N33    G00 X66. LF           ...Tk4
N34        Z119. LF          ...Tk13
N35    G60 X55.2 LF          ...Tk16
N36    G33 Z30. K6. LF       ...Tk8
N37    G00 X66. M09 LF       ...Tk4
N38        Z115. M00 LF      ...Tk1
```

В приведенной УП первый заход цикла нарезания начинается с Tk1. В эту точку инструмент приводится по команде кадра N2. Выполнив три прохода (кадры N4, N8, N12), инструмент после его перемещения из Tk8 в Tk4 (кадр N13) смещается не в Tk1, а в Tk9 по команде кадра N14. Из этой точки начинается второй заход цикла нарезания резьбы (кадры N16, N20, N24). После второго захода инструмент смещается (кадр N25) в Tk13 — начало третьего захода цикла нарезания резьбы. В кадрах УП для последнего хода нарезания позиционирование по оси *X* (кадры N11, N23, N35) осуществляется с точным подходом к заданной точке (подготовительная функция G60). Это целесообразно с точки зрения повышения точности нарезаемой резьбы, так как при последнем проходе резьба получает окончательный размер. Следует напомнить также, что в рассмотренной программе действие подготовительной функции G90 (абсолютный размер) распространяется на все кадры УП. Отменить ее может лишь команда G91 (размер в приращениях). Команды же, определяющие характер перемещения (G00 — быстрый ход; G60 — точное позиционирование; G33 — нарезание резьбы), взаимно отменяют одна другую при задании их в кадре УП. Каждая из команд действует в кадре, в котором записана, и в последующих до появления другой команды с адресом G.

Пример 4. *Нарезание конических резьб.* Программа составляется с указанием шага перемещения инструмента одновременно по двум осям: по оси *Z* (подача по оси *Z* на один оборот шпинделя) с адресом K и по оси *X* (подача по оси *X* на один оборот шпинделя) с адресом I.

При программировании определяется положение опорных точек на траектории перемещения инструмента. При этом длина конуса

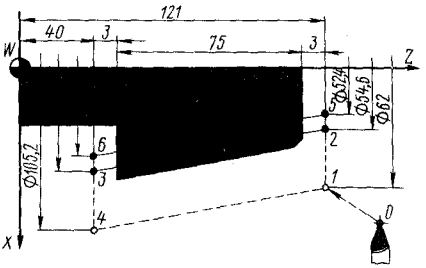


Рис. 7.15. Построение траектории инструмента при нарезании конической резьбы

принимается с учетом врезания и перебега инструмента.

Программа для нарезания конической резьбы с шагом 3 мм по оси *Z* и шагом 0,8 мм по оси *X* будет иметь следующий вид (рис. 7.15):

```
N1   G90 S600 LF
N2       G00 Z121. X62. LF
N3           X54.6 M08 LF
N4       G33 Z40. X97.8 K3. I0.8 LF
N5       G00 X105.2 LF
N6       G10 Z121. X62. LF
N7       G60 X52.4 LF
N8       G33 Z40. X95.6 K3. I0.8 LF
N9       G00 X105.2 M09 LF
N10      G10 Z121. X62. M00 LF
```

Пример 5. *Нарезание резьбы метчиком на токарных станках с применением патрона-компенсатора.* Функциональная зависимость между частотой вращения шпинделя и подачей отсутствует. Характер работы УЧПУ указывается в кадре подготовительной функцией G63. Кроме того, программируются частота вращения шпинделя (адрес S) и подача (адрес F), соответствующая шагу нарезаемой резьбы.

Вариант УП для нарезания резьбы метчиком (рис. 7.16):

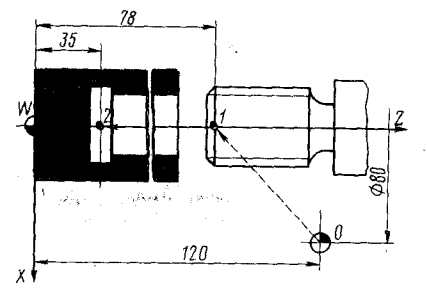


Рис. 7.16. Построение траектории инструмента при нарезании резьбы на токарном станке метчиком с применением патрона-компенсатора

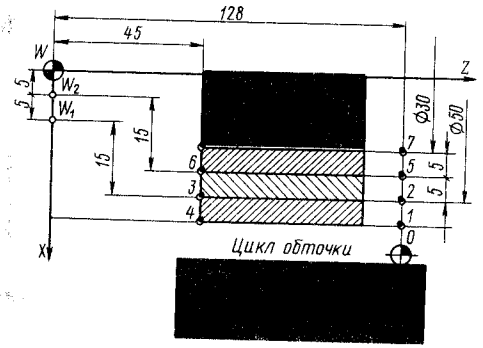


Рис. 7.17. Построение траектории инструмента при точении с использованием команд на сдвиг нуля

```
N1 G90 G00 Z78. X0. LF
N2     G97 S25 M03 LF
N3     G95 F1.5 M08 LF
N4     G63 Z35. M05 LF
N5     G04 X5. M09 LF
N6     G63 Z78. M04 LF
N7     G94 G00 Z120. X80. M00 LF
```

Кадром N1 центр инструмента из Tk0 выводится в Tk1 с координатами $x=0$ и $z=78$ мм на ускоренной подаче (G00). Размеры задаются в абсолютных координатах (G90).

В кадре N2 задаются условия работы: G97 — частота вращения шпинделя в об/мин; M03 — вращение шпинделя по часовой стрелке.

В кадре N3: G95 — указание на то, что подача задается в мм/об; M08 — включение охлаждения.

В кадре N4: G63 — подготовительная функция, указывающая на метод нарезания резьбы (метчик с патроном-компенсатором); Z35 — координата конечной точки (Tk2) по оси Z; M05 — останов шпинделя при достижении инструментом конечной точки.

Кадром N5 программируется выдержка инструмента в Tk2, равная 5 с. Отключается охлаждение (M09).

В кадре N6: включение шпинделя против часовой стрелки (M04) и возврат инструмента в Tk1 ($z=78$ мм).

В кадре N7: G94 — задание подачи в дальнейшем в мм/мин; G00 — перемещение по ускоренной подаче в Tk0 с координатами $x=80$ мм и $z=120$ мм; M00 — программируемый останов.

Рассмотренная программа может быть записана более просто, если использовать функции постоянных циклов (при наличии таковых у УЧПУ станка). Так, цикл перемещения метчика из Tk1 в Tk2 и обратно при некоторой выдержке в Tk2 после останова шпинделя, реверс шпинделя, включение и выключение охлаждения задаются единой подготовительной функцией G84. В этом случае программа нарезания резьбы метчиком будет иметь вид:

```
N1 G90 G00 Z78. X0. LF
N2     G97 G95 S25 F1.5 LF
N3     G84 Z35. LF
N4     G00 G94 Z120. X80. LF
N5     G80 M00 LF
```

В кадре N5 функцией G80 отменяется введенный цикл G84.

При программировании токарной обработки в ряде случаев полезно использовать возможности УЧПУ по сдвигу нулевой точки. Этот сдвиг кодируется подготовительными функциями G92, G54, G55, G59. Функцией G92 обычно смещают нулевую точку координат станка в нулевую точку координат детали в начале программы. Остальные функции применяют для сдвига нуля станка в процессе дальнейшего программирования. Например, для обеспечения заданного припуска на чистовую обработку заданный контур можно смещать по любой из осей на определенную величину.

Пример 6. *Токарная обработка со сдвигом нулевой точки станка.* Обточку детали с конечным (заданным) диаметром 30 мм можно запрограммировать без особых промежуточных расчетов снимаемого припуска за счет смещения начала координат по оси X. При исходном положении резца в Tk0 программа может быть записана в следующем виде (рис. 7.17):

```
N1       G59 X10. S800 LF
N2 G90   G60 X30. LF
N3       G01 Z45. F75. LF          ...Tk3
N4 G91   G00 X5. LF                ...Tk4
N5           Z83. LF               ...Tk1
N6           X-5. LF               ...Tk2
```

По команде кадра N1 начало координат по оси X смещается на 10 мм в точку W_1. Задается также частота вращения шпинделя.

Поскольку начало координат смещено на 10 мм, резец по команде кадра N2 приходит в Tk2, т. е. будет расположен на траектории, имеющей диаметр 50 мм относительно оси вращения заготовки.

По команде кадров N3—N6 выполняется цикл обточки со снятием одного слоя припуска. Резец последовательно проходит точки *3, 4, 1, 2*. При этом, начиная с кадра N4 по кадр N6, размеры перемещений задаются

в приращениях (указана подготовительная функция G91 в кадре N4).

По команде кадра N7 начало координат по оси X смещается на 5 мм. При этом первоначальное смещение, равное 10 мм, отменяется. Начало координат будет теперь условно в точке W_2 (рис. 7.17):

```
N7       G59 X5. LF
N8   G90 G60 X30. LF
N9       G01 Z45. LF
N10 G91 G00 X5. LF
N11          Z83. LF
N12          X-5. LF
```

Кадром N8 инструмент выводится в Tk6. Далее (кадры N9—N12) программируется его перемещение по траектории *5—6—3—2—5*.

Далее следуют кадры:

```
N13      G59 X0. LF
N14 G90 G60 X30. LF
N15      G01 Z45. LF
N16 G91 G00 X5. LF
N17          Z83. LF
N18          X-5. M00 LF
```

Кадр N13 отменяет смещение начала координат по оси X (величина x задается равной нулю).

Кадры N14—N18 обеспечивают перемещение резца по траектории *5—7—8—6—5—7*.

Используя команды на сдвиг начала координат, следует иметь в виду наличие подготовительной функции G53. С ее помощью можно производить покадровое подавление сдвига начала координат, поскольку она действует лишь в том кадре, в котором записана.

Рассмотренный пример наглядно показывает, что в процессе программирования довольно часто приходится кодировать одни и те же движения инструмента, которые можно выделить в отдельные замкнутые циклы (см. рис. 7.17).

Пример 7. *Чистовая обработка детали типа «вал».* Используя приведенные сведения, напишем программу для чистового прохода обработки детали типа «вал» (первый установ — см. рис. 7.9, табл. 7.4—7.6). Центр резца совмещен с точкой *0*. Траектория движения центра инструмента *0—2—3—4—5—6—7—10—11—12*. Точки *8* и *9* инструмент минует, так как это зона обработки канавочным резцом. Программа записывается в виде:

```
N1           T0303 S800 M03 LF
N2           M06 LF
N3       G92 Z180. LF
N4   G90 G00 Z{z0} X{x0} LF
N5       G01 Z209. X23. F45. M08 LF
N6           Z180. LF
N7           X36. LF
N8           Z179. X38. LF
N9           Z134.3 LF          ...Tk7
N10          X48. LF            ...Tk9
N11          Z133.3 X50. LF
N12          Z100. M09 LF
N13          X54. M00 LF
```

7.5. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ТОКАРНЫХ СТАНКОВ, ОСНАЩЕННЫХ УЧПУ КЛАССА CNC

Программирование для токарных станков, оснащенных УЧПУ класса CNC(HNC), имеет определенные особенности. При разработке УП для таких станков возможно широкое использование подпрограмм различного вида, упрощенных схем задания интерполяции и др.

Подпрограммы, используемые в программировании, могут быть стандартными (вложенными в память ЭВМ УЧПУ) или составляемыми в процессе программирования (формируемыми) при разработке каждой конкретной УП.

Формируемые (составляемые) подпрограммы

Формируемые подпрограммы используют для задания многократно повторяющихся в определенной последовательности движений и функциональных процессов по ходу разработки основной УП.

Ввод и кодирование. Формируемые подпрограммы можно вводить с перфоленты одновременно с основной программой или в память УЧПУ путем ручного ввода. Программировать следует в приращениях.

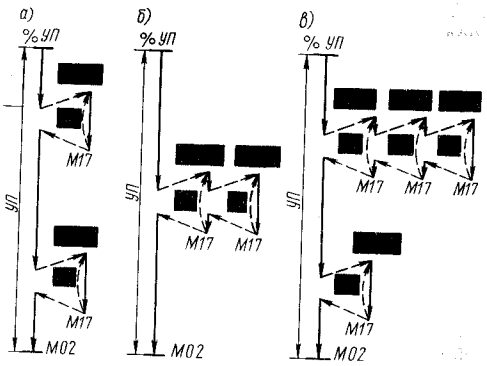


Рис. 7.18. Схемы вложения подпрограмм

Формируемые подпрограммы кодируются адресом *L* и номером (двух- или трехзначным числом). А когда подпрограмма вызывается в кадре основной УП, после номера подпрограммы указывают число (обычно двузначное), определяющее количество прогонов данной подпрограммы при вызове. Так, кодовое значение L12204 указывает, что подпрограмма (адрес L) имеет номер 122 и должна быть отработана четыре раза после ее вызова (число 04).

Вложение подпрограмм. При необходимости в одну подпрограмму может быть вложена своя подпрограмма, в которую вложена еще подпрограмма и т. д., т. е. возможно двойное или тройное вложение подпрограмм и др.

При единичном вложении в основную УП вложены единичные подпрограммы с определенным числом прогонов. Так, на рис. 7.18, *а* показана схема, когда в основную УП вложены подпрограммы L10305 (подпрограмма номер 103 с числом прогонов 05 после ее вызова) и L10802 (подпрограмма номер 108 с числом прогонов 02 после ее вызова). Эти подпрограммы по их коду вызываются в определенном месте основной УП и отрабатываются.

При двойном вложении (рис. 7.18, *б*) в определенном месте основной УП вызывается подпрограмма, например L12306 (подпрограмма номер 123 с числом прогонов 06). Эта подпрограмма начинает отрабатываться и в процессе отработки вызывает еще подпрограмму, например L14012 (подпрограмма номер 140 с числом прогонов 12).

При тройном вложении (рис. 7.18, *в*) при отработке основной УП в подпрограмме, например L11103, предусмотрена отработка подпрограммы L11814, в которую входит еще подпрограмма, например L12688.

Естественно, что в одну основную УП можно ввести различное число подпрограмм с разным вложением. Современные УЧПУ для токарных станков могут хранить в памяти 100 подпрограмм и более.

Пример. *Программирование с вложением подпрограмм.* Предполагается канавочным резцом T1502 (код резца T15; 02 — номер корректора) проточить ряд канавок (рис. 7.19). Для обработки детали используются подпрограммы L124 и L123 (номера заданы условно).

Подпрограмма L124:

```
N1 G91 G00 Z-5. LF
N2     G01 X-16. F25. LF
N3     G00 X16. LF
N4     M17 LF
```

Подпрограмма L124 предусматривает задание размеров в приращениях, смещение инструмента по оси *Z* на 5 мм на ускоренном ходу (кадр N1), на подаче 25 мм/мин смещение по оси *X* на 16 мм (кадр N2) и возврат на ускоренном ходу на величину $x = 16$ мм (кадр N3). Кодовое значение M17 означает конец подпрограммы. Рассмотренной подпрограммой кодируется перемещение из Tk1 в Tk3, из Tk3 в Tk4 и возврат из Tk4 в Tk3, если рассматривать начальный участок траектории движения инструмента (рис. 7.19).

Подпрограмма L123:

```
N1 G91 G00 X-11. F35. LF
N2     G00 X11. LF
N3         L12402 LF
N4         M17 LF
```

Подпрограмма L123 служит для обеспечения траектории перемещения инструмента при проточке всей ступенчатой канавки. Подпрограмма предусматривает перемещение резца по оси *X* на рабочей подаче на 11 мм и возврат резца на ускоренной подаче (от Tk1 до Tk2 и от Tk2 до Tk1 — см. начальный участок траектории). Далее подпрограммой 123 предусматривается двойной прогон подпрограммы 124. Первый прогон: смещение инструмента из Tk1 в Tk3 на 5 мм, рабочий ход от Tk3 до Tk4 на рабочей подаче и возврат резца от Tk4 до Tk3 на ускоренной подаче. Второй прогон: из Tk3 в Tk5, из Tk5 в Tk6 и из Tk6 в Tk5.

Как видно из подпрограммы L123, вызов вложенной подпрограммы L124 с двойным прогоном осуществляется кадром N3.

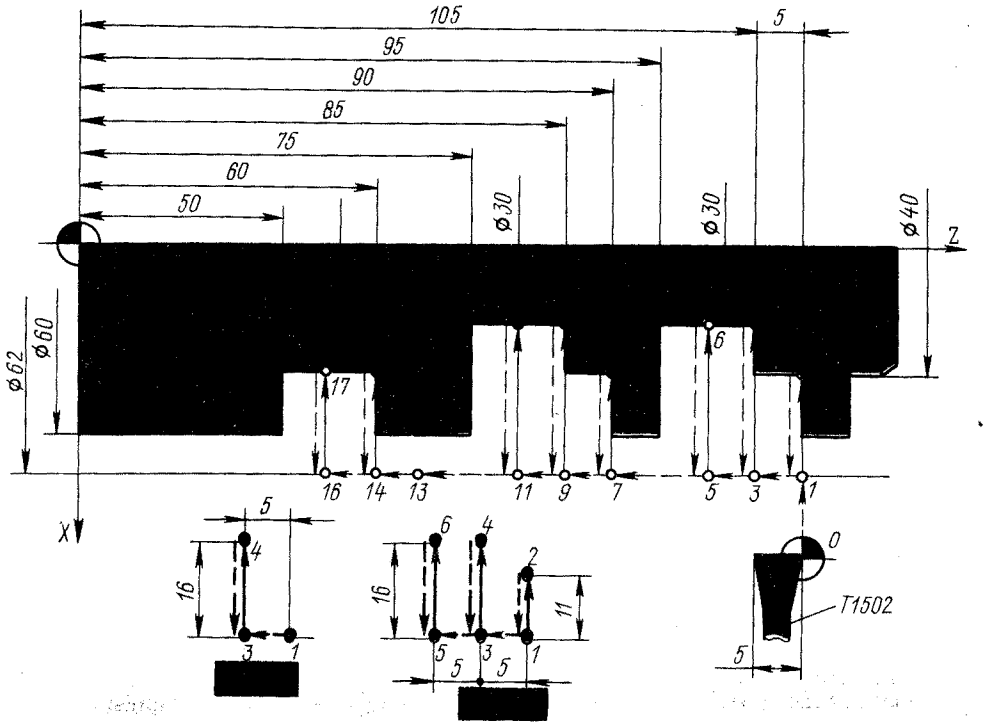


Рис. 7.19. Построение траектории инструмента при обработке канавок с использованием подпрограмм

При кодировании основной УП разработанные подпрограммы L124 и L123 должны быть или введены под соответствующими номерами (L124 и L123) в память УЧПУ с его пульта, или записаны на перфоленту вместе с основной УП.

С учетом использования подпрограмм основная УП для обработки детали, показанной на рис. 7.19, будет иметь следующий вид:

```
% LF
N1  G90 G94 S450 T1502 LF
N2      G00 X62. Z110. LF
N3          L12301 LF
N4  G90 G00 Z90. LF
N5          L12301 LF
N6      G59 X10. LF
N7  G90 G00 X62. Z65. LF
N8          L12402 LF
N9      G59 X0. LF
N10         M00 LF
```

В кадре N1 заданы общие условия обработки: G90 — размеры в абсолютных значениях; G94 — подача в мм/мин; частота вращения шпинделя 450 об/мин; резец с кодовым номером T15 и с корректором 02.

Кадром N2 инструмент выводится в Tk1.

Кадр N3 вызывает подпрограмму L123 и указывает, что она имеет один прогон.

Кадром N4 инструмент позиционируется из Tk5 в Tk7, а в Tk5 он приходит после отработки подпрограммы L123. Здесь обязательно указание режима G90, так как подпрограммы почти всегда предполагают работу в приращениях.

Кадр N5 опять вызывает подпрограмму L123. После отработки кадра N5 инструмент приходит в Tk11.

Кадром N6 смещают начало координат по оси *X* на 10 мм. Это позволяет при обработке канавки с диаметром 50 мм использовать подпрограмму L124.

Кадром N7 инструмент позиционируется в Tk13, которая (с учетом смещения начала координат по оси *X*), будет расположена фактически на диаметре 82 мм.

Кадром N8 вызывается подпрограмма L124 с двойным прогоном. При отработке кадра инструмент последовательно из Tk13 проходит точки *14, 15, 14, 16, 17, 16.*

Задание ограничений. При программировании токарной обработки в ряде случаев ограничивают рабочую зону. Это делается для защиты станка от повреждений при ошибках программиста

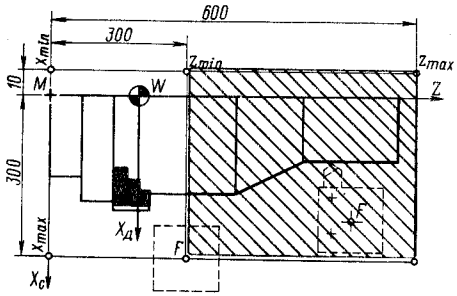


Рис. 7.20. Схема ограничений рабочей зоны

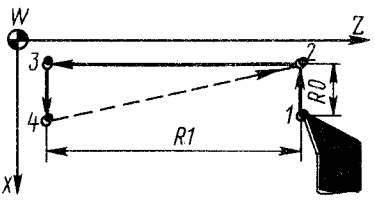


Рис. 7.21. Схема перемещения инструмента при использовании постоянных (типовых, стандартных) подпрограмм, задаваемых формальными параметрами

или оператора. Введенные в УП ограничения действуют как программные концевые выключатели. Кадры с указанием ограничений обычно приводятся в начале УП. Ограничения задают с помощью подготовительных функций G25 (минимальное ограничение рабочей зоны) и G26 (максимальное ограничение рабочей зоны). Например, два кадра УП ограничивают перемещение инструмента в зоне с координатами $z = 300 \div 600$ мм и $x = (+300) \div (-10)$ мм (рис. 7.20):

```
N{i}   G25 X-10. Z300. LF
N{i+1} G26 X300. Z600. LF
```

Стандартные подпрограммы

Подпрограммы для обточки. Типовые, многократно повторяющиеся при обработке разных деталей траектории инструмента в ряде УЧПУ сформированы как постоянные (стандартные) циклы. Эти циклы записаны в памяти УЧПУ в виде подпрограмм, составленных с использованием так называемых *формальных параметров, кодируемых адресом* R (P) или G *и цифрами*. Такие подпрограммы вызывают по номеру, указав при этом требуемые в данной УП значения формальных параметров. Номера подпрограмм, схема траектории инструмента в данной подпрограмме и необходимые параметры обычно имеются в инструкции по программированию для конкретного УЧПУ.

Пример 1. *Подпрограмма для продольной обточки.* Подпрограмма L08 имеет вид:

```
N1 G00 G91 X-R0 FR2 LF
N2      G01 Z-R1 LF
N3          XR0 LF
N4      G00 X-R0 ZR1 LF
N5          M17 LF
```

Согласно этой подпрограмме (рис. 7.21), резец из Tk1 перейдет в Tk2 на величину R0, далее с рабочей подачей, равной R1, произойдет перемещение резца между точками Tk2 и Tk3, потом резец перейдет в Tk4 и далее (кадр N4) придет на ускоренном ходу в Tk2.

Используя приведенную подпрограмму, нетрудно спрограммировать многопроходную обточку деталей (рис. 7.22, *а*). Общая УП для обточки двух поверхностей будет иметь вид:

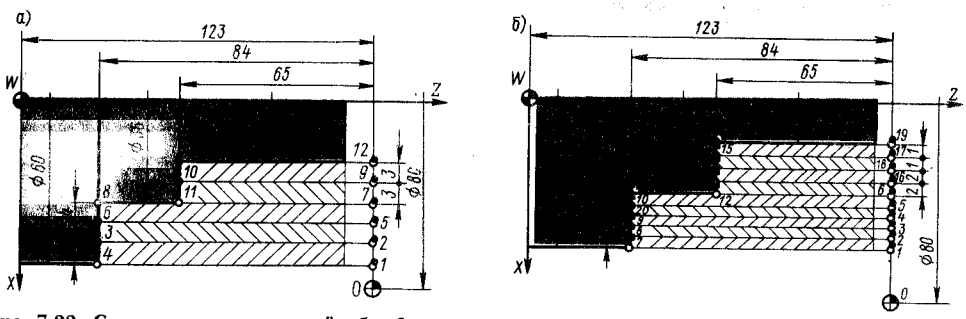


Рис. 7.22. Схемы многопроходной обработки детали с использованием подпрограмм: *а* — с неизменными формальными параметрами; *б* — с изменяющимися формальными параметрами

```
N1 G90 G00 X60. Z123. S850 LF
N2 L0803 R0 4. R1 84. R2 50. LF
N3 L0802 R0 3. R1 65. R2 35. LF
N4 G90 G00 X80. Z123. M00 LF
```

Кадром N1 инструмент позиционируется в Tk1. В кадре N2 вызывается подпрограмма L08, указываются число ее прогонов (три) и значения формальных параметров: R0 (4 мм), R1 (84 мм) и R2 (подача 50 мм/мин). Тройной прогон подпрограммы L08 выводит инструмент в Tk7. Двойной прогон подпрограммы L08 (кадр N3) с параметрами, значение которых определено размерами обрабатываемой детали (вторая ступень), выведет инструмент в Tk12.

С использованием формальных параметров можно составлять кадры основной УП, а не только подпрограмм. Это целесообразно делать, если в процессе программирования параметры меняют числовое значение, а траектория перемещения инструмента имеет однотипный вид.

Для УЧПУ класса CNC возможно также задание программ и подпрограмм при *сцеплении формальных параметров*. В этом случае в программе или подпрограмме должна быть указана вычислительная операция, связывающая те или иные параметры. Вычисления выполняет УЧПУ или в процессе отработки основной УП, или при каждом прогоне подпрограммы, позволяя закономерно изменять те или иные параметры при последовательных прогонах.

Пример 2. *Подпрограмма для продольной обточки с вычислительной операцией.* Рассмотренный в примере 1 процесс обточки можно запрограммировать с уменьшающейся от прохода к проходу толщиной срезаемого слоя, т. е. с изменением параметра R0. В этом случае подпрограмма L05 будет иметь вид:

```
N1 G91 G00 X-R0 FR2 LF
N2      G01 Z-R1 LF
N3          XR0 LF
N4      G00 X-R0 ZR1 LF
N5          R0-R3 LF
N6          M17 LF
```

Подпрограмма L05 отличается от рассмотренной L08 (см. пример 1) тем, что в ней предусмотрена вычислительная операция (кадр N5). Поэтому в кадре УП, где будет вызвана данная подпрограмма (L05), необходимо добавить значение параметра R3:

```
{Ni} L0503 R0 4. R1 84. R2 50.
                R3 0.5 LF
```

При отработке этого кадра при первом прогоне подпрограммы будет удален слой металла 4 мм (R0 — начальное значение), при втором прогоне — 3,5 мм (R0—R3), при третьем — 3 мм (R0—R3—R3). В данном примере шаг уменьшения снимаемого слоя от прохода к проходу принят равным 0,5 мм, т. е. R3 0.5.

Характер сцепления формальных параметров в программах и подпрограммах может быть различным, он задается определенной вычислительной операцией: сложением, вычитанием, умножением, делением, извлечением корня, определением тригонометрической функции (sin, cos) и т. п., а также сочетанием операций.

Особенно удобно вести программирование, если сочетать использование типовых (стандартных) подпрограмм и введение в кадры основной УП определенных вычислительных операций с формальными параметрами.

Так, программа для обработки ступенчатого валика (см. рис. 7.22, *б*) может быть записана в виде:

```
% LF
N1  G90 G00 X60. Z123. S850 LF
N2  L0802 R0 4. R1 84. R2 80. R3 2. LF
N3          R0-R3 LF
N4          L0801 R3 1. LF
N5          R0-R3 LF
N6          L0802 LF
N7          R0+R3,R1 65. LF
N8          L0802 LF
N9          R0-R3 LF
N10         L0802 LF
N11 G90 G00 X80. Z123. M00 LF
```

В соответствии с кадрами N1 и N2 инструмент выводится в Tk1 и выполняет два хода (точки *1—2—8—7—2—3—9—8—3*), удаляя припуск на длине 84 мм при глубине резания 4 мм за один рабочий ход. Эти ходы определены двойным прогоном подпрограммы L08. В кадре N3 задается вычислительная операция с формальными параметрами, указанными в кадре N2. Кадр N4 предусматривает один прогон подпрограммы L08 с новым значением R0, определенный в кадре N3 (ход инструмента между точками *3—4—20—9—4*). Кроме того, задается новое значение параметра R3 (1 мм).

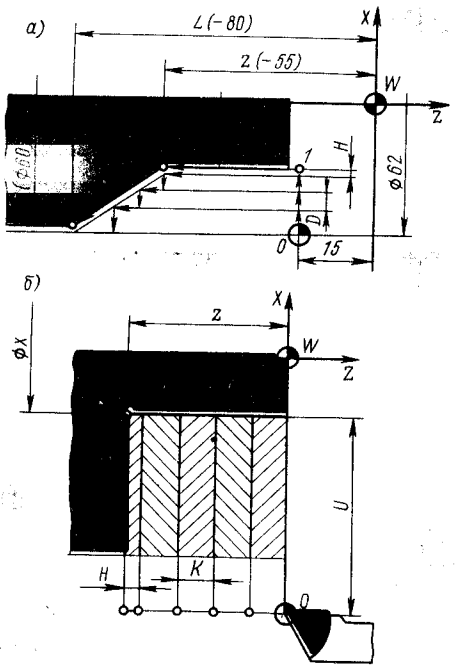


Рис. 7.23. Схемы обработки детали по контуру с использованием стандартной подпрограммы

Кадр N6 обеспечивает двойной прогон программы L08 опять с новым (определенным в кадре N5) значением параметра R0, т. е. происходит обточка детали в два рабочих хода с глубиной резания 1 мм.

Кадр N7 изменяет значение параметра R0 (он увеличивается на величину R3 по сравнению со значением в кадре N4) и вводит новое значение параметра R1. Это обеспечивает двойной прогон подпрограммы L08 на новом участке детали (точки *6—16*) за два хода.

Кадры N9—N11 обеспечивают двойной ход инструмента с глубиной резания 1 мм и возврат его в Tk0.

Стандартные (постоянные) подпрограммы могут быть достаточно сложными и включать как черновые проходы, так и чистовой проход по контуру при заранее заданном припуске на этот чистовой проход.

Пример 3. *Использование подпрограммы для обточки по контуру.* Программа для обточки ступени валика с использованием стандартной подпрограммы может быть записана следующим образом (рис. 7.23, *а*):

```
% LF
N1      G00 X62. Z-15. T0303 LF
N2      G95 F0.5 S1200 M03 LF
N3      G82 X30. Z-55. R6 0. L-80.
            D5. H1. LF
```

В первом кадре N1 резец T0303 с кодовым (03) номером и корректором (03) на ускоренном ходу устанавливается вершиной в исходную точку программы *0* с координатами $x=62$ мм, $z=-15$ мм. В кадре N2 записано, что подача указана в мм/об (G95), и приведено ее значение (F), равное 0,5 мм/об. Указаны частота вращения шпинделя (S), равная 1200 об/мин, и направление вращения — по часовой стрелке (M03). В кадре N3 указаны код стандартной подпрограммы (G82) и числовые значения всех параметров, необходимых для ее осуществления: координаты точек *2* и *3*, глубина резания чернового прохода (D) и припуск на чистовую обточку по контуру (H).

В результате выполнения команд, приведенных в кадрах N1—N3, заготовка будет обработана по контуру от Tk1 до Tk3. После завершения отработки кадра N3 резец T0303 автоматически отводится в зону замены.

В подпрограмме с кодом G75 (рис. 7.23, *б*) предполагается многоходовое поперечное точение. В абсолютных размерах подпрограмма задается кадром

```
N{1} G75 X...Z...K...H...F...LF
```

а в приращениях — кадром

```
N{1} G75 U...W...K...H...F...LF
```

Адреса X(U), Z(W) определяют положение конечной точки профиля, адрес K задает глубину резания, H — припуск на чистовой ход, F — подачу.

Подпрограммы для нарезания резьбы. Для нарезания резьбы на станках с УЧПУ класса CNC также обычно используют стандартные подпрограммы.

Пример 4. *Использование подпрограммы для нарезания наружной цилиндрической резьбы резцом.* В этом случае процесс может быть запрограммирован следующим образом (рис. 7.24, *а*):

```
% LF
N1          T0808 S50 M3 LF
N2          M6 LF
N3      G56 Z-30. LF
N4 G90  G00 X64. Z-8. LF
N5      G01 F300. M8 LF
N6      G76 X57.504 Z-105. K6.
            H3.248 D.8 A4. LF
N7      G53 Z30. M9 LF
N8      G00 X... Z... M00 LF
```

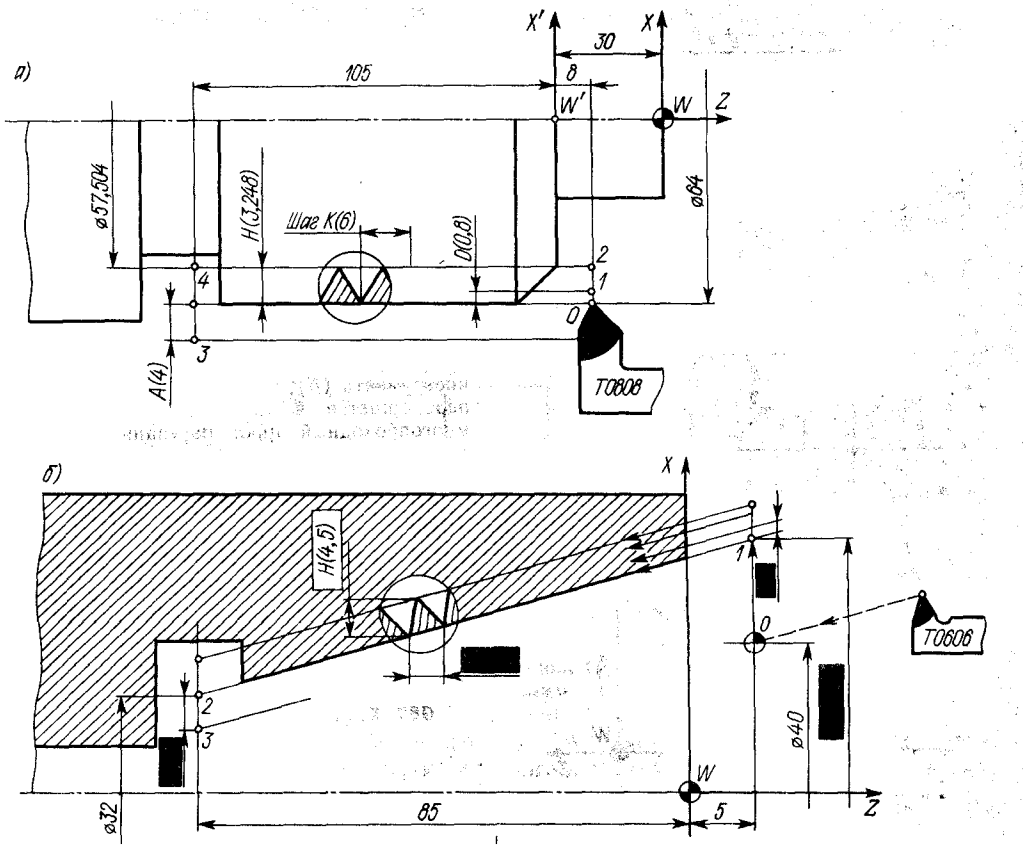


Рис. 7.24. Схемы нарезания резьбы: *а* **— цилиндрической наружной;** *б* **— конической внутренней**

В кадрах N1—N3 указаны инструмент (код T08) и его корректор (номер 08), частота вращения шпинделя (50 об/мин) по часовой стрелке (M3); инструмент установлен в рабочую позицию (M6). Командой G56 центр координат детали смещается в точку *W'* по оси *Z* на расстояние 30 мм от точки *W*.

Кадром N4 инструмент в абсолютных размерах (G90) на быстром ходу (G00) выводится в точку *0* (начало цикла нарезания резьбы), определенную координатами *x* и *z* (64; 8).

В кадре N5 указываются рабочий режим (G01) и значение подачи, определенное в зависимости от частоты вращения шпинделя и подачи на оборот, численно равной шагу резьбы (F = KS = 6·50 = 300 мм/мин); задается команда на включение охлаждения (M8).

Кадр N6 определяет подпрограмму для нарезания цилиндрической резьбы. Эта подпрограмма обозначена кодом G76. В кадре указаны координаты конечной точки (точки *4*) цикла обработки, определенные внутренним диаметром резьбы и положением точки *4* по оси *Z*, шаг K (6 мм), высота профиля резьбы H (3,248 мм), глубина резания при черновых ходах D (0,8 мм) и положение точки выхода инструмента из цикла в радиальном направлении A (4 мм). После отработки цикла резец остановится в точке *3*.

Последними кадрами целесообразно отменить смещение нуля (G53) и послать резец в позицию замены, выключив охлаждение (M9).

Пример 5. *Использование подпрограммы для нарезания внутренней конической резьбы.* Общая УП в этом случае может быть записана следующим образом (рис. 7.24, *б*):

```
% LF
N1      T0606 S50 M3 LF
N2      M6 LF
N3 G00 X40. Z-5. M8 LF
N4 G01 F400. M8 LF
N5 G84 X32. Z-85. K8. L148 D.5
       H4.5 A3. LF
N6 G00 Z5. M09 M00 LF
```

Первые три кадра указывают код инструмента (T06) и его корректора (06), частоту

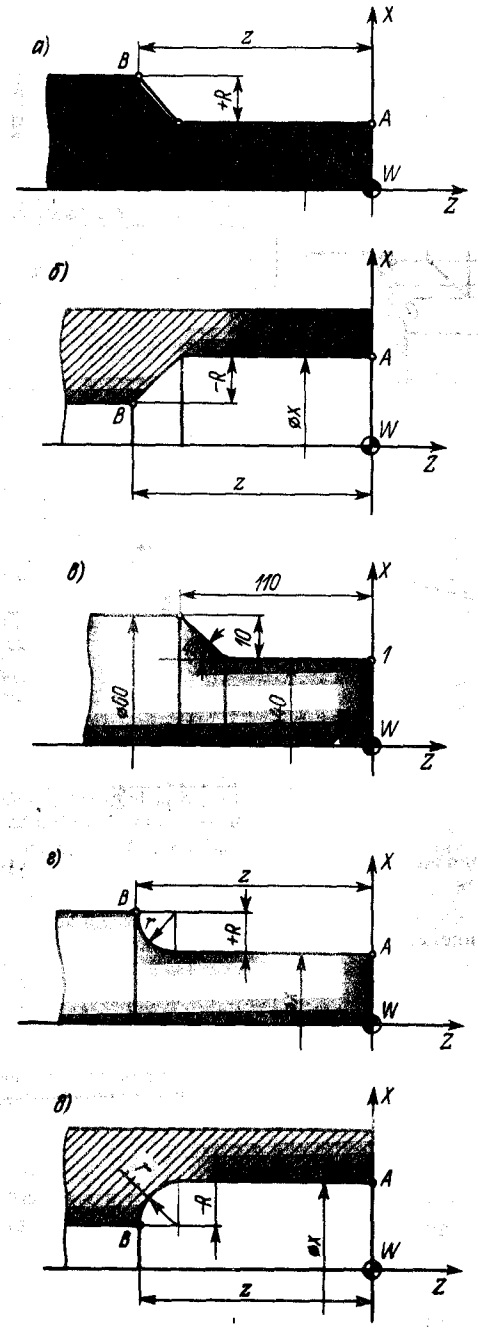


Рис. 7.25. Схемы обработки фасок (*а — в*) и скруглений (*г, д*) при кодовом задании подпрограмм

вращения шпинделя (50 об/мин) по часовой стрелке (М3) и устанавливают инструмент в рабочую позицию (М6). На быстром ходу (G0) инструмент позиционируется в точку запуска *0*, определенную координатами *x* и *z* (40; 5).

В кадре N4 задается рабочее перемещение (G1) с подачей 400 мм/мин, включается охлаждение.

В кадре N5 задается подпрограмма для нарезания конической резьбы кодом G84, указываются координаты точек *1* (L) и *2* (X, Z); точки определяют положение образующей конической поверхности. Далее указываются шаг резьбы (K), радиальная высота профиля (H) и положение точки выхода инструмента (A). По команде кадра N5 резец перемещается в точку *1* и осуществляют многопроходный цикл нарезания резьбы с глубиной резания D (0,5 мм). После нарезания резьбы резец останавливается в точке *3*.

Последний кадр (N6) выводит резец из детали.

Подпрограммы для проточки фасок под углом 45° и скруглений угла 90°. Форматы кадров для обработки фаски и скругления:

```
G86 X...Z...R...D...H...
G87 X...Z...R...D...H...
```

Здесь G86 — код подпрограммы для обработки фаски; G87 — код подпрограммы для обработки скругления; X — диаметр поверхности исходной точки *A* (рис. 7.25); Z — координата конечной точки *B*; R — фаска или радиус скругления *r* (числовое значение после адреса R задается с плюсом, если диаметр конечной точки *B* больше исходного; если диаметр конечной точки *B* меньше исходного, то значение R задается с минусом); D — припуск на чистовую обработку по оси *Z*; H — глубина резания за один ход резца при обточке заданного контура.

Пример 6. *Использование подпрограммы для обработки фаски, заданной специальным кодом.* Фрагмент УП для обработки участка между точками *1* и *2* (рис. 7.25, *в*) имеет вид:

```
N10 G90 G00 X40. Z0. LF
N11     G01 S800 F45. LF
N12     G86 X40. Z-110. R+10. D0.
            H2. LF
N13     G01 X60. LF
```

Кадром N10 (номер принят условно) инструмент на быстром ходу позиционируется в точку *1*. Кадром N11 назначаются режимы

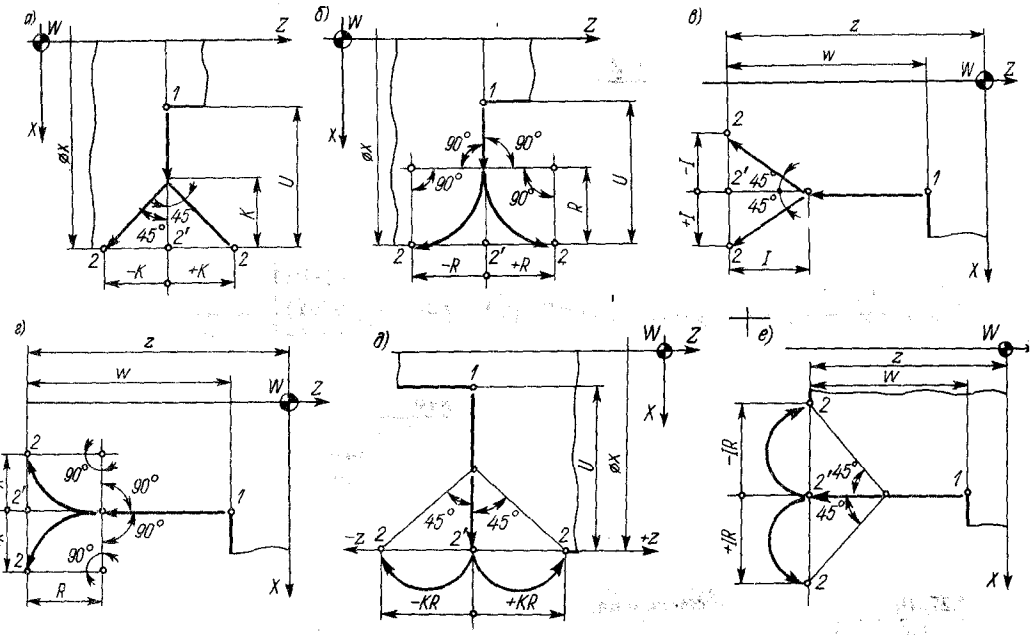


Рис. 7.26. Схемы обработки фасок (*а*, *в*) и скруглений (*б*, *г*) при задании организации кадра подпрограмм

обработки. Кадром N12 вызывается подпрограмма для обработки фаски (G86) и задаются необходимые параметры. Кадром N13 задается дальнейшая траектория резца на обточку детали по диаметру 60 мм.

Рассмотренные подпрограммы для обработки фасок и радиусов скругления могут быть представлены несколько иначе. Их можно задавать не специальным кодом, а формой и адресами организации кадра, рассматривая движение инструмента как вдоль оси *X*, так и вдоль оси *Z*. В этом случае образование фаски под углом 45° или радиуса скругления в пределах прямого угла может быть записано в УП в соответствии со следующими форматами:

перемещение вдоль оси *X* (рис. 7.26, *а*, *б*)

$$G1 \left\{\begin{matrix} X \\ U \end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix} K \\ R \end{matrix}\right\} F;$$

перемещение вдоль оси *Z* (рис. 7.26, *в*, *г*)

$$G1 \left\{\begin{matrix} Z \\ W \end{matrix}\right\} \left\{\begin{matrix} I \\ R \end{matrix}\right\} F,$$

где X (Z) — координаты конечной точки по данной оси в абсолютных размерах; U (W) — приращения координаты относительно исходной точки; I (K) — фаска; R — радиус скругления; F — назначенная подача при обработке (если необходимо подачу задавать).

Величины I, K, R следует указывать со знаком плюс или минус в зависимости от направления фаски или радиуса. Необходимо также, чтобы размер фаски или радиуса не превышал размера основного перемещения.

Определенными форматами можно задавать подпрограммы для проточки полусфер (рис. 7.26, *д*, *е*). Для перемещения вдоль оси *X* формат будет иметь вид

$$G1 \left\{\begin{matrix} X \\ U \end{matrix}\right\} \left\{ KR \right\} F;$$

для перемещения вдоль оси *Z* —

$$G1 \left\{\begin{matrix} Z \\ W \end{matrix}\right\} \left\{ IR \right\} F.$$

Величина за адресом KR или IR указывается с соответствующим знаком.

Пример 7. *Запись фрагментов УП с использованием подпрограмм, заданных формой и адресами организации кадра.*

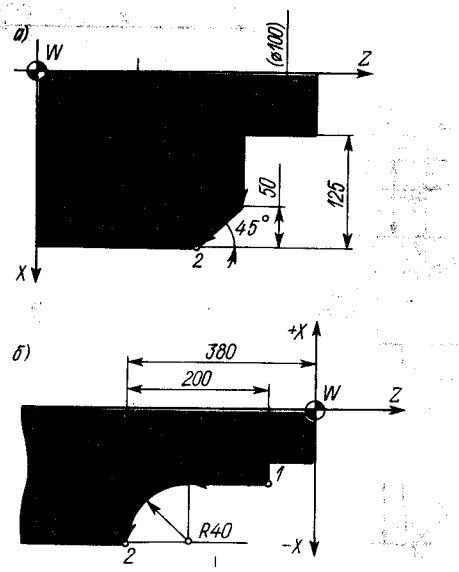


Рис. 7.27. Примеры обработки фаски и радиуса скругления

Запись фрагментов УП при обработке фаски (рис. 7.27, *а*) и радиуса скругления (рис. 7.27, *б*) соответственно (от точки *1* до точки *2*):

```
G01 X350. K-50. (G01 U125. K-50.)
G01 Z-380. R-40. (G01 W-200. R-40.)
```

В скобках приведен кадр для случая задания размеров в приращениях.

Подпрограммы для обработки контура, представляющего собой последовательность ступеней и торцов с фасками (галтелями). Размеры ступеней и торцов следует задавать полными, т. е. без учета размеров фасок (галтелей), с помощью функции G01 и величин I (K) и R. Схема задания размеров в приращениях для обработки контура показана на рис. 7.28, *а*. В общем виде УП для обработки этого контура имеет вид:

```
N5...
N10 G01 W(-W1). R(R1). F
N20     U(U1). K(-K).
N30     W(-W2). I(I).
N35     W(-W3).
N40     U(U2). R(-R2).
```

При определении знаков числовых величин следует принимать во внимание направление координатных осей принятой системы координат.

Пример 8. *Запись фрагмента УП для обработки контура.* Для реального контура (рис. 7.28, *б*) фрагмент УП может быть записан в виде:

```
N5...
N10 G01 Z-45. R-8. F50. LF
N20     U-20. K-12. LF
N30     Z-150. I-15. LF
N35     Z-200. LF
N40     U-30. R-20. LF
N45...
```

Пример 9. *Обработка детали по контуру с использованием стандартных подпрограмм.* Программа обработки детали, показанной на

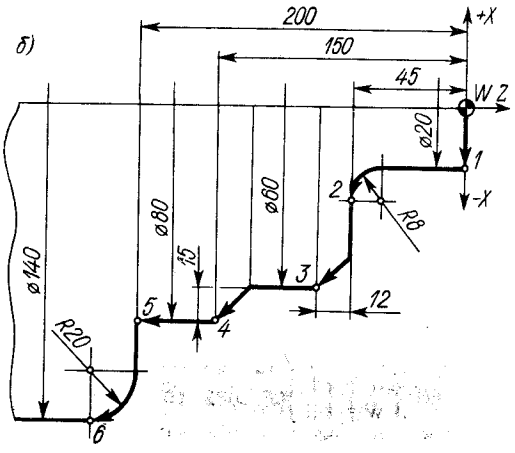


Рис. 7.28. Примеры обработки контура: *а* **— схема задания размеров в приращениях;** *б* **— контур обработки**

Рис. 7.29. Схема обработки детали по контуру с применением стандартных подпрограмм

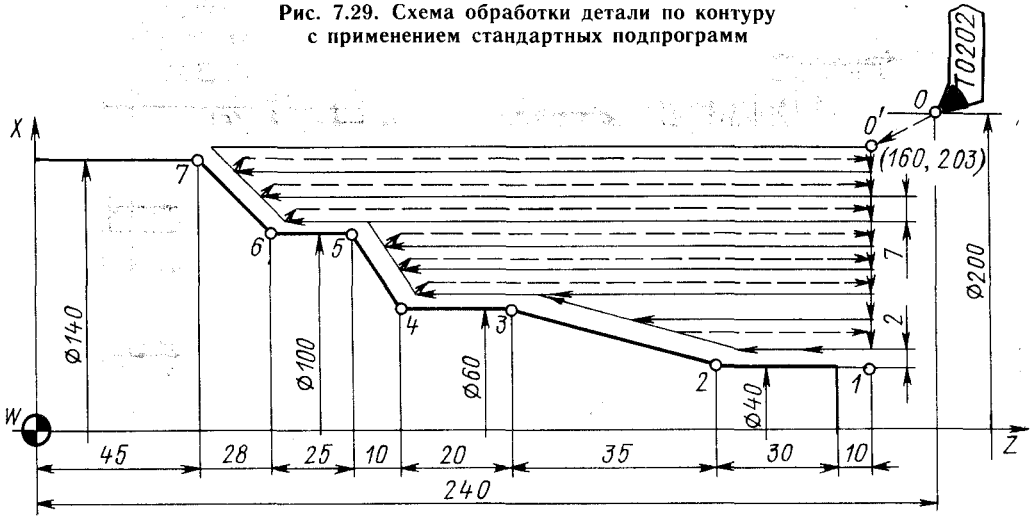


рис. 7.29, предусматривает применение двух стандартных подпрограмм (циклов): 1) черновой обточки — снятия металла «строками»; 2) чистового прохода — прохода по контуру. Эти циклы формируются УЧПУ в зависимости от формы чистового контура:

```
% LF
N1          T0202 LF
N2      G97 S1200 M4 M6 LF
N3  G90 G00 X200. Z240. LF
N4          X160. Z203. LF
N5      G71 P006 Q012 U10. W2. D7.
            F0.4 LF
N6  G90 G00 X40. Z203. LF
N7  G91 G01 Z-40. F0.2 S1500 LF
N8          X60. Z-35. LF
N9          Z-20. LF
N10         X100. Z-10. LF
N11         Z-25. LF
N12         X140. Z-28. LF
N13     G70 P006 Q012 LF
```

В кадре N5 задается цикл черновой обточки и его данные: P — номер кадра начала чистового контура; Q — номер кадра конца чистового контура; U — недоход торца детали (10 мм); W — припуск на чистовую обработку (2 мм); D — расстояние между черновыми проходами при снятии припуска (7 мм); F — подача при черновой обточке (0,4 мм/об).

Кадр N13 вводит чистовой цикл G70, который с учетом сформированного в кадрах N6 (P006) — N12 (Q012) профиля обеспечивает чистовую обработку по контуру от точки *1* до точки *7* с режимами, указанными в кадре N7. После чистового прохода резец автоматически возвращается в точку *0'*.

Организация типовых подпрограмм

В различных СЧПУ количество типовых подпрограмм может достигать нескольких десятков. Для токарных станков можно выделить несколько типовых способов организации подпрограмм (рис. 7.30). В одной группе организация черновых ходов осуществляется поперечными ходами резца (рис. 7.30, *а*), в другой группе (рис. 7.30, *б, в*) — продольными ходами. Возможна схема (рис. 7.30, *в*), предполагающая учет радиуса R_s при вершине резца.

В рассмотренных случаях в первом кадре программы для обработки контура указывают код подпрограммы (может быть использован адрес G) и некоторые параметры, например координаты нуля программы (точки *0*), припуск на чистовой ход (Δu, Δw), глубина резания при черновых ходах (e) и др. Кроме того, указывают номера кадров, в которых описывается чистовой ход, т. е. ход по заданному контуру. Например, для схемы, показанной на рис. 7.30, *б*, в нескольких кадрах необходимо запрограммировать быстрый ход резца из точки *A* в точку *A'*, потом движение с рабочей подачей по контуру до точки *B* (естественно, с указанием координат опорных точек контура и его особенностей).

Программу обработки завершает

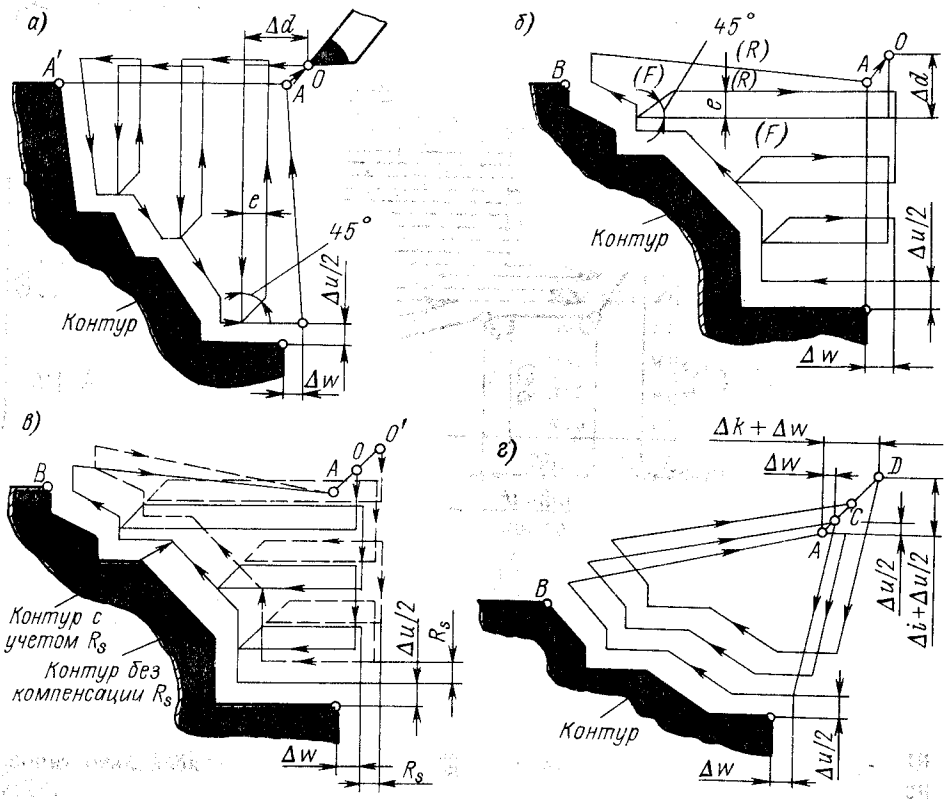


Рис. 7.30. Организация типовых подпрограмм для токарных станков

кадр, задающий чистовой ход по контуру, в нем указываются также номера кадров, в которых ранее контур был описан.

Схема, показанная на рис. 7.30, *г*, имеет особенность: при черновых ходах траектория движения резца эквидистантна контуру, лишь точка запуска траектории последовательно смещается (из точки *D* в точку *C*, затем в точку *A* и т. д.) на расстояния, указанные в основном кадре УП.

Пример 1. *Обработка детали с использованием типовой подпрограммы, основанной на поперечных ходах резца.* Вариант программы для обработки детали по указанной схеме (рис. 7.31, *а*):

```
N010 G50 X220.0 Z190.0
N011 G00 X176.0 Z132.0
N012 G72 P013 Q018 U4.0 W2.0
          D7.0 F30 S550
N013 G00 Z58.0 F15 S580
N014 G01 X120.0 W12.0
N015     W10.0
N016     X80.0 W10.0
N017     W20.0
N018     X36.0 W22.0
N019 G70 P013 Q018
```

Пример 2. *Обработка детали с использованием типовой подпрограммы, обеспечивающей траекторию резца, эквидистантную контуру.* Программа обработки (рис. 7.31, *б*):

```
N010 G50 X260.0 Z220.0
N011 G00 X220.0 Z160.0
N012 G73 P013 Q018 I14.0 K14.0
     U4.0 W2.0 D3 F30 S0180
N013 G00 X80.0 W-40.0
N014 G01 W-20.0 F15 S0600
N015 X120.0 W-10.0
N016 W-20.0 S0400
N017 G02 X160.0 W-20.0 I20.0
N018 G01 X180.0 W-10.0 S0280
N019 G70 P013 Q018
```

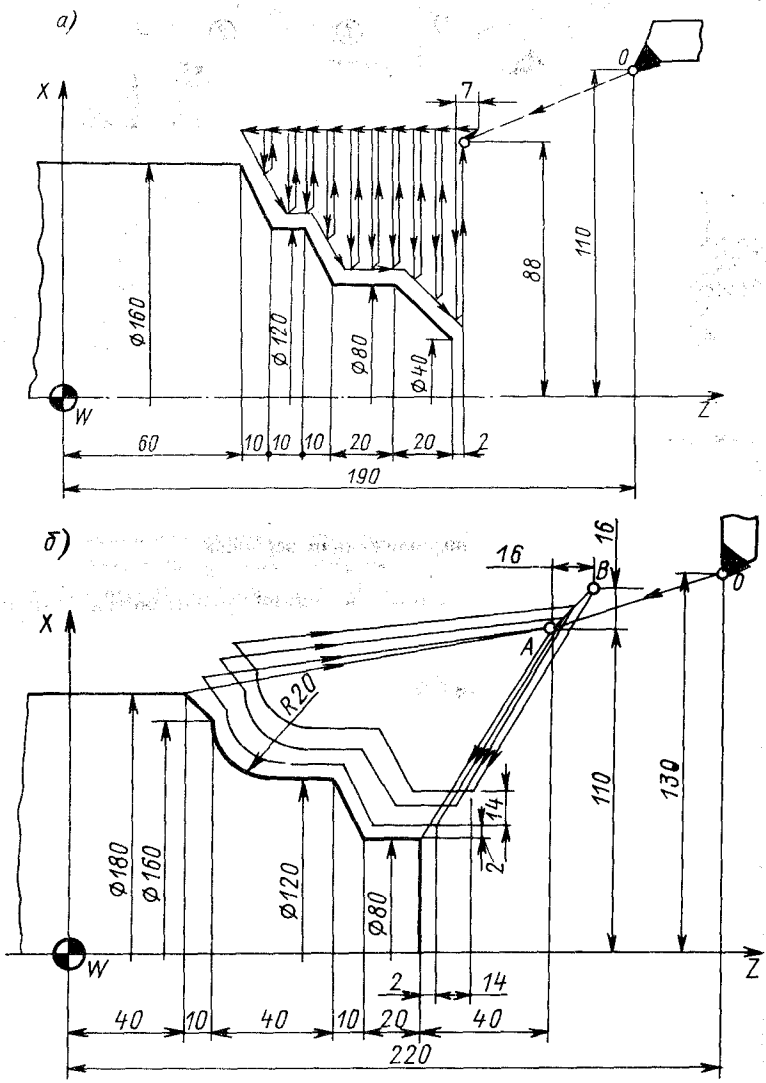


Рис. 7.31. Схема обработки детали с использованием типовой подпрограммы

В рассмотренных примерах использованы следующие функции: G50 — смещение нуля (из точки *W* в точку *0*); G70 — кодовое обозначение чистового цикла по контуру, определенному кадрами УП от кадра номер P до кадра номер Q; G72 — кодовое обозначение цикла черновой обработки с организацией поперечных ходов резца (вдоль оси *X*); G73 — кодовое обозначение цикла черновой обработки по схеме снятия припуска, эквидистантного контуру. Другие обозначения: X, Z — координаты опорных точек в абсолютных размерах; U, W — приращения (кроме кадров с кодами циклов).

Коррекция при токарной обработке

При токарной обработке коррекцию в программы вводят, как правило, двумя способами. Первый способ — ввод коррекции на инструмент. В этом случае коррекция вводится до начала резания (обычно после установки инструмента на позицию), а отменяется после окончания обработки данным инструментом всех назначенных для него поверхностей.

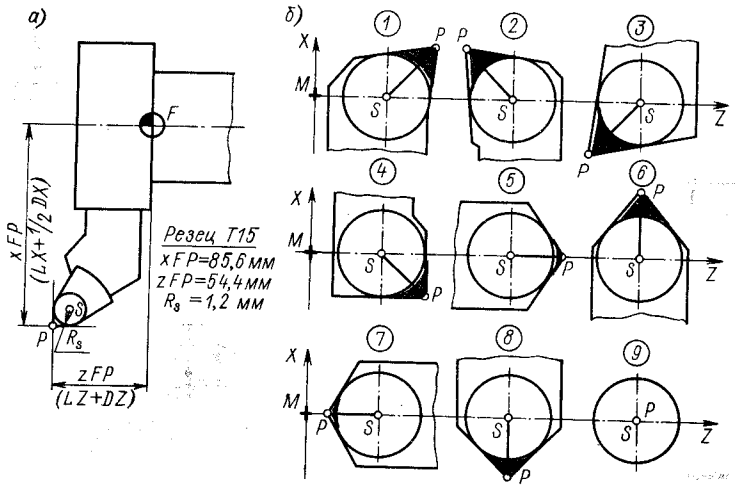


Рис. 7.32. Параметры коррекции на инструмент: *а* **— параметры резца;** *б* **— распределение меток по положениям вершины**

Второй способ — ввод коррекции на поверхность. В этом случае коррекция вводится перед выходом режущего инструмента на конкретную поверхность, а отменяется сразу же после ее обработки.

В современных УЧПУ задают следующие шесть параметров коррекции на инструмент (рис. 7.32, *а*):

LX — вылет инструмента в направлении оси *X* (определяется относительно базовой точки *F*);

LZ — вылет инструмента в направлении оси *Z*;

DX — износ в направлении оси *X* (диаметр);

DZ — износ в направлении оси *Z*;

R_s — радиус режущей кромки;

A — положение вершины *P* инструмента в плоскости (в общем случае определяется кодовыми цифрами от 1 до 9 в зависимости от направления — рис. 7.32, *б*).

Для каждого инструмента, который имеет свой кодовый номер, задают все шесть (или меньше) параметров. Этой группе параметров присваивают единый номер, обычно соответствующий номеру инструмента. Номер группы коррекций указывается в УП обычно за кодовым номером инструмента. Например, инструмент T15 с группой коррекций номер 15 в кадре указывается записью T1515. Группа коррекций может быть назначена на данный инструмент и под другим номером. Тогда общий код инструмента будет, например, T1532 или T1512 и т. п. Если в кадрах УП необходимо указать только группу коррекций, то записывают T0015, T0032, T0012 и т. п., т. е. только номер группы коррекций. Естественно, при этом предполагается, что инструмент был указан ранее.

Напомним, что количество групп коррекций (а следовательно, их номера) зависит от типа УЧПУ и составляет 1—32; 1—64 или более.

В УЧПУ класса CNC параметры коррекции обычно вводятся в память ЭВМ с пульта УЧПУ при наладке станка: ручным набором, через устройство ввода УП с перфоленты или по кабельной связи от автоматической инструментально-измерительной машины. Эти данные о загруженных в магазин станка инструментах хранятся весь период их использования.

При вводе параметров коррекции с перфоленты кадры вводимой информации не нумеруются и вся она задается подготовительной функцией G92, за которой следуют код и номер инструмента, номер группы его коррекций и параметры инструмента. Таким образом, информация о коррекции вводится в следующей записи:

```
% T0 LF
G92 T1 X... Z... B... A... LF
G92 T12 X... Z... B... A... LF
G92 T08 X... Z... B... A... LF
```

и т. д. Для резца, показанного на рис. 7.32, *а*, строка вводимой информации имеет вид

```
G92 T15 X85.6 Z54.4 B1.2 A3 LF
```

Здесь под адресом B задается радиус R_s при вершине, а под адресом A — номер метки (*3* — см. рис. 7.32, *б*).

Введенные в память УЧПУ данные об инструменте хранятся в виде таблицы и позволяют автоматически учитывать (вызовом в УП) при обработке детали вылет инструмента, его износ и коррекцию радиуса. А последнее необходимо, поскольку при безэквидистантном программировании по контуру, что очень удобно, за центр инструмента принимают его условную вершину P, которая смещена относительно реальных поверхностей режущих кромок инструмента, образованных радиусом R_s.

В различных УЧПУ коррекция на инструмент вызывается в УП по-разному. Обычно различают коррекцию на длину инструмента и коррекцию на радиус.

Коррекция на длину инструмента (рис. 7.33) вызывается кадром УП, в котором указывают совместный код инструмента и коррекции. Происходит смещение координатной системы инструмента из точки F (базовая точка суппорта) в точку P — вершину инструмента:

```
% LF
N1  G90 G0 X160. Z-20. T0 LF
N5  G96 S100 M3 LF
N10 G0  X48. Z-95. T1515 M06 LF
N15 G1  Z-100. F0.2 LF
N20     Z-120. LF
N25     X60. LF
N30     Z-130. LF
N35     X70. LF
N40 G0  X160. Z-20. T0 LF
N45     M02 LF
```

Кадром N1 программы суппорт позиционируется в точку F, происходит стирание (код T0) предыдущих коррекций по обеим осям. Кадр N5 задает

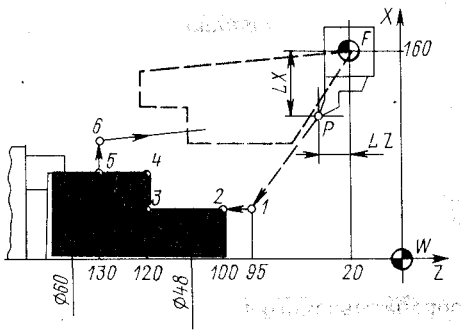


Рис. 7.33. Схема образования коррекции на длину инструмента при токарной обработке

скорость резания 100 м/мин (код G96 совместно с адресом S) при вращении шпинделя по часовой стрелке (M3). Кадром N10 задаются смена инструмента и перемещение инструмента в точку *1* с одновременным вводом коррекции на длину инструмента по обеим осям (код T1515 с адресами обеих осей). Кадрами N15—N35 программируется обработка детали. Кадр N40 предусматривает возврат суппорта в исходную точку F с отменой коррекции по обеим осям.

По рассмотренной схеме коррекцию на длину инструмента можно вызвать в УП отдельно по каждой оси. Для этого код (T1515) указывают в кадре лишь с адресом одной из осей (X или Z).

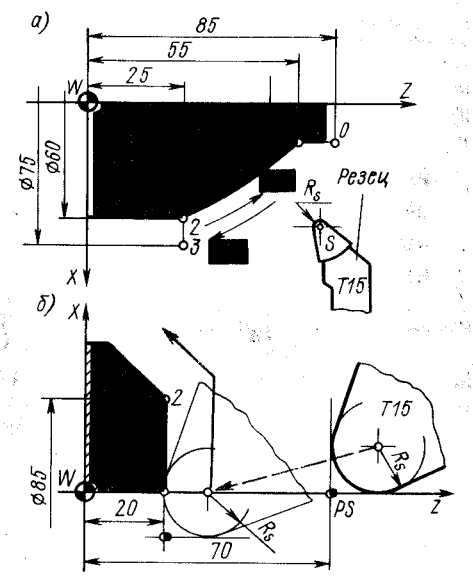


Рис. 7.34. Схема образования коррекции на радиус инструмента при токарной обработке

Коррекция на радиус режущей кромки в УП вызывается функциями G41 или G42 в соответствии с направлениями движения инструмента относительно контура (рис. 7.34, *а*). Функция G41 указывается, когда инструмент находится слева от обрабатываемого контура, если смотреть в направлении его движения. Функция G42 задается в кадре, когда инструмент располагается справа от обрабатываемого контура.

Функция G40 отменяет введенную коррекцию.

Поясним сказанное примером. Пусть опорные точки траектории инструмента определены для контура детали, а центр инструмента находится в точке *S*. Для перемещения инструмента между точками *0—1—2—3* требуется программа:

```
% LF
N1 G90 G00 X20. Z85. S450
           F50. T1503 LF
N2 G01 G41 Z55. T0003 LF
N3     G02 Z25. X60. K-30. I20. LF
N4 G00 G40 X75. M00 LF
```

По команде G41 кадра N2 из параметров группы коррекций 03 на инструмент T15 вызывается величина R_s, которая и учитывается при построении эквидистантной траектории, когда обрабатывается заданный контур.

В ряде УЧПУ в кадрах УП с командой G41 (G42) номер группы коррекций не указывают. Этот номер задают в УП ранее — при указании инструмента. Так, подход резца к контуру с введением коррекции на радиус режущей кромки может быть запрограммирован следующим образом (рис. 7.34, *б*):

```
N7  G40 X70. Z120. LF
N8      T1503 M06 LF
N9  G0  X0. Z70. LF
N10 G42 X0. Z20. LF
N11 G1  X85. LF
```

Кадр N7 отменяет коорекцию при перемещении инструмента в точку, определенную координатами *x* и *z*. Кадр N8 дает команду на замену инструмента (ввод инструмента T15 с группой коррекции 03). Кадром N9 инструмент перемещается в точку *PS*. Кадр N10 вводит (G42) коррекцию на радиус режущей кромки и подводит резец к контуру детали. Вследствие введения коррекции резец занимает требуемое положение относительно контура, а значит, обеспечивается его эквидистантная траектория при дальнейшем перемещении к точке *2* от точки *1*.

Коррекция на поверхность обычно вводится указанием (в требуемом кадре) адреса *L* и номера корректора. В УЧПУ для токарных станков на панели корректоров под одним номером может находиться пара корректоров: один — для коррекции по оси *X*, другой — для коррекции по оси *Z*. Таким образом, например, кадр

```
N{1} G00 X135. Z200. L18 LF
```

будет означать, что при его отработке к значению $x = 135$ мм будет прибавлено (с соответствующим знаком) значение, установленное на корректоре 18 для оси *X*. В координате $z = 200$ мм будет добавлено значение коррекции (с соответствующим знаком), установленное на корректоре 18 для оси *Z*.

Обычно знак минус на корректоре означает, что коррекция будет происходить в сторону уменьшения размеров детали (диаметра и длины), за исключением случаев, когда инструмент работает с переходом за ось детали. При знаке плюс — наоборот. Однако есть УЧПУ, на корректорах которых набирается лишь абсолютное значение коррекции (в мм или имп.), а знак коррекции определяется командами УП.

7.6. ПРОГРАММИРОВАНИЕ С СОКРАЩЕННЫМ ОПИСАНИЕМ КОНТУРА (SINUMERIK)

Метод 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. 7.35).

Рассмотрим некоторые типовые схемы.

Перемещение из точки *1* в точку *2* (рис. 7.35, *а*) может быть задано кадром

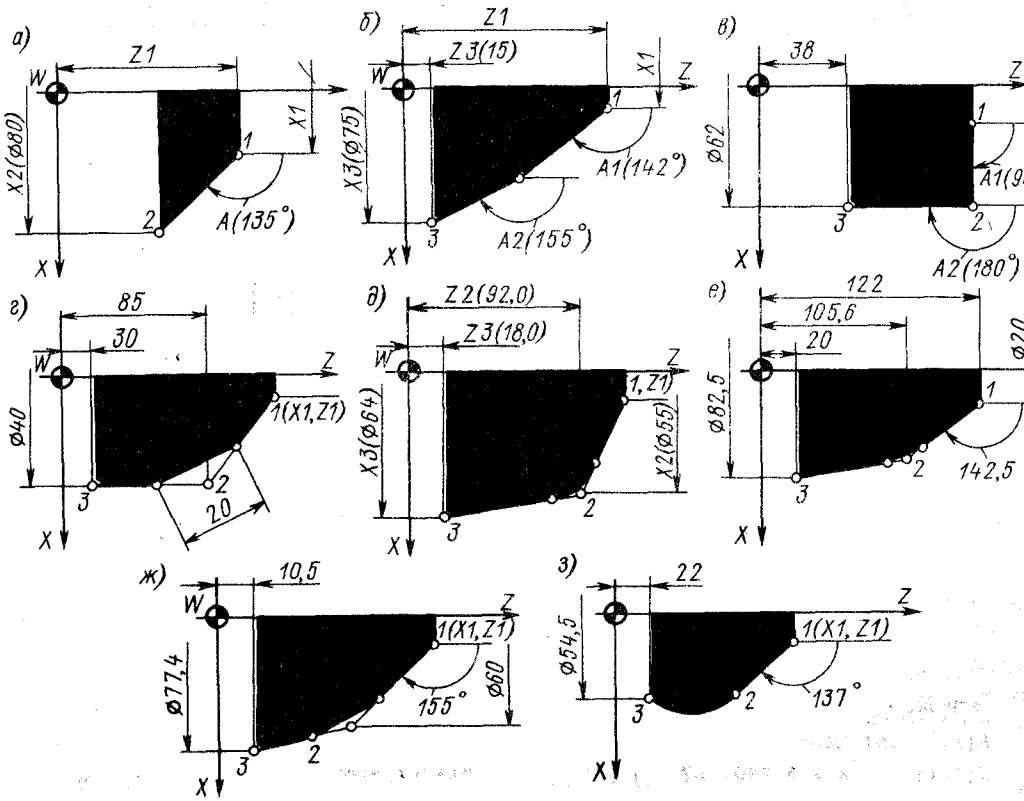


Рис. 7.35. Типовые схемы описания контура детали при токарной обработке

```
N{i} G01 X(X2) A(A) LF
```

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

```
N{i} G01 X80. A135. LF
```

Естественно, вместо координаты X2 можно задать координату Z2.

Перемещение инструмента из точки *1* в точку *3* (рис. 7.35, *б*) может быть записано кадром

```
N{i} G01 X(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{i} G01 X75. Z15. A142. A155. LF
```

Вариант написания кадра для углов A1 = 90° и A2 = 180° (рис. 7.35, *в*):

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

Траектория движения от точки *1* до точки *3* по отрезкам прямых, соединенных фаской (рис. 7.35, *г*), может быть записана в виде:

```
N{i}    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. 7.35, *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
```

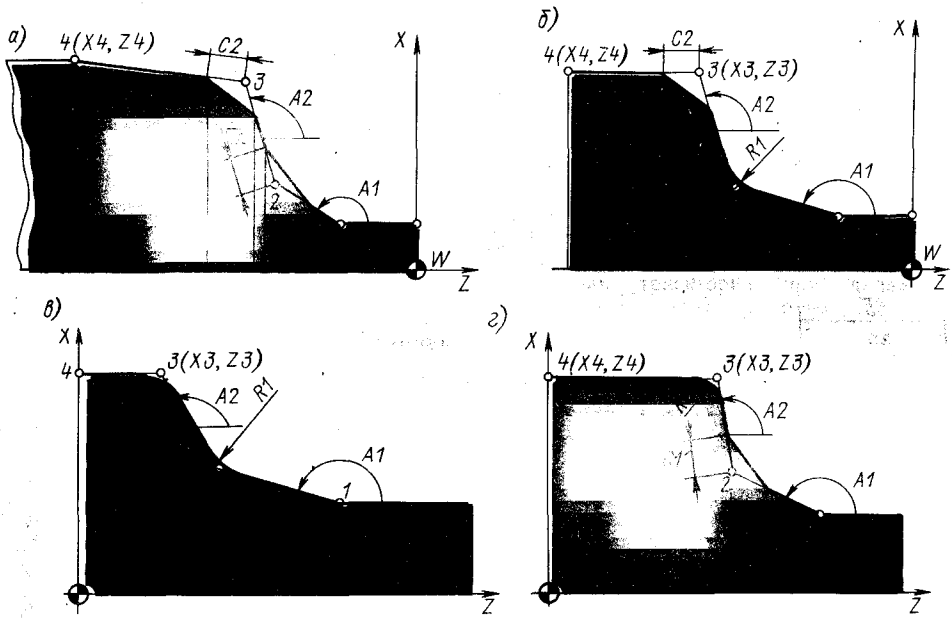


Рис. 7.36. Схемы для упрощенного описания контуров

Эти же кадры в числовых значениях:

```
N{i}   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. 7.35, *е*):

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

Эта же схема задания размеров возможна и при программировании фаски между отрезками (рис. 7.35, *ж*):

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

Плавный переход отрезка прямой (рис. 7.35, *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 A и B):

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

Метод позволяет достаточно просто, без промежуточных вычислений описывать сложные контуры (рис. 7.36).

Итак, контур на рис. 7.36, *а* может быть описан 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. 7.36, *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
```

Это 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. 7.36, *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. 7.36, *г*:

```
N{i}   A(A1) B(-C1) LF
N{i+1} X(X3) Z(Z3) A(A2) B(R2) LF
N{i+2} X(X4) Z(Z4) LF
```

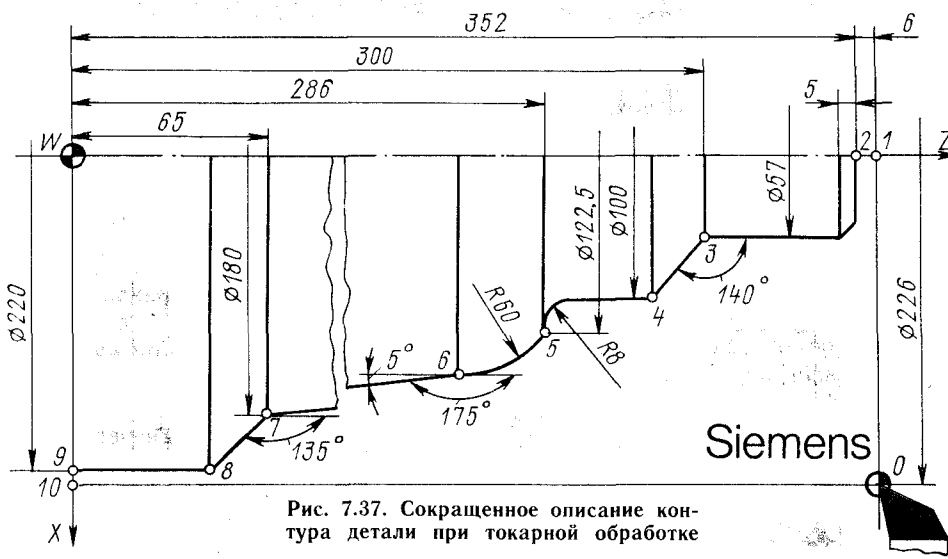


Рис. 7.37. Сокращенное описание контура детали при токарной обработке

Возможны и другие варианты краткого описания контура.

Пример 1. *Программирование обточки детали.* С использованием метода сокращенного описания контура для детали, приведенной на рис. 7.37, программа обточки имеет вид:

```
% LF
N1  G90 G00 X0.   Z358. S800 LF
N5  G91       Z-6. LF
N10 G90 G01 X57. Z300. A90. A180. B-5.
N15           X100. A140. LF
N20       G03 X122.5 Z286. A90. B8. LF
N25       G02 X180. Z65. B60. A175. LF
N30       G01 X220. Z0. A135. A180. LF
N35       G00 X226. Z358. M00 LF
```

В приведенной программе нумерация кадров принята через пять для удобства формирования УП устройством ЧПУ.

Пример 2. *Программирование расточки отверстия.* Программа для контурной расточки отверстия в детали (рис. 7.38) может быть записана следующим образом:

```
    % LF
    N1          T0101 LF
    N2      G97 S1500 M4 M6 LF
    N3 G90 G00 X80. Z120. LF
    N4 G91      X-10. Z-30. LF
Tk3 N5  G90 G01 X70. Z68.5 F0.3 LF
Tk4 N6      G03 X60. Z58.5 R-25. LF
Tk5 N7      G01 Z45. LF
Tk6 N8          X50. LF
```

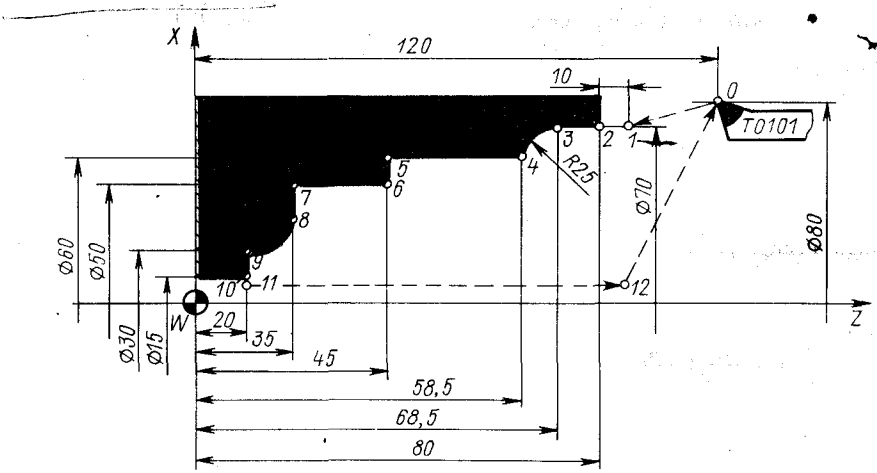


Рис. 7.38. Схема для программирования контурной расточки отверстия в детали

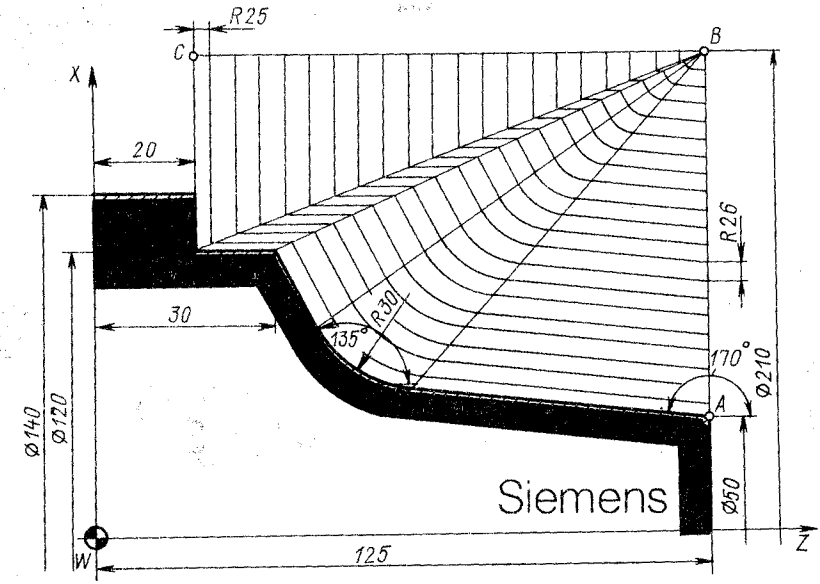


Рис. 7.39. Схема обточки вала

```
Tk7 N9          Z35. LF
Tk9 N10     G03 X30. Z20. R-15. LF
    N11 G91     X-20. LF
    N12         Z+70. LF
    N13 G90     X80. Z120. M2 LF
```

В кадрах N1 и N2 обозначены инструмент (T01) и его корректор (01), указано, что частота вращения шпинделя (S1500) задана в об/мин, а подача — в мм/об, указано новое вращение шпинделя (M04) и дана команда на смену инструмента (M06).

Кадром N3 резец устанавливается в нуль программы с координатами X80 ($x=80$ мм) Z120 ($z=120$ мм) в абсолютной системе координат (G90).

Кадр N4 выводит инструмент в точку *1*. Дальнейшую траекторию инструмента описывают кадры N5—N13.

Пример 3. *Программирование обточки детали.* Программа для обточки детали, приведенной на рис. 7.39, составлена из двух частей: подпрограммой L70 задано сокращенное описание контура детали, а основными кадрами с формальными параметрами задана стандартная подпрограмма обточки (L950).

В подпрограмме L70 указана и верхняя координата заготовки ($x=210$ мм), определяющая точки *B* и *C*:

```
L70
N1 G90 A170. A135. X120. Z30.
       B30. LF
N2     Z20. LF
N3     X210. M17 LF

N25.............................
N30 R20 70 R21 50 R22 125 R24 0.3
    R25 0.3 R26 5 LF
N35 L950 F... LF
```

В кадре N30 основной программы заданы: R20 — номер подпрограммы описания контура; R21, R22 — координаты начальной точки контура (точки *A*); R24, R25 — припуск по осям *X* и *Z* на чистовой проход; R26 — глубина резания при проходах. Этим же кадром вводится в действие подпрограмма (L950) для удаления припуска эквидистантными проходами.

7.7. ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

В современных УЧПУ для задания полнительной технологической информации, для учета специфики данного анка и его узлов широко используется тодика программирования с помощью специальных параметров. Параметры могут определяться, например, трех- или четырехзначным числом со знаком # (диез): #2001, #2208 и т. д. Каждый параметр инструкцией к модели УЧПУ

закреплен или за определенной группой переменных величин, или за определенным значением какой-то одной из них. Этим параметром при стыковке УЧПУ с конкретным станком задается конкретное числовое значение, в процессе программирования ряд параметров играют роль глобальных переменных и также могут быть определены конкретными (необходимыми в данной УП) числовыми значениями и т. д.

В общем можно выделить следующие четыре группы параметров.

1. Параметры, которые заложены в энергонезависимую область памяти ЭВМ УЧПУ при изготовлении и отладке УЧПУ и которые не могут быть изменены пользователем. Эти параметры являются частью программно-математического обеспечения (ПМО) данной модели УЧПУ. К параметрам этой группы относятся, например, параметры организации работы ЭВМ УЧПУ, организации системы управления приводами, схем выполнения вычислительных процедур и основных циклов и т. п. Доступ к этим параметрам с пульта оператора УЧПУ возможен лишь с помощью параметра-ключа.

2. Параметры, которые вводятся в ЭВМ УЧПУ при отладке УЧПУ совместно со станком. Их вводят с пульта УЧПУ при монтажно-наладочных работах, что позволяет как бы адаптировать данное УЧПУ к работе в данных условиях. В процессе эксплуатации УЧПУ эти параметры меняются редко. К рассматриваемой группе относятся прежде всего параметры, определяющие работу станка (УЧПУ). Этими параметрами задают, например, скорости быстрого хода по осям в автоматическом режиме, ограничения на ускорение двигателей приводов подач, люфты приводов подач, минимальное и максимальное значения частоты оборотов шпинделя и т. д.

Так, интенсивность торможения привода на быстром ходу, равная 280 мм/мин, может быть задана параметром 6077, т. е. $\#6077 = 280$ (мм/мин^2).

Максимальное время ответа в УЧПУ об отработке функций M, S и T (например 0,2 с) задается параметром 6089, т. е. $\#6089 = 0{,}2$.

Введение параметра $\#507 = 1200.0$ определяет точку запрета на ход по оси Z, размещенную в системе координат станка на расстоянии 1200 мм относительно нуля станка. Этот параметр означает своего рода программный конечный выключатель при перемещении рабочего органа вдоль оси Z и т. д.

3. Параметры, с помощью которых могут быть записаны различные подпрограммы, доступные пользователю (например, для редактирования и изменений имеющихся или для разработки новых). Подпрограмма, записанная с помощью таких параметров, является общей для любых числовых значений в УП.

Например, подпрограмма L1230 (L — адрес подпрограммы, 1230 — ее номер) имеет вид:

```
#101=#4+#8
#102=#8-#4
G0 X#101
G1 X#102 M17
```

Эта запись означает: при отработке подпрограммы сначала определяется параметр $\#101$. Он равен сумме параметров $\#4$ и $\#8$. Далее определяется параметр $\#102$, как разность параметров $\#8$ и $\#4$. Далее следует перемещение инструмента на ускоренном ходу (G0) по оси X на величину, равную параметру $\#101$, и потом рабочее перемещение (G1) по оси X на величину, определенную параметром $\#102$. Код M17 определяет конец подпрограммы.

В УП подпрограмму задают обычно с указанием определенных буквенных адресов.

Если принять, что буквенному адресу D соответствует параметр $\#4$, а адресу H — параметр $\#8$, то подпрограмма L1230 в УП (задаваемая кадром УП) будет иметь вид:

```
N{i} L1230 D25.6 H85.
```

За адресом указывают требуемое по условиям обработки данной детали числовое значение.

Отработка заданной подпрограммы в соответствии с ее параметрическим видом определит значение параметра $\#101 = \#4 + \#8 = 25.6 + 85 = 110.6$, т. е. 110,6 мм; значение параметра $\#102 = \#8 - \#4 = 59.4$, т. е. 59,4 мм; ускоренное перемещение по оси X на 110,6 мм и рабочее на 59,4 мм.

Рассмотренная схема организации подпрограмм в параметрическом виде

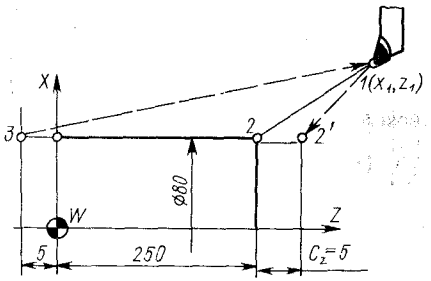


Рис. 7.40. Учет сдвига по оси Z при программировании

в ряде УЧПУ позволяет пользователю достаточно просто составить собственную библиотеку подпрограмм в дополнение к имеющимся типовым. Такие вновь созданные подпрограммы вводятся в память ЭВМ УЧПУ с пульта оператора УЧПУ или заранее записываются на внешнем носителе, например на магнитном диске, а потом при необходимости вводятся в память ЭВМ УЧПУ с диска.

4. Параметры, используемые как переменные в УП для обработки конкретных деталей. Эти параметры вводятся в УЧПУ при наладке станка на обработку конкретных деталей или указываются в УП отдельными кадрами. Рассмотрим некоторые из этих параметров, многие из которых активизируются путем указания в кадрах УП определенных G-функций.

Параметр #3011 определяет вектор (C_z) линейного сдвига по оси Z (рис. 7.40), который вводят, например, для учета отклонений торца реальной заготовки от торца, заданного чертежным размером обрабатываемой детали. Параметр может быть введен или с пульта УЧПУ, или указан в кадре УП, а его активизация осуществляется функцией G56.

Так, если, например, запрограммирована траектория *1—2*, то при отработке кадров УП

```
N{i}            #3011=5.0
N{i+1} G90 G56 G00 X80. Z250. LF
```

перемещение осуществляется по реальной траектории *1—2'*. Указанный сдвиг сохраняется и учитывается и в следующих кадрах УП до его отмены командой

```
N{i+n} G53 G00 X... Z... LF
```

В УП допускается записывать кадры последовательного ввода сдвига по оси Z и его отмены. При этом учет нового вектора сдвига возможен только после отмены старого.

Рассмотрим, например, фрагмент программы:

```
N10          #3011=...
N11 G53 G00 X... Z...
.....................
N20 G53 G00 X... Z...
N21          #3011=...
N22 G56 G00 X... Z...
.....................
N30 G53 G00 X... Z...
N31          #3011=...
N32 G56 G00 X... Z...
.....................
N40 G53 G00 X... Z...
```

Здесь кадром N10 вводится первый вектор сдвига, который учитывается кадром N11 и следующий кадр N20 отменяет первый сдвиг, а кадр N21 устанавливает новый, который учитывается начиная с кадра N22. Этот сдвиг отменяется кадром N30. Кадр N31 вводит третий вектор сдвига, который учитывается начиная с кадра N32, пока его не отменит кадр N40.

Следует учесть, что в кадрах отмены сдвига (G53) обычно должно присутствовать отводное движение, кодируемое G0 и координатами точки отхода инструмента.

Параметры #2001 — #2008 и #2201 — #2208 определяют координаты так называемых фиксированных точек в рабочем пространстве станка. Таких точек быть может несколько, например восемь, и все они индексируются адресом P: P1, P2, ..., P8. Координаты этих точек в системе координат станка (или детали) устанавливаются параметрами 200i по оси X (на радиус) и 220i по оси Z, где i — номер точки.

Так, положение точки P1 (рис. 7.41) может быть задано параметрами: #2001 = = 350.0 (по оси X); #2201 = 1200.0 (по оси Z). Точка P2 определяется параметрами: #2002 = 300.0 (по оси X); #2202 = 600.0 (по оси Z), а точка P8 — параметрами: #2008 = 400.0 (по оси X); #2208 = 1000.0 (по оси Z).

Фиксированные точки могут быть заданы также в системе координат заданной детали.

Так, фиксированная точка Р3 на рис. 7.41 может быть задана параметрами: #2003 = = 260.0; #2203 = 800.0.

Параметры фиксированных точек вводятся в УЧПУ при наладке станка или указываются в кадрах УП. В фиксированных точках достаточно просто кадрами УП осуществляются сдвиг координатной системы детали, позиционирование рабочего органа для смены инструмента или для технологического останова, связанного с измерениями, а также для привязки положения базовой точки *F* рабочего органа к системе координат детали и т. д.

Как правило, фиксированные точки активно используются в УП с помощью различных G-функций. Выход в фиксированную точку в УП может быть задан командой G37 в соответствии с форматом G37P, где P — номер фиксированной точки.

Например, быстрый отход инструмента от точки *15* (рис. 7.41) до точки Р2 задается кадром N{i}, а обратный ход — кадром N{i + 1}:

```
N{i}   G37 P2 LF
N{i+1} G38 X{x15} Z{z15} LF
```

Совместно с функцией G38 (возврат) указываются координаты точки назначения. Используя функцию G37 и фиксированные точки, можно с помощью УП направить инструмент на замену с любой точки траектории, например командой G37P1, если точку Р1 использовать для целей замены.

Форматы УП позволяют использовать для отвода (подвода) по функции G37 (G38) и так называемые промежуточные точки, координаты этих точек указываются в кадре.

Так, отвод инструмента в точку Р3 может быть осуществлен по команде

```
N{i} G37 X250.0 Z600.0 P3 LF
```

Здесь координатами X250.0 и Z600.0 задано положение промежуточной точки *ПТ*.

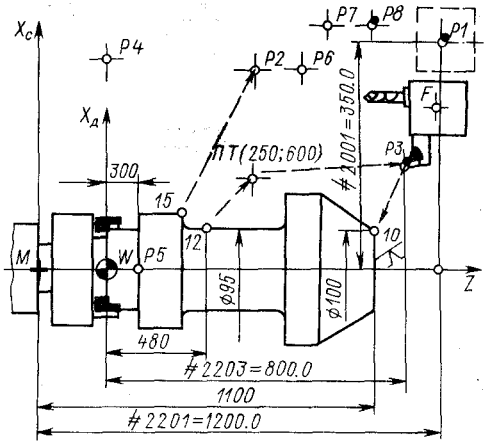


Рис. 7.41. Размещение фиксированных точек в рабочей зоне станка

При необходимости перемещение инструмента может быть задано и в приращениях:

```
N{i} G37 U80. W250. P3 LF
```

Возврат на траекторию в случае использования промежуточных точек должен осуществляться командой с форматом

$$\mathbf{G38\ Q}\left\{\begin{matrix}0\\1\end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix}\mathbf{X}\\\mathbf{U}\end{matrix}\right\}\left\{\begin{matrix}\mathbf{Z}\\\mathbf{W}\end{matrix}\right\}$$

Здесь Q — признак учета (0) или блокировки (1) промежуточной точки, а X, Z — координаты точки назначения.

Так, движение инструмента из точки Р3 в точку *10* (рис. 7.41) может быть запрограммировано командой

```
N{i} G38 Q1 X100.0 Z1100.0 LF
```

а обратно в точку *12* — командой

```
N{j} G38 Q0 X95.0 Z480.0 LF
```

В фиксированные точки с использованием функции G92 может быть установлена (смещена) система координат детали. При этом координаты точки (например, Р5) задаются параметрически:

```
N{i} G92 X#2005 Z#2205 LF
```

Значения параметра (например, #2005 = 0.0; #2205 = 300.0) заранее заданы и хранятся в памяти ЭВМ УЧПУ.

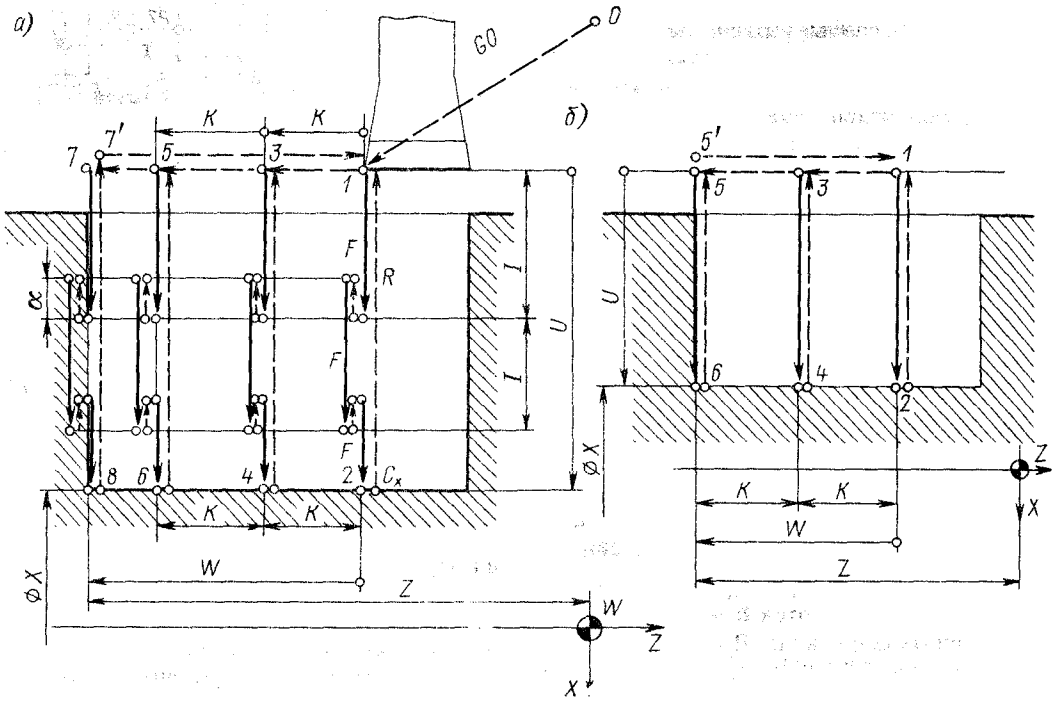


Рис. 7.42. Многопроходный цикл нарезания цилиндрических канавок: *а* **— со стружкодроблением;** *б* **— без стружкодробления**

Параметры достаточно широко используются для конкретизации (изменения) имеющихся в УЧПУ типовых циклов обработки. Например, многопроходный цикл нарезания цилиндрических канавок (рис. 7.42) может обеспечить резание со стружкодроблением и без него группы канавок или одной широкой канавки. Формат цикла

$$\text{G65}\left\{\begin{matrix}\text{X}\\\text{U}\end{matrix}\right\}\ \text{I...}\quad\left\{\begin{matrix}\text{Z}\\\text{W}\end{matrix}\right\}\ \text{K...}\ \text{F...}$$

Здесь X — координата по оси *X* для канавки; U — приращение по оси *X* от точки запуска цикла (точка *1*) до дна канавки; I — глубина резания по оси *X* на проходе (на радиус); при отсутствии параметра I в кадре стружкодробление не производится, т. е. вся глубина канавки обрабатывается без прерывания; Z — координата по оси *Z* исходной точки последней канавки (последнего хода резания широкой канавки); W — приращение по оси *Z* до последней исходной точки; при отсутствии параметра Z(W) нарезается одна канавка (выполняется один ход резания); K — шаг канавок (смещения резца при прорезке широкой канавки) по оси Z; при отсутствии в кадре адреса K происходит ориентация цикла по данным адреса Z(W); F — рабочая подача резания.

Процесс образования канавки по циклу G65 (рис. 7.42, *а*):

резец позиционируется в точку *1* запуска цикла;

с рабочей подачей идет резание на глубину *I*, потом возврат на ускоренной подаче на величину α, опять резание на глубину *I*, возврат на α и дорезка канавки с исполнением размера (диаметра *X* или приращения *U*);

быстрый возврат резца *R* из точки *2* в точку *1*;

смещение резца на величину *K* (в точку *3*);

повторение указанных процессов с обходом точек *4, 3, 5, 6, 5, 7, 8, 7*;

позиционирование на быстром ходу в точку запуска цикла (в точку *1*).

Параметрами цикла, задаваемыми в

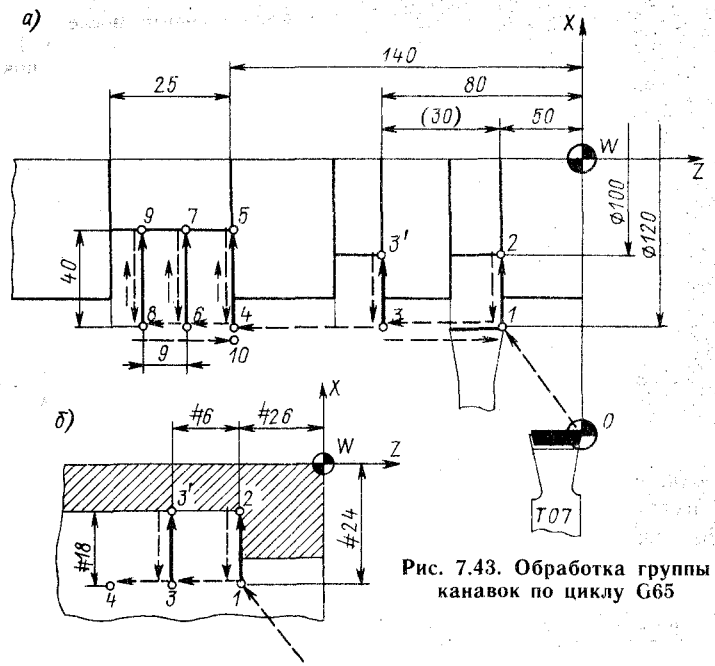


Рис. 7.43. Обработка группы канавок по циклу G65

виде параметров УЧПУ, являются следующие:

$\neq 3002$ — расстояние α, на которое инструмент отводится по оси X на быстром ходу (после резания на глубину I) для обеспечения стружкодробления, мкм (на радиус);

$\neq 3005$ — выдержка времени C_x на дне канавки для формирования дна канавки, мс.

Если задать параметры равными нулю, канавка будет формироваться рабочими ходами без возврата и без временной выдержки на дне канавки (рис. 7.42, *б*). Та же схема будет, если в формате подпрограммы не указать параметр I. Таким образом, формат кадра УП без стружкодробления будет иметь вид:

```
N{i}    #3005=0
N{i+1} G65 { X } { Z } K... F...
           { U } { W }
```

Пример. *УП для обработки группы канавок.* УП с использованием цикла G65 имеет вид (рис. 7.43, *а*):

```
% LF
N1      T0707 S300 M03 LF:
N2      M06 LF
N3  G90 G00 X120. Z-50. LF
N4      #3005=0. LF
N5      M08 LF
N6  G65 X100. F30. LF
N7  G00 Z-80. LF
N8  G65 X100. F40. LF
N9  G00 Z-140. LF
N10     #3002=2000. LF
N11     #3005=1000. LF
N12 G65 U40. I5. W-25. K9. F20. LF
N13 G00 X... Z... M09 M00 LF
```

Рассмотренный цикл G65, как и другие подобные циклы, представляют собой так называемую макрооперацию (макрос). Для УЧПУ она, как правило, составляется на базе переменных, а в УП вызывается кодом (в рассмотренном примере G65) с указанием задаваемых значений базовых параметров, определенных форматом цикла.

Если определить $X = \neq 24$, $R = \neq 18$, $Z = \neq 26$, $K = \neq 6$, $F = \neq 9$, то фрагмент тела макроопераций для схемы, показанной на рис. 7.43, *б*, может быть записан следующим образом:

```
0 9065
1. #3003=1;
```

```
2. G90 G00 Z-#26 X-#24;
3. #9=#4109;
4. G01 X-[ROUND[#24]-ROUND[#18]];
5. G91 G00 X-#18 #4109=#4109;
6. Z-#6;
7. G90 G01 X-[ROUND[#24]
           -ROUND[#18]];
8. G00 X-#24;
9. Z-[ROUND[#6]+ROUND[#6]];
```

Во фрагменте после номера макрооперации (0 9065) записано: 1 — указание о недопустимости останова при покадровой отработке; 2 — смещение инструмента на ускоренном ходу в начальную точку цикла, определенную координатами *z* и *x*; 3 — переприсвоение переменной; 4 — перемещение инструмента на рабочей подаче по оси *X*, при этом выполняется вычислительная операция с округлением до целого (ROUND); 5, 6 — смещение инструмента на ускоренном ходу в точку *3*; 7 — рабочий ход; 8, 9 — переход инструмента в точку *4*.

7.8. ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ

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 (см. гл. 14), 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 имеют 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. 7.44. При работе станка на табло индикации высвечиваются номер кадра УП (N), функция (G), название (FUNCT) и значение (TYP) 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, в режиме редактирования и ввода программы. Каждый кадр обязательно предусматривает порядковый номер, типовой код, последовательность данных, определяемую типовым кодом.

Порядковые номера при последовательном занесении программы с клавиатуры пульта не задаются, они (начиная с 005) 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 высвечивают на табло пульта, например G43 — ускоренный ход к позиции, не зависящей от коррекции инструмента.

Принятый для данного кадра код имеет так же, в свою очередь, характерную для него адресную цель, которую

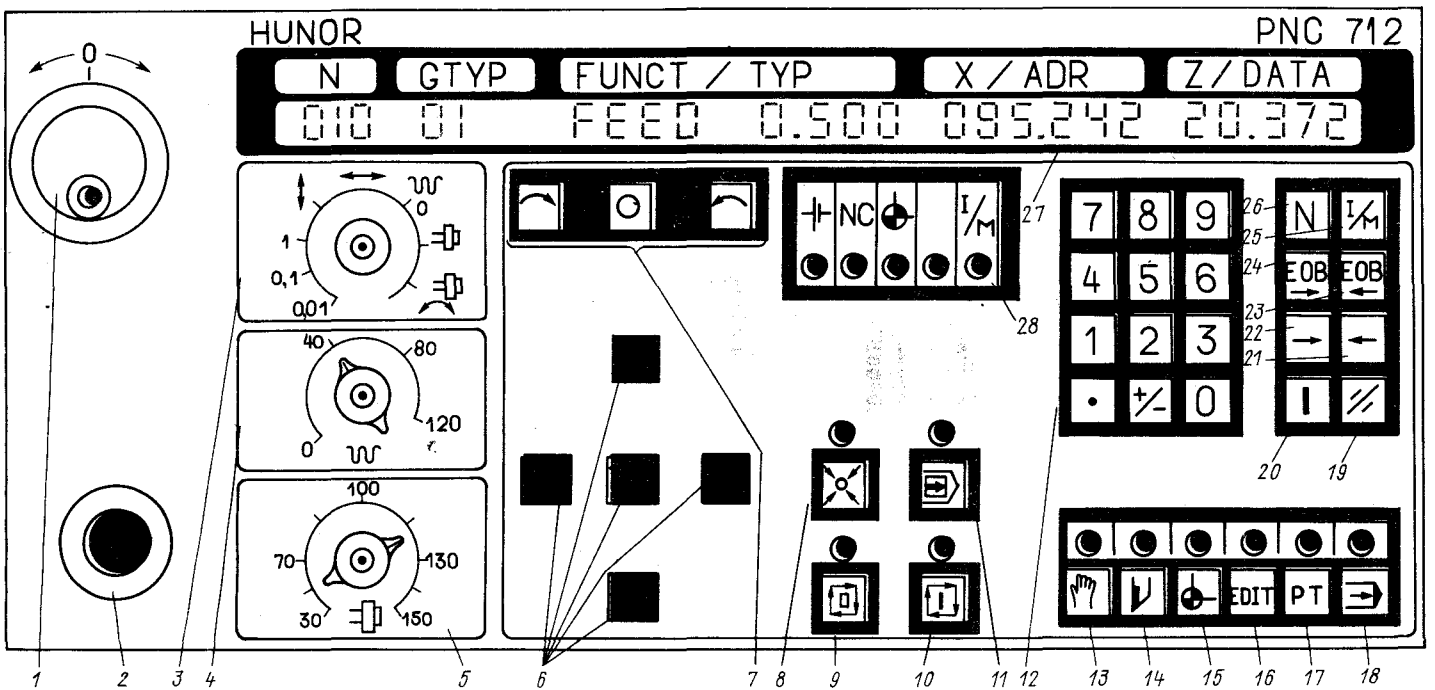


Рис. 7.44. Схема пульта УЧПУ класса HNC к токарному станку:

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 (против) часовой стрелке и его останова; *8* — включение индикации достигаемого положения; *9* — останов автоматического цикла; *10* — пуск автоматического цикла; *11* — покадровая отработка программы; *12* — клавиатура ввода числовых данных; *13* — режим ручного ввода; *14* — режим коррекции инструмента; *15* — выбор нулевой точки; *16* — режим редактирования; *17* — режим тестирования программ; *18* — режим автоматического выполнения программы; *19* — сброс данных; *20* — программирование приращениями, 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

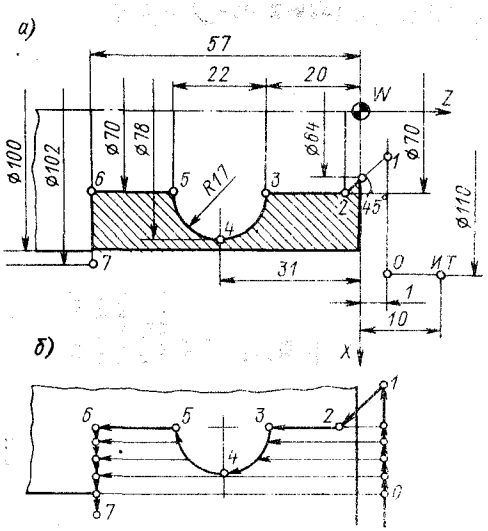


Рис. 7.45. Схема обработки вала на токарном станке с УЧПУ класса HNC: *а* **— конфигурация вала;** *б* **— траектория центра инструмента**

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.

Пример. *Программа для обработки вала.* Фрагмент УП для обработки вала, показанного на рис. 7.45, *а*, можно записать в виде:

```
N005 G50 F0.8 S5 T101 M3 M40 X110 Z1
N010 G60 X1 Z2
N015 G72 X65 DELT4 FROM30
N020 G60 X0 Z0
N025 G40 X110 Z10
N030 G50 X64 Z1
N035 G01 X70 A-45
N040 G01 Z-20
N045 G02 X78 Z-31 R17
N050 G02 X70 Z-42 R17
N055 G01 Z-57
N060 G01 X102
N065 G40 X110 Z10 P2
```

Кадр N005: указывается инструмент (T1) и вызывается группа коррекций (01); значение подачи 0,8 мм/об; частота вращения шпинделя 500 об/мин (код S5); вращение по часовой стрелке (M3); работа без эквидистанты (M40); начальная точка для работы по программе в цикле — точка 0; код G50 — ускоренный подход к начальной точке, введение предварительных условий обработки, активизация вычислительного процесса. В кодах G50—G57 сначала отрабатываются программированные функции, а потом выполняется позиционирование. В кодах G40—G47 сначала выполняется позиционирование, потом отрабатываются программированные функции.

Кадр N010: временное смещение системы координат (G60) по двум осям соответственно на 1 мм и 2 мм в целях обеспечения припуска на чистовую обработку.

Кадр N015: G72 — код продольной черновой обработки контура, координата начальной точки контура по оси X (65 мм) с учетом смещения оси в кадре N010; глубина резания (DELT) при черновых проходах по контуру равна 4 мм, номер начала контура 30.

Кадр N020: снятие смещения координат (для дальнейшего описания числового контура в заданных размерах).

Кадр N025: активизация работы (G40) — выход резца в исходную точку ИТ на ускоренном ходу.

Кадр N030: ускоренное перемещение (G50) резца в точку, заданную координатами $x=64$ мм и $z=1$ мм.

Кадр N035: линейная интерполяция (G01) из исходной точки под углом A=45° до диаметра 70 мм;

Кадр N040: продольное точение на длину 20 мм;

Кадр N045: круговая интерполяция (G02) на четверть дуги с указанием координат конечной точки — точки *4* ($x=78$ мм; $z=31$ мм) и радиуса ($R=17$ мм).

Кадр N050: круговая интерполяция второй четверти дуги с указанием координат конечной точки (точки *5*) и радиуса.

Кадр N055: продольное точение по оси *Z* до точки *6*.

Кадр N060: выход на рабочей подаче в точку *7*.

Кадр N065: позиционирование на ускоренном ходу в исходную точку; P2 — конец программы.

Главную роль в приведенной программе играют кадр N015, в котором указан код G72 (цикл черновой продольной обточки) и кадры N030—N060, в которых описывается чистовой контур. УЧПУ, рассчитав цикл, перемещает резец от точки *0* на заданную (в кадре N015) глубину резания, отыскивает точку пересечения контура с диаметром первого хода резца (рис. 7.45, *б*) и другие и осуществляет черновую обработку, оставляя заданный припуск. Последним ходом резец проходит по контуру, исполняя заданные чистовые размеры.

7.9. СИМВОЛЬНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ TRAUB-IPS

Для ряда современных УЧПУ токарными станками (например, для УЧПУ модели TRAUB SYSTEM TX-8-D) одним из основных является метод программирования в режиме диалога с выводом графического изображения (символов) на дисплей и контролем моделирования. Этот метод обеспечивается соответствующим ПМО (например, TRAUB-IPS) и техническими средствами, включая УЧПУ.

Основа системы — мощная (хранящаяся в памяти ЭВМ УЧПУ) библиотека подпрограмм, включающая данные по заготовкам, приспособлениям и инструменту, по геометрическим элементам контура, режимам обработки и т. п. Специальный графический процессор ЭВМ УЧПУ позволяет формировать на экране дисплея УЧПУ различные графические изображения: обрабатываемый контур, заготовку, схемное изображение приспособлений, инструмента, схему удаления припуска и т. д. Все эти изображения могут быть совмещены, отдельным элементам (например, инструменту) задана динамика в режиме реального времени, что позволяет осуществлять символьно-графическое моделирование введенной программы и контроль текущего процесса обработки каждой данной детали.

Естественно, что УЧПУ позволяет вывести на экран дисплея любую буквенно-цифровую информацию, совмещая ее при необходимости с графической.

Процесс программирования обработки при рассматриваемом методе ведется в режиме диалога по принципу «меню», когда оператору предлагается набор («меню») отдельных решений. Оператор в процессе программирования выбирает требуемый по чертежу вариант и вводит с пульта УЧПУ необходимые данные в предлагаемой последовательности и по предлагаемой схеме. Введенные данные (графики, буквенно-цифровая информация) тут же высвечиваются на экране цветного дисплея, при необходимости они могут быть откорректированы, заменены и т. п.

Программирование обработки включает последовательные этапы: формирование геометрии заготовки и детали, конкретизацию технологических требований, определение стратегии и выбор схемы обработки и инструмента, определение режимов обработки, разработку схемы наладки, наладку, динамическое моделирование с вызовом на графику, изображение рабочего процесса при обработке первой детали (при необходимости и последующих).

Геометрия заготовки и контура детали формируется на экране дисплея УЧПУ символьными клавишами, на которых изображены точка, прямая со стрелками направления и окружность (рис. 7.46). При наборе одного из этих элементов оператору на экране дисплея дается так называемое окно ввода. Здесь можно параметризировать геометрический элемент, прежде чем подключить его в общий формируемый контур. На экране элемент высвечивается графически. Здесь же указываются буквенные адреса, по которым последовательно (по ходу ввода)

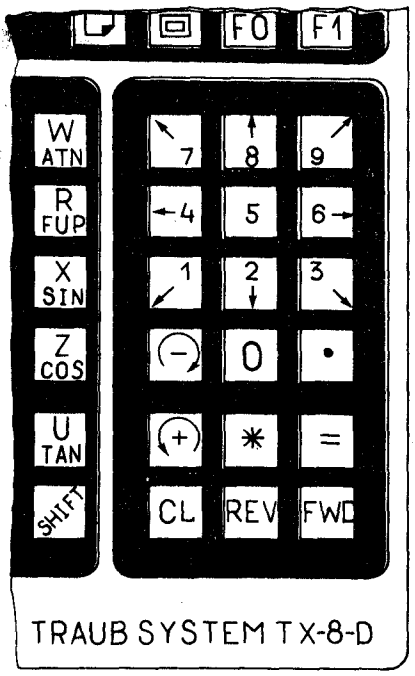


Рис. 7.46. Часть клавиатуры УЧПУ для ввода геометрии

высвечивается поле набора цифровых данных (рис. 7.47). Так, прямая определяется координатами исходной точки x, z, углом A и приращениями U и W; округление задается радиусом, фаска — адресом D и т. п.

В системе возможен одновременный ввод нескольких типовых элементов по схемам, аналогичным рассмотренным при программировании с упрощенным описанием контура. Последовательным вводом элементов контура (геометрия и числовые данные) составляется контур детали, который представляется на экране дисплея в принятой системе координат. Например, показанный на рис. 7.47 контур может быть сформирован последовательным вводом вертикальной прямой с исходной точкой W ($x=0$, $z=0$; $A=0$), горизонтальной прямой ($x=40$; $A=180°$), наклонной прямой ($z=-45$; $x=50$; $A=135°$), вертикальной прямой ($z=-45$), скругления ($R=10$), горизонтальной прямой ($x=80$; $A=180°$). Следует отметить, что при вводе элемен-

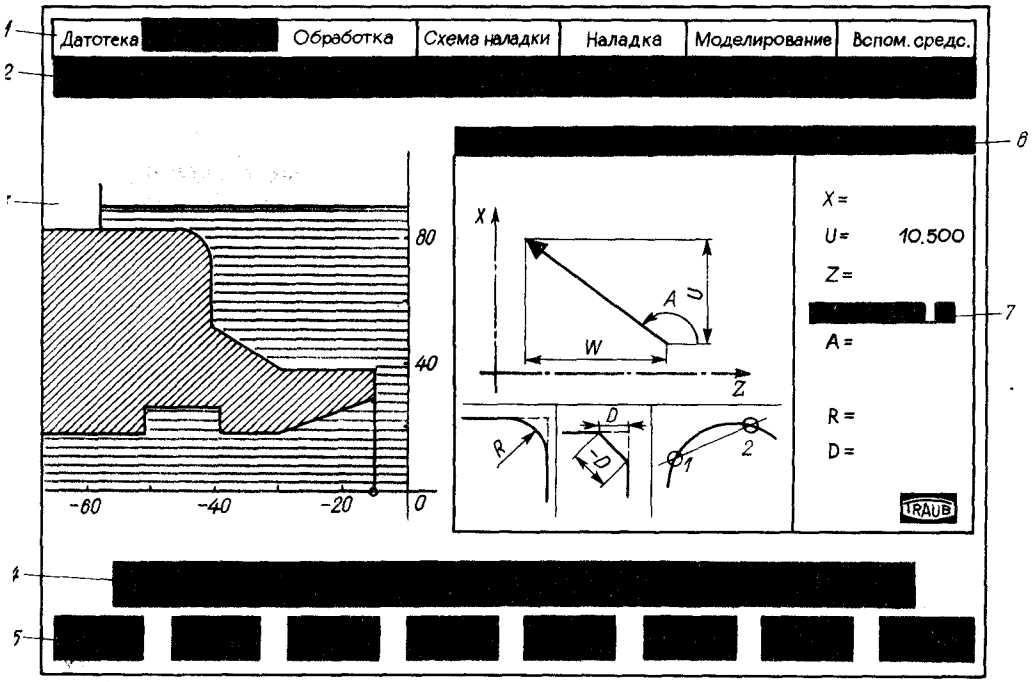


Рис. 7.47. Поле экрана дисплея в состоянии ввода геометрии контура:

1 — строка функции; *2* — состояние диалога; *3* — графический или алфавитно-числовой диапазон информации; *4* — показание ошибок; *5* — клавиатура средства программирования; *6* — окно набора; *7* — поле набора

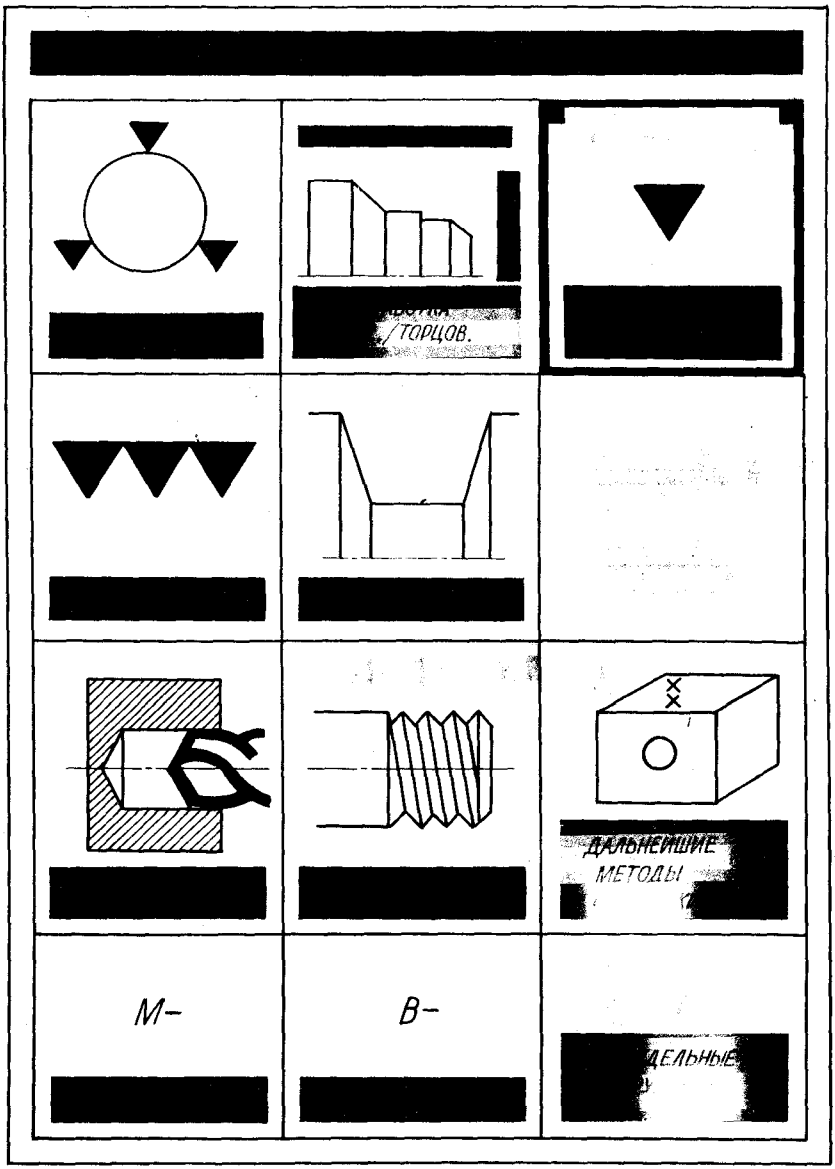


Рис. 7.48. Вид главного меню на экране дисплея и вызов меню черновой обработки

тов система автоматически отслеживает непрерывность контура, выполняет нужные промежуточные расчеты, обеспечивая необходимые сопряжения.

После ввода геометрии заготовки и детали для проверки на экран дисплея выводят изображения обоих контуров. Здесь же в программу вводят особые технологические требования (указание на припуск под шлифовку, указание на резьбу и др.). Эти требования вводят кодами с клавиатуры УЧПУ, указывая на дисплее соответствующий элемент контура световой полосой (зайчиком). Перемещение зайчика по контуру детали осуществляется соответствующими клавишами.

Этап программирования, связанный с *определением методов и схем обработки*, осуществляется согласно вызван-

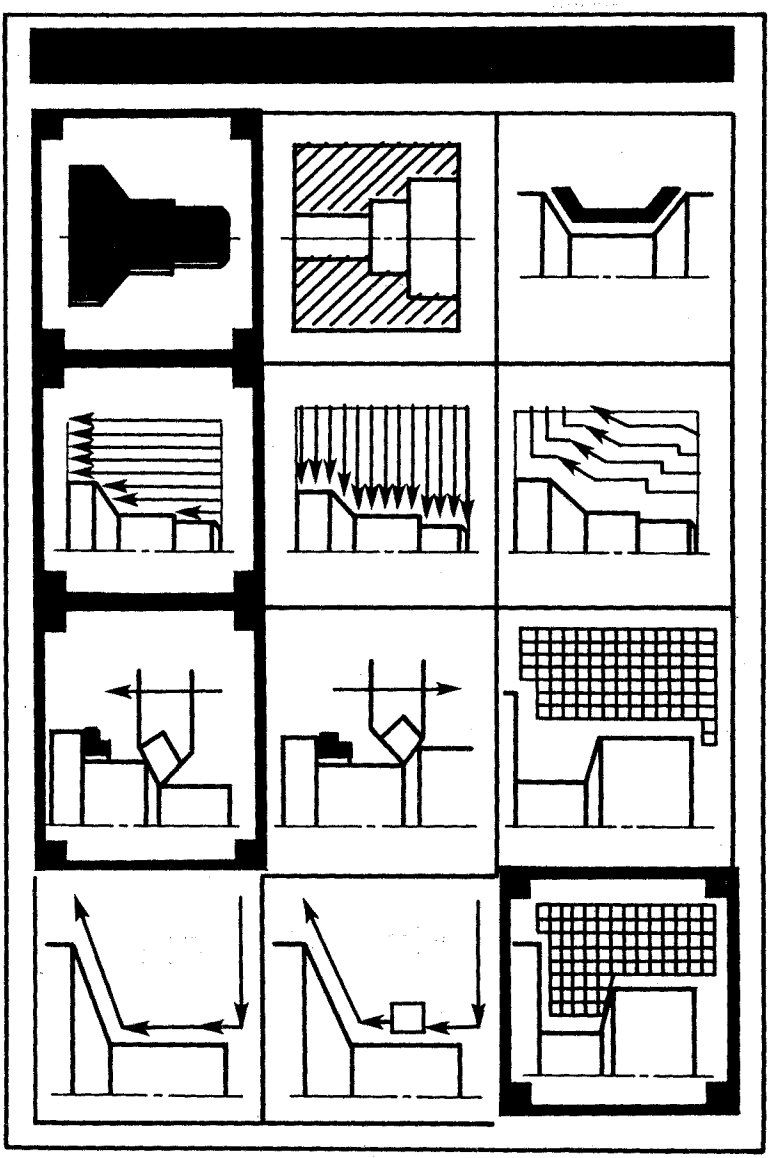


Рис. 7.49. Выбор схем обработки по меню «ЧЕРНОВАЯ ОБРАБОТКА» (за счет смещения цветного обвода точно специфицируется вид обработки: снаружи, продольно, по направлению к шпинделю, со сходящим контуром)

ному главному меню. Это меню состоит из разделов (рис. 7.48): ЗАЖИМ, ПРОДОЛЬНАЯ/ТОРЦОВАЯ ОБРАБОТКА, ЧЕРНОВАЯ ОБРАБОТКА, ЧИСТОВАЯ ОБРАБОТКА, ПРОРЕЗАТЬ, СВЕРЛИТЬ, РЕЗЬБОНАРЕЗАНИЕ, ДАЛЬНЕЙШИЕ МЕТОДЫ, М- и В-функции, ОТДЕЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ. В соответствии с отдельными составляющими меню вызывают вторичные меню (рис. 7.49) и программируют последовательную обработку отдельных элементов детали. Выбранные и заданные своими параметрами (код, исходная точка, расстояние между проходами и т. д.) схемы удаления припуска совмещаются графически с контуром заготовки и детали (рис. 7.50).

После выбора схем обработки всех

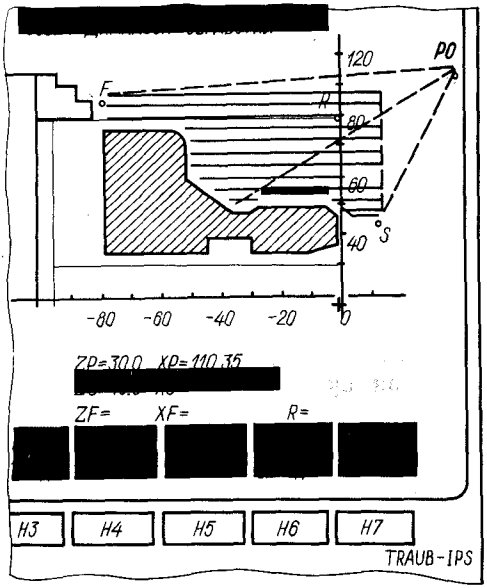


Рис. 7.50. Поле экрана дисплея при программировании черновой обработки контура

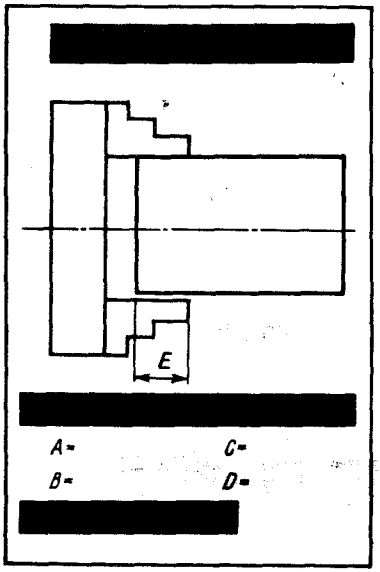


Рис. 7.51. Схема вызова приспособления и выбор длины зажима

элементов детали назначается приспособление с уточнением схемы базирования и крепления заготовки. Схема приспособления может быть представлена графически для уточнения вылета заготовки (рис. 7.51), который вводится оператором в программу с соответствующим адресом (например, E=25.0). Приспособление, как и все другое, выбирается по соответствующему меню, высвечиваемому на экране дисплея.

Инструмент для обработки тех или иных поверхностей предлагается оператору автоматически по каждой выбранной им схеме обработки. Система предлагает также движения подвода и отвода. Оператор может модифицировать все движения, изменить, уточнить. Если оператор принял решение, то это подтверждается на экране дисплея графически (высвечивается схема инструмента) и текстом.

Режимы обработки могут быть или назначены оператором, или получены автоматически по введенному коду материала детали и инструмента, по виду обработки (черновая, чистовая), по принятой схеме точения и др. Система определяет оптимальные режимы (подачу, скорость резания, необходимые замедления) с учетом данных, характерных для станка.

После определения всех параметров обработки система автоматически генерирует программу работы станка в коде ИСО. Программа с определенными ком-

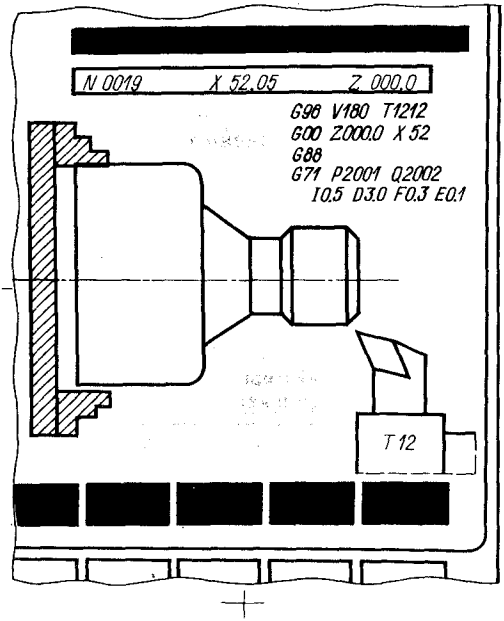


Рис. 7.52. Моделирование процесса обработки на экране дисплея

ментариями может быть выведена на экран дисплея. При этом высвечивается схема инструмента, используемого для группы кадров.

Подготовку программы работы станка завершает *этап наладки*, на котором уточняется используемый при обработке режущий инструмент. Происходит формирование команд по автоматической загрузке инструментом револьверной головки (магазина инструмента). Вводится сигнализация, оповещающая об отсутствии выбранного инструмента в данной наладке станка.

Далее, по желанию оператора, возможно графическое моделирование всего процесса обработки детали. Запрограммированный процесс в динамике изображается на экране схемой инструмента (рис. 7.52), который можно перемещать, изменяя форму заготовки и т. п. При этом указываются кадры УП и текущие координаты вершины движущегося инструмента.

Процесс моделирования возможен и при обработке первой детали (как контрольный процесс). Вывод информации на экран дисплея в цвете делает ее обзорной и легко понимаемой.

ГЛАВА 8

ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ И ФРЕЗЕРНОЙ ГРУПП

8.1. ПРОГРАММИРОВАНИЕ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Программирование сверлильных (расточных) операций, так же как и других, начинается с составления РТК, определения координат опорных точек и т. д. Эскиз обрабатываемой детали представляют в двух системах координат: станка и детали. Для сравнительно простых операций на РТК показывают исходное положение всех используемых инструментов (указывают также их вылет) и шпинделя.

Таблица 8.1. Координаты опорных точек (центров отверстий) при обработке отверстий в детали типа «крышка»

Отверстие	Координата, мм				
	$x_д$	$y_д$	$x_с$	$y_с$	$z_с$
1	20	20	50	105	175
2	150	20	180	105	175
3	105	40	135	125	175
4	52,5	70,31	82,3	155,31	175
35	52,5	9,69	82,5	94,69	175
6	70	40	100	125	175

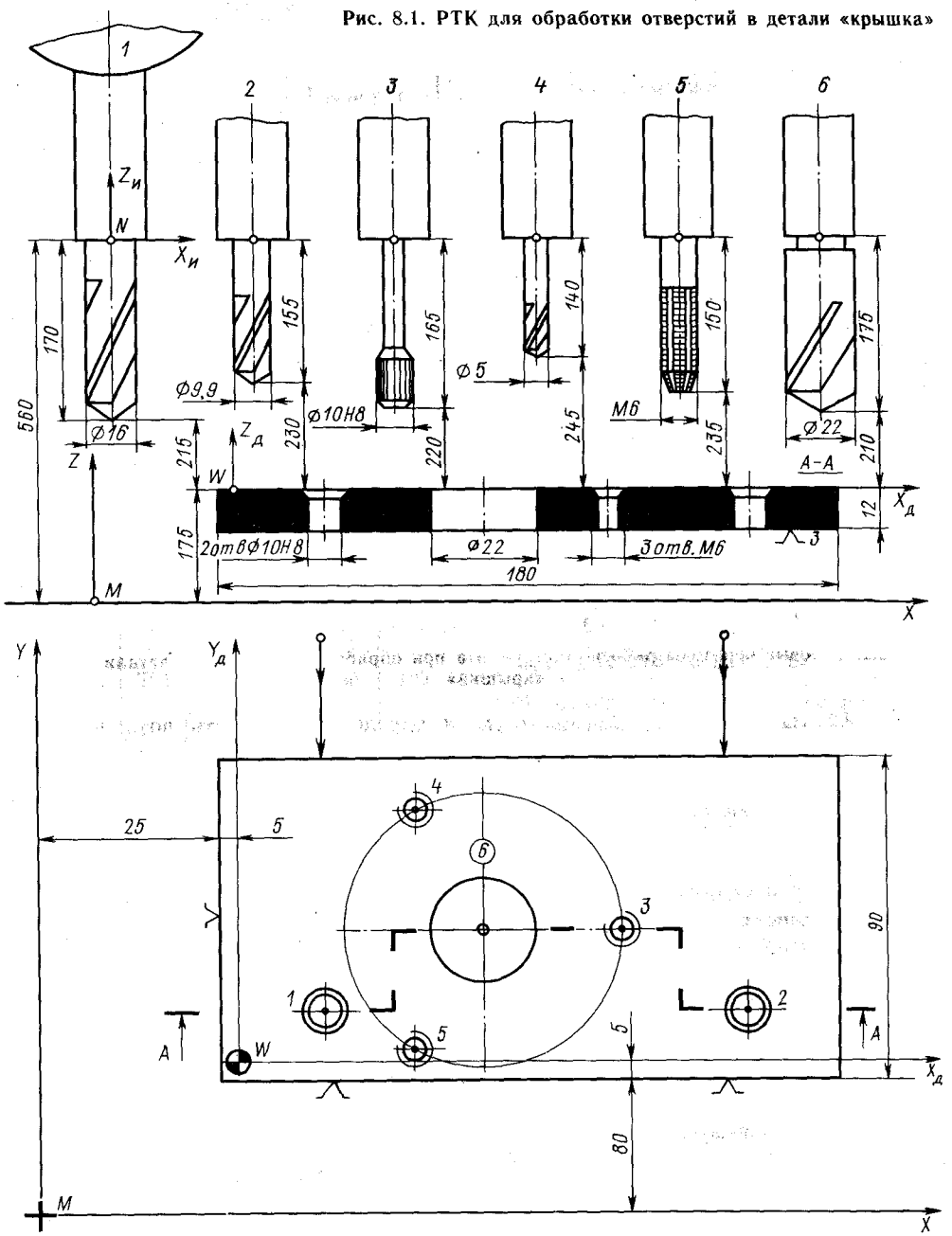
На рис. 8.1 показана РТК для обработки в детали типа «крышка» двух отверстий диаметром 10Н8, трех резьбовых отверстий М6, и отверстия диаметром 22 мм. В табл. 8.1 приведены исходные координаты центров всех отверстий в системах координат детали и станка.

Общая методика программирования сверлильных операций

Выбор типовых переходов. До расчета траектории инструментов при сверлильной обработке сначала определяют предварительный состав переходов для каждого отверстия и выбирают инструмент, затем уточняют состав переходов и общую их последовательность. Далее строят схемы осевых перемещений инструментов относительно опорных точек (центров отверстий) и назначают режим резания.

Например, предварительный состав типовых переходов для обработки отверстий *1—6* в детали типа «крышка» может быть принят

Рис. 8.1. РТК для обработки отверстий в детали «крышка»



следующим: центрование (рис. 8.2, *а*, *б*), сверление (рис. 8.2, *в*, *г*, *ж*), нарезание резьбы (рис. 8.2, *е*) и развертывание (рис. 8.2, *д*). В связи с этим выбранный инструмент Т01 — Т06 может быть размещен в гнездах шестипозиционной револьверной головки сверлильного станка.

Состав инструментальной наладки: (по гнездам): 1) сверло ($\varphi = 90°$) диаметром 16 мм; 2) сверло диаметром 9,9 мм; 3) развертка диаметром 10Н8; 4) сверло диаметром 5 мм; 5) метчик М6; 6) сверло диаметром 22 мм. Общая последовательность переходов может быть следующей: центрование с зенкованием отверстий *1—5*, сверление и развертывание отверстий *1* и *2*, сверление отверстий *3—5* и нарезание в них резьбы, сверление отверстия *6*. Схемы осевых перемещений для расчета опорных точек траектории инструментов при обработке отверстий *1—6* приведены

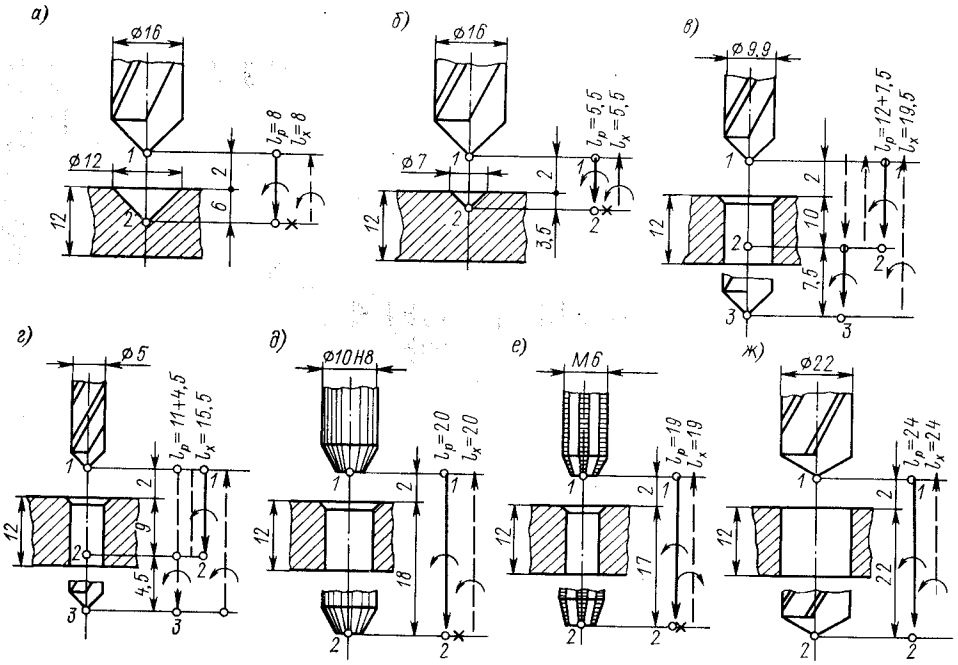


Рис. 8.2. Типовые переходы работы инструмента при обработке отверстий в детали типа «крышка»

на рис. 8.2. На этих схемах цифрами *1—3* показаны последовательности опорных точек траектории инструментов, стрелками — направления рабочих (l_p) и холостых (l_x) ходов и направления вращения шпинделя. Знаком × обозначен выстой инструмента. Режимы резания для участков траектории приведены в табл. 8.2.

Кодирование информации. В общем случае кодирование информации УП для сверлильных станков сводится к кодированию процесса замены инструмента, кодированию перемещений (позиционирования) инструмента от одной опорной точки (центра отверстия) к другой и введению в действие циклов обработки отверстий в моменты, когда инструмент располагается над требуемой точкой.

Конкретная методика кодирования определяется моделью УЧПУ и ее возможностями. Рассмотрим общие положения.

Режимы движения и позиционирования задают с помощью подготовительных функций G60 — G69 (см. гл. 1). Согласно такой функции УЧПУ обеспечивает соответствующий характер подхода инструмента к заданной точке и остановку его в конкретной зоне, которая и определяет точность позиционирования. В общем случае функции G60 — G64 задают позиционирование с ускоренного хода, а функции G65 — G69 — с рабочей подачи. Эти функции используют, если, например, на станках рассматриваемого типа выполняется операция прямоугольного формообразования, в частности фрезерование. Из рассмотренных функций наиболее часто применяют G60 (точное позиционирование со стороны движения) и G62 (позиционирование с ускоренного хода — грубое позиционирование).

Напомним, что при точном позиционировании обеспечивается ступенчатое снижение скорости движения: от ускоренной (или заданной) до минимальной скорости подхода к заданной точке. При грубом позиционировании происходит отключение подачи ускоренного хода в зоне остановки, в результате чего возможен или перебег, или недобег.

Например, если необходимо последовательно позиционировать инструмент от точки к точке, то записывают:

```
N{i}   G90 G60 X(X1) Y(Y1) LF
N{i+1}        X(X2) Y(Y2) LF
N{i+2}        X(X3) Y(Y3) LF
```

Таблица 8.2. Типовые переходы по обработке отверстий в детали типа «крышка»

Переход	Номер отверстия (см. рис. 8.1)	Инструмент	Схема на рис. 8.2	Участок траектории	$s_м$, мм/мин	n, об/мин
Центрование с зенкованием	*1*; *2*	T01	*а*	*1—2*	40	500
	3; *4*; *5*		*б*			
Сверление	*1*; *2*	T02	*в*	*1—2*	100	710
				2—3	80	
	3; *4*; *5*	T04	*г*	*1—2*	100	1400
				2—3	80	
	6	T06	*д*	*1—2*	60	355
Развертывание	*1*; *2*	T03	*ж*	*1—2*	50	125
Нарезание резьбы	*3*; *4*; *5*	T05	*е*	*1—2*	25	25

Реализация постоянных циклов обработки отверстий. Такие циклы реализуются заданием подготовительных функций G81 — G89. Каждая из них, согласно ГОСТ 20999—83 (СТ СЭВ 3585—82), 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), G84 — нарезание резьбы и др. (см. гл. 1). 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. 8.3, *а*). Поэтому кадр задания постоянного цикла, например сверления, имеет вид

```
N{i} 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 нуль»*. Как уже говорилось в гл. 2, в таких УЧПУ по командам УП или с пульта УЧПУ можно смещать нуль станка в любую точку по всем осям, в частности по оси Z. В ряде УЧПУ по оси Z смещается нулевая плоскость XMY (рис. 8.3, *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. 8.3, *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 R0. LF
```

Определенные удобства создаются для программирования, если УЧПУ имеют команды на сдвиг нуля, кодируемые функциями G92, G54 — G59. В этом слу-

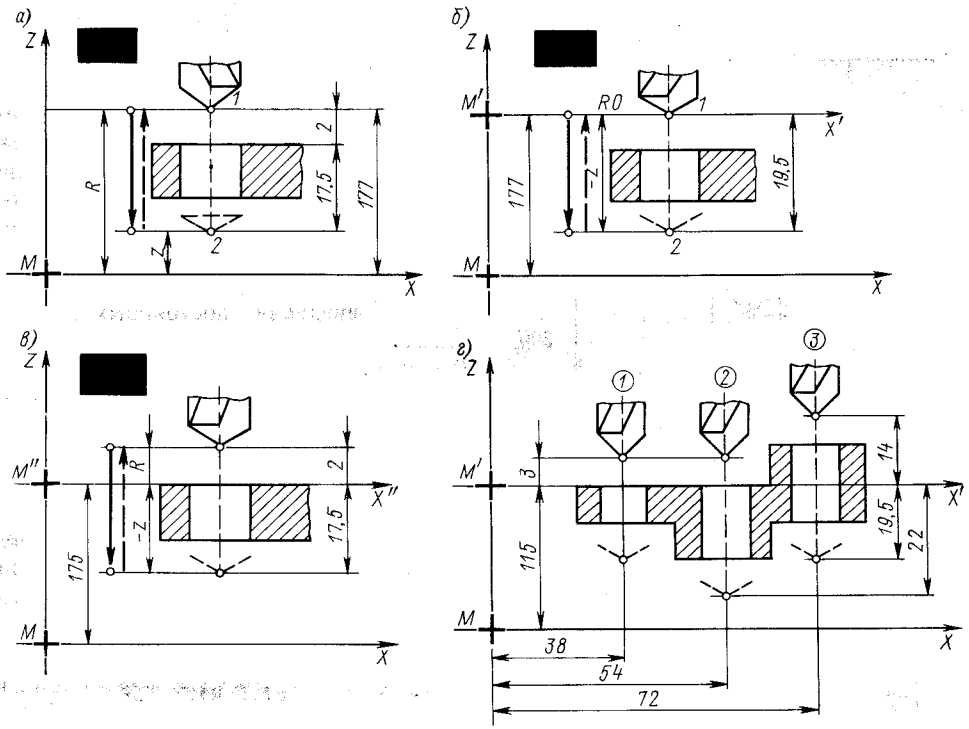


Рис. 8.3. Схемы задания параметров R и z в постоянных циклах

чае при программировании постоянных циклов нулевую плоскость совмещают с верхней плоскостью детали (рис. 8.3, *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. 8.3, *г*), имеют вид:

```
N{i}   G59 Z115. LF(смещение нуля по
                                оси Z)
N{i+1} G81 R3. Z-19.5 LF(сверление от-
                              верстия1)
N{i+2} G60 X54. LF
N{i+3}     R3. Z-22. LF(сверление от-
                              верстия2)
N{i+4}     R14. LF(подъем инструмента
                          на уровень R=14)
N{i+5}     X72. LF
N{i+6}     Z-19.5 LF(сверление отвер-
                                стия3)
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 координут станка кодируется этой же функцией (G59) с нулевым числовым значением:

```
N{i} G59 Z0. LF
```

Кодирование процесса замены инструмента. Эта задача во многом зависит от конструктивных особенностей

станка и УЧПУ. В большинстве случаев требуются как минимум, две команды, задаваемых 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. 8.4) 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{Z0}...T0806...
```

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

```
N{i}...G43...Z{Z0}...T0806...
```

При этом предполагается, что величина Δz 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 —),

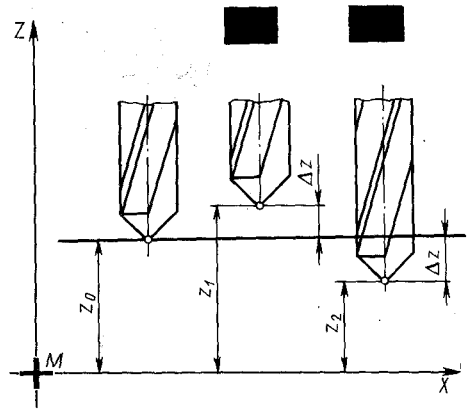


Рис. 8.4. Схема для определения коррекции вылета инструмента

прибавляется к заданной координате. Функция G44 означает, что величина смещения, установленная на корректоре с адресом H, отнимается от заданного в данном кадре значения координатного размера.

Напомним, что в ряде случаев корректор инструмента может указываться отдельным адресом, например D.

Пример 1. *Подготовка УП по общей методике.* Проследим общую методику кодирования информации УП для обработки детали, которая показана на рис. 8.1, а выбранные типовые переходы — на рис. 8.2.

Первыми переходами, согласно принятой схеме операции, являются переходы по центрованию всех отверстий, причем отверстия *1, 2* должны быть зацентрированы на глубину 6 мм, а отверстия *3—5* — на глубину 3,5 мм (см. рис. 8.2, *а, б* и табл. 8.2).

На примере программирования работы первого инструмента (сверло диаметром 16 мм, кодовый номер T01, корректор 01) рассмотрим порядок кодирования информации для случаев без смещения нуля системы координат по оси *Z*:

```
% LF
N1  G60 G80 T0101 LF
N2      F40. S500 M06 LF
N3  G44 Z390. LF
N4      X50. Y105. LF
```

В первом кадре указаны работающий инструмент и подготовительные функции G60 (точное позиционирование) и G80 (отмена постоянных циклов). Последнее обязательно для того, чтобы очистить рабочую память УЧПУ от ранее запрограммированных команд по постоянным циклам. Во втором кадре дана команда на смену инструмента (M06), ука-

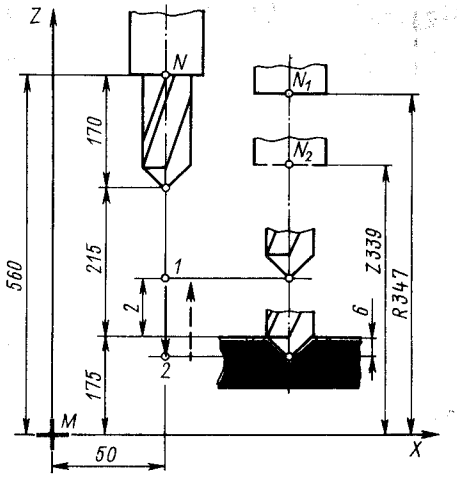


Рис. 8.5. Схема для определения перемещений при центровании отверстий

заны режимы его работы: подача 40 мм/мин и частота вращения шпинделя 500 об/мин. Третий кадр указывает на необходимость коррекции. При этом дается расчетный вылет инструмента (положение вершины) по оси Z и указывается функция коррекции G44 для укороченных инструментов. Четвертым кадром инструмент позиционируется в точку 1, определенную в системе координат станка координатами $x_c=50$ мм, $y_c=105$ мм (см. табл. 8.1). Следующим кадром необходимо вывести вершину инструмента в точку, которой соответствует недоход над плоскостью детали 2 мм. Чтобы вершина данного инструмента пришла в эту точку, необходимо сместить точку N шпинделя (см. рис. 8.1).

Напомним (см. подробно гл. 2), что при работе в абсолютной системе координат программируется перемещение базовых точек узлов станка и перемещения этих точек выводятся на индикацию. В данном случае базовой для всех инструментов принята плоскость положения базовой точки N шпинделя, определенная координатой $z=560$ мм. При положении торца шпинделя в этой плоскости происходит и смена инструментов. Для вывода сверла диаметром 16 мм (с расчетным вылетом 170 мм) в точку начала работы по циклу необходимо позиционировать шпиндель (его точку N) по оси Z в точку N_1 с координатой $R=347$ мм ($560-213=347$) — рис. 8.5. Координата положения торца шпинделя в конце рабочего хода сверла (точка N_2) определится координатой $z=347-8=339$ мм. Эти данные и следует записать с адресами R и Z при программировании постоянного цикла:

```
N5  G82 R347. Z339. LF
```

После исполнения команды кадра N5 торец шпинделя будет расположен в плоскости, определенной координатой $R=347$ мм.

Для обработки следующих отверстий по заданному циклу G82 достаточно теперь программировать только перемещения по осям X и Y. В кадрах, где изменяется координата z (центрование отверстий *3—5*), следует ее указать. Естественно, что указанная в кадре N7 величина z отрабатывается в последующих кадрах тоже:

```
N6      X180. Y105. LF
N7      X135. Y125. Z341.5 LF
N8      X82.3 Y155.31 LF
N9      X82.5 Y94.69 LF
N10     X100. Y125. LF
N11 G80 T0202 LF
```

Кадр N11 отменяет цикл G82 и задает новый инструмент.

Упрощенная методика программирования сверлильных операций

Рассмотренная методика программирования сравнительно сложна, требует пересчета некоторых размеров, а главное, определения и учета вылета инструмента в процессе программирования. Ее применяют, когда действительные вылеты инструментов мало отличаются от расчетных, когда применима система предварительной регулировки вылета инструмента в специальных приспособлениях. Программирование становится значительно проще, если использовать возможности УЧПУ по смещению нуля и вводить коррекцию на инструмент в период наладки (настройки) станка исходя из действительного его вылета. Это не только облегчает кодирование информации, но в значительной мере упрощает составление РТК (рис. 8.6): нет необходимости задаваться вылетом инструментов, не нужен пересчет координат точек из системы координат детали в систему координат станка и т. д.

Все это объясняется тем, что нуль станка смещается в начало координат детали (из точки M в точку W) и отсчет программируемых перемещений в процессе отработки УП ведется от точки W, т. е. так, как это задано на чертеже детали. Кроме того, при настройке станка вылет l каждого инструмента вводится

(с обратным знаком) в корректор этого инструмента. Делается это просто. Инструмент доводят до касания вершины P с верхней плоскостью заготовки, установленной в приспособлении. На табло, предназначенном для индикации перемещения по оси Z, высвечиваются цифры, определяющие расстояние от плоскости нового нуля до базовой точки шпинделя, т. е. величина $zWN = l$. А это и есть действительный вылет инструмента (например, для сверла диаметром 16 мм он равен 172 мм). Если теперь на корректоре инструмента набрать величину $zWN = l$ (172 мм), то на табло индикации по оси Z будут нулевые показания, т. е. базовая точка N совместится с вершиной P инструмента. Подобную настройку (с касанием инструмента острием или торцом поверхности детали) проводят для каждого инструмента, и значения соответствующих вылетов набирают на соответствующих корректорах. Таким образом, для всего набора инструментов на данную операцию справедливо положение: при нахождении вершины инструмента в плоскости нового нуля табло индикации по оси Z показывает нули.

При настройке достаточно просто также совмещать ось шпинделя с началом координат детали (подробно см. гл. 2).

Пример 2. *Подготовка УП по упрощенной методике.* Приняв во внимание сказанное выше, программу обработки рассматриваемой детали (см. пример 1) можно представить следующим образом:

```
% LF
N1  G60 G80 T0101 LF
N2      F40. S500 M06 LF
N3  G59 X30. Y85. Z175. LF
```

В кадрах N1 — N3 задают инструмент T01, условия его работы и указывают на смещение нуля (G59) по трем осям.

```
N4      X20. Y20. LF
N5  G82 R2. Z-6.LF
```

В кадре N5 задают постоянный цикл и значения параметров в соответствии со схемой на рис. 8.2, *а*

```
N6      X150. LF
N7      X105. Y40. Z-3.5 LF
```

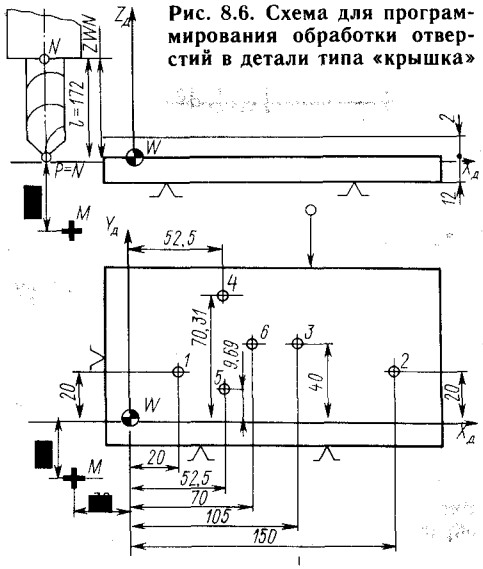


Рис. 8.6. Схема для программирования обработки отверстий в детали типа «крышка»

В кадре N7 дают команды на позиционирование в точку *3* и исполнение заданного цикла (G82) с новым значением z ($-3{,}5$ мм).

```
N8      X52.5 Y70.31 LF
N9      Y9.69 LF
N10     X70. Y40. LF
N11 G80 T0202 LF
```

Кадр N11 завершает работу сверлом диаметром 16 мм (T0101) и готовит к вводу новый инструмент — сверло диаметром 9,9 мм (T0202).

```
N12     F100. S710 M06 LF
N13     X20. Y20. M08 LF
```

Кадры N12 и N13 задают режимы инструмента и установку его в шпиндель (команда M06). Выполнено позиционирование сверла в точку *1*, включено охлаждение (команда M08).

```
N14 G83 R2. Z-10.• LF
N15     Z-17.5 F80. LF
```

Кадр N14 указывает постоянный цикл глубокого сверления (G83) и его параметры. Указывать параметр R необходимо, поскольку он определяет точку выхода (на ускоренном ходу) инструмента с позиции замены в рабочую позицию по оси Z. Кадр N15 дополняет кадр N14, указывая координату второго хода с измененной подачей (согласно принятой схеме обработки — см. рис. 8.2, *в*, подача на выходе сверла уменьшается до 80 мм/мин).

```
N16     X150. Y20. Z-10. F100. LF
N17     Z-17.5 F80. LF
```

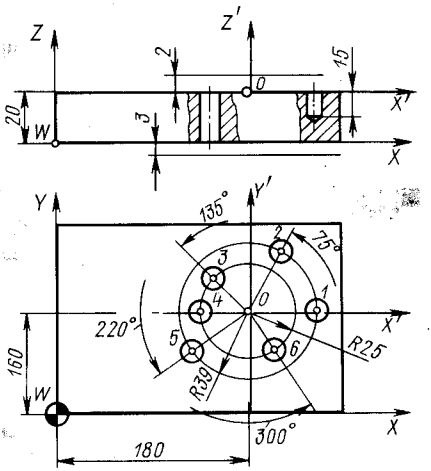


Рис. 8.7. Схема для программирования обработки отверстий в детали типа «плитка»

Кадрами N16 и N17 программируется сверление по циклу G83 отверстия с центром в точке *2*.

```
N18 G80 T0404 LF
```

В кадре N18 готовится к вводу сверло диаметром 5 мм (T0404) и задаются режимы его работы

```
N19      F100. S1400 M06 LF
N20      X105. Y40. LF
N21 G83 R2. Z-9. LF
N22      Z-13.5 F80. LF
N23      X52.5 Y70.31 Z-9. F100. LF
N24      Z-13.5 F80. LF
N25 G80 T0606 LF
```

Кадры N19—N24 программируют обработку сверлом диаметром 5 мм по циклу G83 отверстий в Тк3, *4*, *5*. Кадр N25 указывает новый инструмент — сверло диаметром 22 мм (T0606).

```
N26      F60. S355 M06 LF
N27      X70. Y40. LF
N28 G81 R2. Z-22. LF
N29 G80 T0303 LF
```

Кадры N26 — N28 программируют сверление отверстия диаметром 22 мм с центром в точке *6*. Указывается новый инструмент — развертка диаметром 10Н8 (T0303).

```
N30      F50. S125 M06 LF
N31      X20. Y20. LF
N32 G89 R2. Z-18. LF
```

Кадр N32 вводит цикл развертывания (G89) с рабочим ходом $R+z$, выдержкой в конце рабочего хода и отводом на быстром ходу (см. рис. 8.2, *д*).

```
N33      X150. LF
N34 G80 T0505 LF
```

Кадром N33 запрограммировано развертывание отверстия в точке *2*. Кадр N34 готовит новый инструмент — метчик М6 (T0505).

```
N35      F250. S250 M06 LF
N36      X105. Y40. LF
N37 G84 R2. Z-17. LF
N38      X52.5 Y70.31 LF
N39      Y9.69 LF
N40 G80 G59 X0. Y0. Z0. M09 LF
N41 G00 X0. Y0. Z560. M00 LF
```

Кадры N35 — N39 программирует нарезание резьбы в отверстиях *3*—*5* в соответствии с постоянным циклом G84. Цикл обеспечивает рабочий ход с рабочей подачей, остановку и реверсивное вращение шпинделя в конечной точке, возврат инструмента с рабочей подачей.

Кадры N40, N41 отменяют смещение нуля, отключают охлаждение и выводят шпиндель в нулевую точку станка с координатой $z=560$ мм.

Пример 3. *Подготовка программы для сверления отверстий в детали при задании размеров в полярной системе координат.* Естественно, что и в этом случае постоянные циклы также должны быть использованы обязательно.

В детали (рис. 8.7) необходимо просверлить шесть отверстий (*1*—*6*) сверлом (T02) диаметром 12 мм: три из них (*1*, *2*, *5*) — на глубину 15 мм; три другие (*3*, *4*, *6*) — сквозные.

Программа может иметь вид:

```
% LF
N5  G90      T0202 S800 M03 LF
N10     G80 M06 LF
N15     G59 X180. Y160. Z20. LF
N20     G00 X39. Y0. M08 LF
N25     G81 Z-15. R2. F50. LF  ....Tk1
N30         U39. A75. LF       ....Tk2
N35         Z-23. U25. A135. LF....Tk3
N40         A180. LF           ....Tk4
N45         Z-15. U39. A220. LF....Tk5
N50   Z-23. U25. A300. M09   LF....Tk6
N55     G80 G53 G00 X0. Y0. Z0. M00 LF
```

Кратко прокомментируем программу.

Кадр N5 — задается инструмент (T02) с корректором (02), указывается частота вра-

щения шпинделя (800 об/мин) по часовой стрелке (M03).

Кадр N10 — отменяются все предыдущие постоянные циклы (G80) и обеспечивается установка инструмента в рабочее положение (M06).

Кадр N15 — выполняет сдвиг нуля по всем осям, начало системы координат переходит из точки *W* в точку *O*.

Кадр N20 — инструмент позиционируется в плоскости *X'OY'* в положение над центром отверстия *1*, включается охлаждение (M08).

Кадр N25 — вводятся постоянный цикл сверления G81 с указанием глубины сверления по оси *Z*, недоход инструмента *R* и подача 50 мм/мин.

Кадры N30 — N50 — последовательно исполняется постоянный цикл G81 с указанием в кадрах требуемых значений радиуса расположения отверстия (адрес *U*) и углового поворота — угла *A* относительно оси *X'*.

Кадр N55 завершает программу, отменяя действовавший постоянный цикл G80, смещение нуля командой G53 и возвращая инструмент в позицию замены командой

```
G00 X0. Y0. Z0.
```

Программа, *подобная рассмотренной*, в ряде УЧПУ может быть достаточно просто разработана в системе диалога по методу «меню» (см. гл. 9).

Пример 4. *Программирование сверления отверстий с введением коррекции.* В программе для сверления трех отверстий *I*, *II* и *III* (рис. 8.8) сверлом (кодовый номер T18) необходимо применить коррекцию на длину инструмента. Пусть сверлу T18 соответствует корректор H01. Установим на нем значение +120 мм, равное вылету сверла из шпинделя. УП для обработки может иметь следующий вид:

```
% LF
N1 G91 G00 X120. Y87. LF
N2      G43 Z-197. H01 LF
N3          S550 M03 M08 LF
```

Кадр N1 — размеры задаются в приращениях (G91), инструмент на ускоренном ходу (G00) позиционируется в точку *1* над отверстием *I*.

Кадр N2 вводит коррекцию на длину инструмента и смещает инструмент по оси *Z*. Код G43 означает, что величина коррекции, набранная на корректоре H01, прибавляется к значению координаты. В данном примере по команде кадра N2 коррекция обеспечивает условное смещение центра инструмента *P* в плоскость *XOY* принятой системы координат, а потом смещение ее вниз на 197 мм, т. е. в точку *2*.

Кадр N3 устанавливает частоту вращения шпинделя по часовой стрелке (M03), включает вращение и охлаждение (M08).

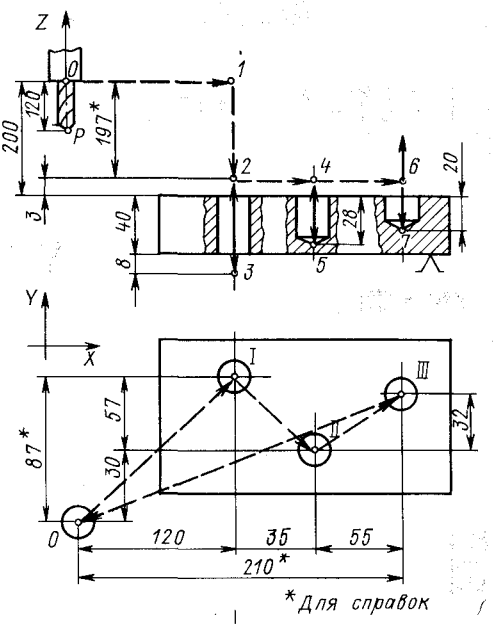


Рис. 8.8. Схема для программирования сверления трех отверстий с назначением коррекции

```
N4      G01 Z-51. F80. LF
N5      G04 X4.0 LF
N6      G00 Z51. LF
N7          X35. Y-57. LF
```

Кадрами N4 — N7 задаются команды на сверление (G01 — рабочее движение) отверстия *I* на подаче 80 мм/мин, задается пауза в 4 с в исполнении УП при нахождении сверла в точке *3*, осуществляется возврат сверла на ускоренном ходу (N6) и его позиционирование в точку *4* (N7).

```
N8      G01 Z-31. LF
N9      G04 X4.0 LF
N10     G00 Z31. LF
N11         X55. Y32. LF
```

Кадры N8 — N11 — задаются команды: сверление отверстия на глубину 28 мм (N8); пауза 4 с при нахождении сверла в точке *5* (N9); быстрый отвод сверла в точку *4* (плоскость *RS*) и его позиционирование в точку *6* (N11).

```
N12     G01 Z-23. LF
N13     G04 X4.0 LF
N14     G00 Z220. H00 M09 LF
N15         X-210. Y-62. LF
N16         M02 LF
```

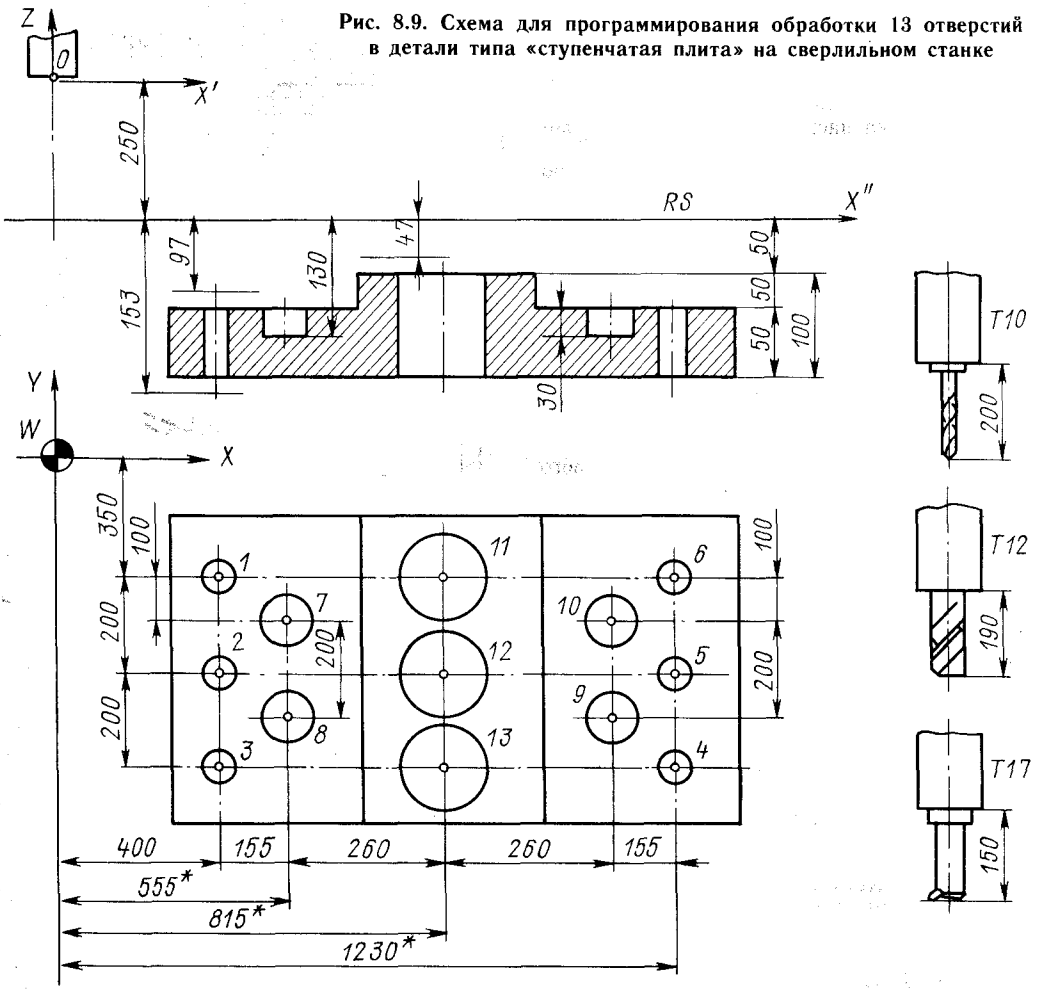


Рис. 8.9. Схема для программирования обработки 13 отверстий в детали типа «ступенчатая плита» на сверлильном станке

Кадры N12 — N16 — задаются команды: сверление отверстия *III* с паузой 4 с в точке *7*; быстрый возврат сверла в точку *8*; отключение охлаждения и отмена коррекции указанием кода H00; позиционирование инструмента на быстром ходу в точку *0*; завершение программы (M02).

Пример 5. *Программирование обработки отверстий в детали типа «ступенчатая плита».* Пусть в ступенчатой плите (рис. 8.9) необходимо обработать 13 отверстий: отверстия *1—6* диаметром 10 мм сверлить сверлом с кодовым номером T10 (корректор на длину H10); отверстия *7—10* диаметром 20 мм обработать специальным однокромочным сверлом с кодовым номером T12 (корректор на длину H12); отверстия *11—13* диаметром 95 мм расточить оправкой (кодовый номер T17, корректор на длину H17).

При наладке станка на корректорах должны быть установлены следующие числовые значения: на H10 — значение +200.0; на H12 — значение +190.0; на H17 — значение +150.0.

Программа для обработки отверстий может иметь следующий вид:

```
% LF
N1      G92 X0 Y0 Z0 LF
N2          T10 M06 LF
N3 G90 G0   Z-250. LF
N4      G43 Z0 H10 LF
N5          S100 M03 LF
N6      G99 G81 X400. Y-350.
            Z-153. R-97. F60. LF
```

Кадр N1 — установки системы координат (командой G92) в точке *0* (базисная точка — точка замены инструмента), определенной кодовыми значениями X0, Y0, Z0.

Кадр N2 — установка инструмента T10.

Кадр N3 — установка абсолютной системы отсчета, задание смещения шпинделя вниз на 250 мм.

Кадр N4 — коррекция на длину «в плюс»

(G43) по корректору H10. Командой Z0 фиксируется так называемый первоначальный уровень *RS* для постоянных циклов; от этого уровня идет отсчет величин *z* и *R* при исполнении циклов.

Кадр N5 — пуск правого вращения шпинделя (M03) с частотой 100 об/мин.

Кадр N6 — введение цикла G99, включающего позиционирование в точку и запуск цикла G81 (сверление с параметрами *z* и *R*). Цикл G99 отличается от цикла G98 (рис. 8.10) тем, что в нем после окончания цикла сверления инструмент возвращается в точку, определенную координатой *R*, в то время как в цикле G98 инструмент, закончив цикл обработки, выйдет в точку, определенную первоначальным уровнем (плоскость *RS*).

Кадр N6 — задание подачи при сверлении 60 мм/мин.

```
N7  G91      Y-200. LF
N8       G98 Y-200. LF
N9  G90 G99 X1230. Y-350. LF
N10 G91      Y-200. LF
N11      G98 Y-200. LF
N12 G90 G0   X0 Y0 M05 LF
N13      G49 Z250. T12 M06 LF
```

Кадр N7 — смещение в относительной системе отсчета на —200 мм и сверление отверстия *2* (см. рис. 8.9) с выходом инструмента к точке, определенной координатой *R*.

Кадр N8 — сверление отверстия *3* с выходом инструмента на первоначальный уровень; это задается кодом G98.

Кадр N9 — позиционирование в точку, определенную координатами для отверстия *4*, и сверления этого отверстия с возвратом инструмента к уровню, определенному координатой *R*.

Кадр N10 — смещение по оси *Y* на —200 мм и сверление отверстия *5* с выходом инструмента на уровень, определенный размером *R* (это задано командой G99 предыдущего кадра).

Кадр N11 — смещение по оси *Y* на —200 мм и сверление отверстия *6* с выходом инструмента на первоначальный уровень (код G98).

Кадр N12 — возврат к абсолютной системе отсчета (G90), позиционирование (G0) в плоскости первоначального уровня в положение базисной точки, останов шпинделя (M05).

Кадр N13 — отмена коррекции на длину инструмента (G49), возврат в точку *0* (по оси *Z*), подготовка инструмента T12 и его установка (M06).

```
N14          Z-250. LF
N15      G43 Z0 H12 LF
N16          S80 M03 LF
N17      G99 G82 X555. Y-450.
         Z-130. R-97. P300 F50. LF
```

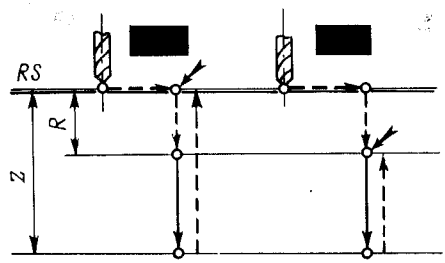


Рис. 8.10. Сравнение циклов G99 и G98

```
N18 G91 G98 Y-200. LF
N19     G99 X520. LF
N20     G98 Y200. LF
N21 G90 G0  X0 Y0 M05 LF
N22     G49 Z250. T17 M06 LF
```

Кадр N14 — смещение шпинделя вниз на 250 мм. На этот кадр распространяется команда на позиционирование (G0) из кадра N12.

Кадр N15 — введение коррекции на длину (G43) на инструмент T12, за которым закреплен корректор H12; фиксирование первоначального уровня кодом Z0.

Кадр N16 — включение правого вращения шпинделя с частотой 80 об/мин.

Кадр N17 — позиционирование и обработка глухого отверстия *7* по циклу G82 с параметрами *z* и *R*. Цикл отличается от использованного цикла сверления G81 тем, что в конце хода дается пауза в подаче. Размер этой паузы, необходимой для обработки дна отверстия, задается с адресом P в сотых долях секунды (в кадре пауза задана равной 3 с). Код G99 определяет, что после обработки отверстия инструмент возвратится на уровень, определенный величиной *R*. В кадре задана подача 50 мм/мин.

Кадр N18 — смещение по оси *Y* на —200 мм и обработка отверстия *8* с выходом инструмента на первоначальный уровень (код G98).

Кадр N19 — смещение по оси *X* на 520 мм и обработки отверстия *9* с выходом инструмента на уровень, определенный параметром *R* (код G99).

Кадр N20 — смещение по оси *Y* на 200 мм и обработка отверстия *10*; выход инструмента на первоначальный уровень (код G98).

Кадр N21 — останов шпинделя (M05), позиционирование инструмента в положении базисной точки.

Кадр N22 — отмена коррекции (G49), подъем инструмента в точку *0*, смена инструмента.

```
N23          Z-250. LF
N24      G43 Z0 H17 LF
N25          S400 M03 LF
N26      G99 G85 X815. Y-350.
```

```
          Z-153. R-47. F35. LF
N27 G91       Y-200. L2 LF
N28 G90 G28 X0 Y0 Z0 M05 LF
N29       G49 Z0. LF
N30           M02 LF
```

Кадр N23 — N25 — смещение шпинделя вниз, введение коррекции на инструмент T17, фиксирование первоначального уровня, включение правого вращения шпинделя с частотой 400 об/мин.

Кадр N26 — обработка отверстия *11* по циклу растачивания G85 с параметрами *z* и *R* и подачей 35 мм/мин; выход инструмента на уровень, определенный параметром *R*.

Кадр N27 — обработка отверстий *12* и *13*. Кодом *L* задается число повторений, равное в данном случае двум. Таким образом, по команде кадра N27 инструмент смещается относительно отверстия *11* на —200 мм по оси *Y* и происходит растачивание отверстия *12* (повторение заданного цикла G85), опять смещается на —200 мм по оси *Y* и обрабатывает уже отверстие *13*.

Кадр N28 — задается команда на автоматический выход инструмента в базовую точку (код G28), происходит останов шпинделя. Обычно команда G28 задается в конце всей программы, когда завершилось использование группы инструментов. Но в общем случае команда G28 может быть применена в любом месте УП.

Кадр N29 — отмена коррекции на длину инструмента. Здесь совместно с кодом отмены G49 указывается координата *z* с нулевым значением.

Кадр N30 — программный останов.

Отметим, что возможность повторения кадров (команд) кодом *L* может быть использована и при обработке отверстий *1—6*.

Как уже говорилось в гл. 7, ряд часто повторяющихся переходов или групп переходов можно представить как макрооперацию, тело которой (макрос) обычно составляется с использованием переменных. В частности, макрооперацией может быть представлена обработка отверстий, расположенных по окружности (рис. 8.11). Команда вызова такой макрооперации может иметь вид

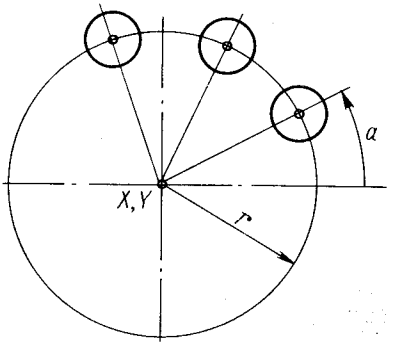


Рис. 8.11. Схема для программирования обработки отверстий, расположенных по окружности

```
G65 Pp Br Aa Kk Zz RR
```

где G65 — функция вызова макроса; p — номер макрооперации; r — радиус; a — начальный угол; k — число отверстий; z — координата, определяющая глубину сверления; R — недоход инструмента.

Для данной макрооперации могут быть использованы следующие переменные:

101 — значение координаты *x* базовой точки;

102 — значение координаты *y* базовой точки;

18 — радиус *r*;

1 — начальный угол *a*;

11 — число отверстий *k*;

33 — угол для отверстия *i*;

100 — счетчик числа отверстий;

30 — хранение значения координаты *x* базовой точки;

31 — хранение значения координаты *y* базовой точки;

32 — счетчик, показывающий, что текущей обработке подвергается отверстие номер *i*;

103 — значение координаты *z* при сверлении по циклу G81;

104 — значение параметра *R* при сверлении по циклу G81.

Пример 6. *Параметрическое программирование.* Тело макрооперации, составленное в абсолютной системе отсчета, может быть следующим:

```
1  0 9081
2  #30=#101
3  #31=#102
4  #32=1
5  WHILE[#32 LE ABS[#11]] DO 1
6  #33=#1+360*[#32-1]/#11
7  #101=#30+#18*COS[#33]
8  #102=#31+#18*SIN[#33]
9  X#101 Y#102
10 G00 X#101 Y#102 Z#104
11 G01 Z#103
12 G00 Z-[ROUND[#104]+ROUND[#103]]
```

```
13 #100=#100+1
14 #32=#32+1
15 END 1
16 #101=#30
17 #102=#31
18 M99
```

Кратко поясним программу:

1 — номер макрооперации;

2, 3 — указание на хранение координат базовой точки;

4 — задание исходного номера расчета, т. е. $i=1$;

5 — функция условного перехода, она является командой на последующие операции «повторять столько раз, сколько имеется отверстий, определенных переменной # 11»;

6, 7, 8 — расчетные зависимости для определения положения координат центра отверстия; сначала по начальному углу (# 1) находят угол текущей точки, потом ее координаты x и y;

9 — полученные значения определяются, как значения x и y текущей точки;

10, 11, 12 — описание цикла сверления отверстия; указание ROUND — округления до целого;

13 — прибавление единицы к счетчику числа отверстий;

14 — указание на счетчике номера i — номера отверстия, подвергающегося текущей обработке;

15 — конец цикла операторов и возврат к оператору п. 5 для определения условий дальнейших расчетов и обработки следующего отверстия;

16, 17 — восстановление базовой точки;

18 — конец макрооперации.

Программирование расточных операций

Программирование обработки отверстий на расточных станках и кодирование информации УП практически аналогичны рассмотренным выше, хотя для расточных станков характерно значительно большее число возможных команд, расширение и усложнение постоянных циклов и др. Наличие у расточных станков дополнительных (вторичных) управляемых осей, необходимость закреплять (для повышения жесткости) гильзу шпинделя или столы (при некоторых видах обработки) несколько усложняют программирование. У ряда станков управляемым является также поворот стола, смена приспособлений-спутников и др. (см. гл. 9).

Рассмотрим три примера программирования обработки отверстий при использовании расточных станков.

Пример 1. *Сверление трех отверстий диаметром 18 мм одним сверлом в детали типа «угольник» (рис. 8.12).* Фрагмент программы:

```
N100 G90 G43 G81 D60 X120. Y50.
     Z40. R100. F40. S120 M03 M08 LF
```

По команде кадра N100 ранее установленным сверлом сверлится отверстие *1* (рис. 8.12) с координатами $x=120$ мм, $y=50$ мм; глубина сверления определена координатой $z=40$ мм; $R=100$ мм. Отсчет размеров — абсолютный (G90). Вводится коррекция на длину инструмента (G43) (корректор 60 с адресом D). Корректор 60 должен быть закреплен за используемым в данной программе сверлом. Подача сверления 40 мм/мин (F40); частота вращения шпинделя 120 об/мин (S120); вращение шпинделя правое (M03). Включается охлаждение (M08).

```
N110      X250. Q155. LF
```

По команде кадра N110 сверлится отверстие *2*; цикл сверления остается прежним, указанным в предыдущем кадре, т. е. G81.

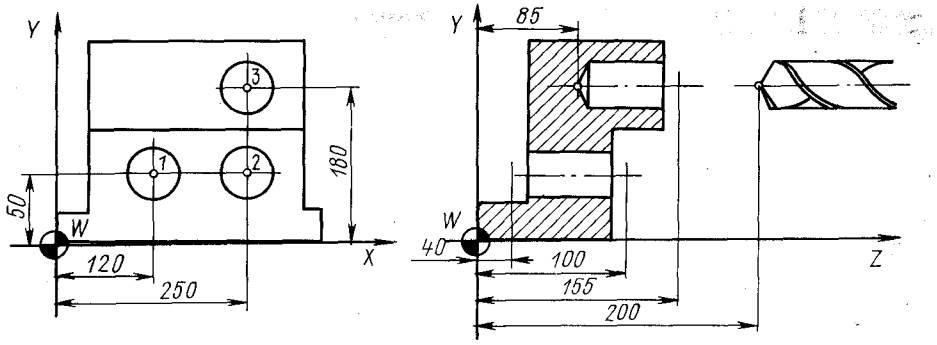


Рис. 8.12. Схема для программирования сверления отверстий в детали типа «угольник»

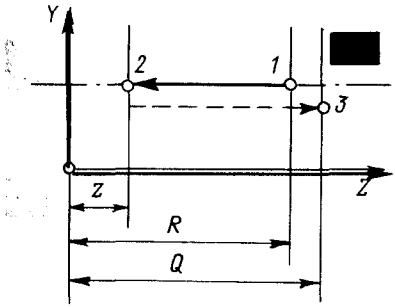


Рис. 8.13. Схема использования постоянного цикла сверления

Адресом Q задана координата точки отвода инструмента после сверления (рис. 8.13).

```
N115      Y180. Z85. R155. Q200. LF
N120 G00 G46 G80 Z300. M09 LF
```

Кадр N115 — сверлится отверстие *3* по циклу G81 с выводом инструмента на быстром ходу в точку с координатой $z = 200$ мм.

Кадр N120 — отменяется (G80) заданный ранее постоянный цикл; отменяется осевая коррекция на длину инструмента (G46); на ускоренном ходу (G00) сверло отводится в точку с координатой $z = 300$ мм (для дальнейшей работы или замены); отключается охлаждение (M09).

Пример 2. *В детали, показанной на рис. 8.14, обработать семь отверстий.* Принятый порядок обработки: центрование (сверло T103, корректор D11); сверление (сверло T106, корректор D13); растачивание (мерная расточная головка T112, корректор D15). Программу обработки отверстий представим с применением подпрограммы (номер подпрограммы условно примем L05):

```
N1   G90 G43 G81 D11 X80. Y75. Z45.
                  R55. F15. S1000 M03
                  M08 LF
N2                X120. LF
N3                Y140. LF
N4                X180. Q90. LF
N5                Y208 Z82. R90. LF
N6                X250. LF
N7                Y297. Q120. M09 M00 LF
N8                M17 LF
```

В кадре N1 заданы: G90 — отсчет в абсолютных размерах; G43 — осевая коррекция на длину инструмента; G81 — постоянный цикл сверления; D11 — корректор на центровочное сверло; *x*, *y* — координаты отверстия *1*; Z — координата, определяющая глубину центрования; R — недоход инструмента; F, S — подача и частота вращения шпинделя по часовой стрелке (M03); M08 — включение охлаждения.

В кадрах N2 — N4 записана программа на центрование отверстий *2*, *3*, *4* в соответствии с циклом G81; величины Z и R при центровании отверстий соответствуют их значениям, заданный в кадре N1. В кадре N4 задано значение Q — координата точки выхода инструмента после завершения цикла обработки отверстия *4*.

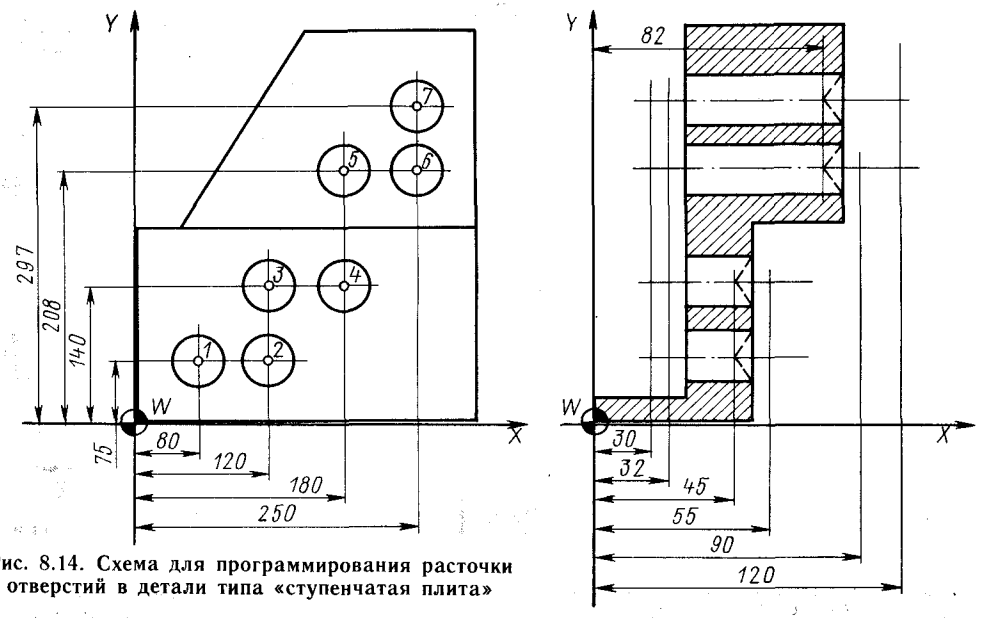


Рис. 8.14. Схема для программирования расточки отверстий в детали типа «ступенчатая плита»

В кадрах N5 — N7 программируется центрование отверстий *5*, *6*, *7* с соответствующими значениями Z и R (указаны в кадре N5). В кадре N7 указана величина Q = 120 мм. В точку, определенную этим значением, выйдет и остановится инструмент после обработки отверстия *7*, т. е. после завершения всей подпрограммы L05. Командой M09 кадра N7 выключено охлаждение; M00 — программируемый останов (он действует только в том кадре, в котором записан).

Кадр N8 с кодовым значением M17 замыкает подпрограмму.

Напомним, что в кадрах N2 — N7 указаны только те адреса и данные, которые изменяются в сравнении с адресами и данными, приведенными в кадре N1. Поэтому и действие подготовительных функций G81 (постоянный цикл сверления), G90, G43 и режимы обработки остаются неизменными для переходов, выполняемых по командам кадров N2 — N7.

На основе подпрограммы L05 можно разработать основную программу для обработки отверстий в рассматриваемой детали, например:

```
% LF
N10      T103 M06 LF
N15      L05 LF
N20      T106 M06 LF
N25      L05 D13 Z30. F40. S600 LF
N30      T112 M06 LF
N35      L05 D15 Z32. F20. S1200 LF
N40 G00 G46 G80 W300. LF
.....................................
```

В основной программе кадрами N10, N20, N30 программируется установка в шпинделе станка соответствующего инструмента. Кадром N15 дается команда на отработку составленной подпрограммы L05; происходит центрование отверстий детали. Кадр N25 задает подпрограмму L05 уже для сверла T106. Поэтому в кадре с адресами D, Z, F, S задаются значения параметров, соответствующие уже переходу сверления отверстий, а не центрования. Кадром N35 программируется растачивание отверстий по схеме, также определенной подпрограммой L05. Здесь значения параметров с адресами D, Z, F и S соответствуют переходу растачивания.

Кадр N40 завершает приведенную основную программу по обработке отверстий. Командами этого кадра отменяется осевая коррекция инструмента (G46), отменяется использованный постоянный цикл (G80), на ускоренном ходу (G00) шпиндель отводится на 300 мм. Отвод шпинделя задается адресом W в соответствии с обозначением его программируемой рабочей оси.

В данном примере адресом Z программировалось смещение (вдоль оси шпинделя) рабочего стола.

Естественно, что далее основная программа может быть продолжена.

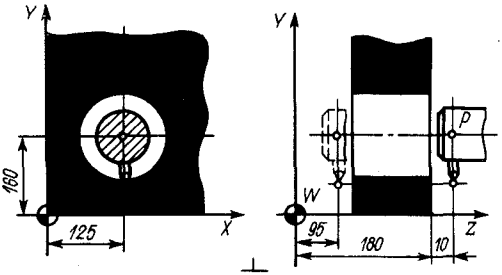


Рис. 8.15. Схема для программирования нарезания резьбы в отверстии резцом

Пример 3. *Нарезание резьбы резцом (рис. 8.15), закрепленным в оправке (код T081) с устройством регулирования вылета резца.* Отсчет в абсолютных размерах. Фрагмент программы:

```
N55      T081 S45.M03 LF
N60      M06 LF
N65  G00 G43 D01 X125. D12 Y160. LF
N70      Z190. LF
N75  G33 Z95. K2.5 M08 LF
N80      M19 LF
N85  G00 Y165. LF
N90      Z190. M00 LF
N95      Y160. M03 LF
N100 G04 X2.0 LF
N105 G33 Z95. K2.5 LF
N110     M19 LF
.........................
N... G40 G28 ... M00 LF
.........................
```

Кадры N55, N60 — ввод в работу нового инструмента, частота вращения шпинделя 45 об/мин, вращение правое (M03).

Кадр N65 — позиционирование на ускоренной подаче (G00) в точку с координатами на плоскости $x = 125$ мм, $y = 160$ мм; вводится положительная коррекция по осям (G43): по оси X — корректор D01, по оси Y — корректор D12. Напомним, что по команде G43 величина коррекции (со своим знаком), установленная на корректор, прибавляется к заданной координате.

Кадр N70 — позиционирование (совмещение базовой точки P оправки) с точкой, определенной координатой $z = 190$ мм.

Кадр N75 — рабочий ход нарезания резьбы (G33) с выходом базовой точки P по оси Z в координату $z = 95$ мм; по адресу K указан шаг резьбы, равный 2,5 мм.

Кадр N80 — по команде M19 (останов шпинделя в определенном угловом положении) шпиндель останавливается с заданной ориентацией резца относительно осей (в рассматриваемом примере — по оси Y).

Кадры N85, N90 — оправка отводится вдоль оси *Y* на 5 мм и выводится из отверстия в исходное положение с сохранением углового положения резца. Код M00 — останов по программе; он позволяет оператору настроить инструмент (выдвинуть резец из оправки на величину, равную глубине резания во втором — рабочем ходе).

Кадр N95 — оправка позиционируется к центру отверстия (по оси *Y*) и включается вращение шпинделя (M03). Кадром N100 дается пауза в работе, равная 2 с: G04 — команда на паузу; время выдержки задается с адресом X; эта выдержка необходима для того, чтобы шпиндель набрал заданную частоту вращения.

Кадр N105 — второй ход нарезания резьбы.

В конце всей части программы по нарезанию резьбы целесообразно ввести кадр, отменяющий все коррекции (G40) и дающий автоматическую команду на вывод инструмента в заранее определенную на станке точку, например в точку замены инструмента. Команда M00, указанная в кадре остановит работу по программе и тем самым позволит оператору проконтролировать полученную резьбу.

8.2. ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ, ОСНАЩЕННЫХ УЧПУ КЛАССА NC (SNC)

Построение фрезерной операции на станке с ЧПУ, так же как и других операций, прежде всего связано с разработкой РТК. Общий порядок построения РТК, рассмотренный выше, сохраняется и здесь. Вариант РТК на фрезерную операцию с плоским формообразованием показан на рис. 8.16. Определенной особенностью является построение траектории центра фрезы в двух плоскостях: *YWX* (плоская траектория — основная) и *ZWX* (высотная траектория).

В общем случае характер траектории движения инструмента при выполнении фрезерной операции в первую очередь обусловлен числом управляемых (в том числе одновременно) координат и принципов управления движением рабочих органов станка с ЧПУ. Так, двухкоординатное управление позволяет инструменту двигаться (в пределах рабочего диапазона перемещений) к любой точке плоскости, трехкоординатное управление — к любой точке пространства.

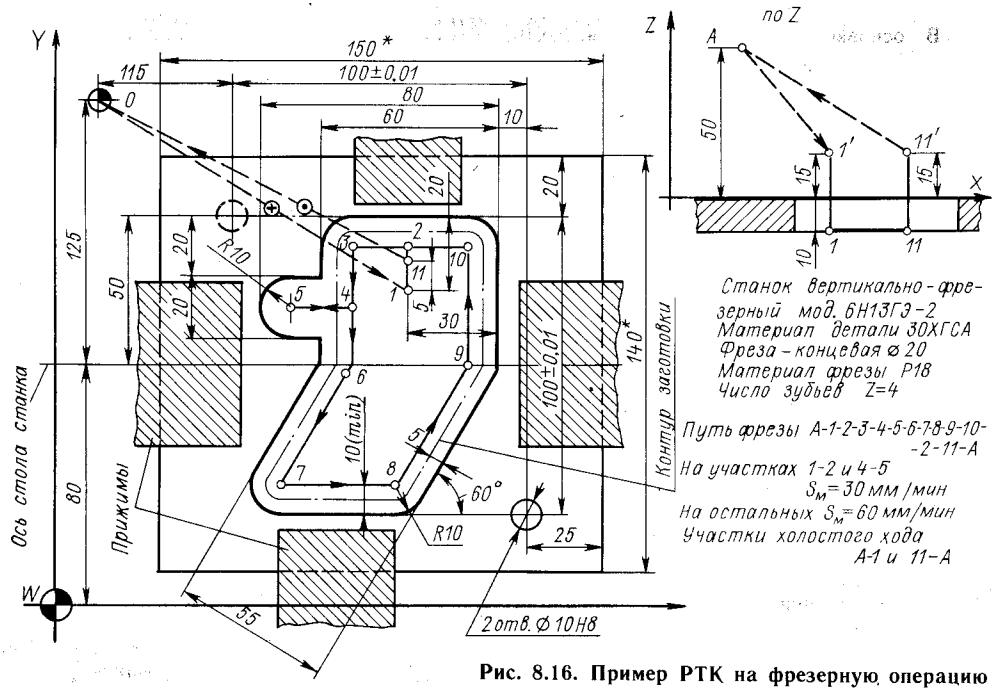


Рис. 8.16. Пример РТК на фрезерную операцию

Увеличение числа управляемых координат до пяти дает возможность, например, изменять ориентацию оси инструмента, обеспечивая при обработке заготовки направление этой оси по нормали к обрабатываемой поверхности. В зависимости от числа одновременно управляемых координат различают прямоугольное, прямолинейное и криволинейное плоское и объемное формообразование.

При программировании технологических переходов фрезерованием целесообразно применять типовые схемы обработки контуров, плоских и объемных поверхностей.

Схемы обработки контуров, плоских и объемных поверхностей

Обработка контуров. Контуры обрабатывают в основном концевыми фрезами. Траектория перемещения инструмента состоит из участков его подвода к обрабатываемой поверхности (включая врезание), обхода обрабатываемого контура и отвода от обработанной поверхности.

Участку врезания следует уделять особое внимание, так как на нем происходит нагружение инструмента силой резания. Этот участок при чистовой обработке должен быть построен таким образом, чтобы сила резания на нем нарастала и плавно приближалась по величине и направлению к силе, действующей на рабочем участке обрабатываемого профиля, что обеспечивается вводом инструмента в зону резания по касательной к обрабатываемому контуру. При черновой обработке врезание обычно производят по нормали к контуру. Аналогично строят *участки отвода* фрезы от зоны резания.

Траектория перемещения инструмента при *обходе контура* может иметь участки с резким изменением направления движения, что вызывает искажение контура вследствие упругих деформаций инструмента в процессе резания и динамических погрешностей привода подач станка. Искажение контура можно исключить или уменьшить снижением скорости подачи, уменьшением припуска на обработку, изменением размеров инструмента или предыскажением его траектории.

Обработка плоскостей. Обработка открытых плоскостей ведется в прямом и обратном направлениях по схеме *«зигзаг»* при черновом фрезеровании и строками в прямом направлении по схеме *«петля»* при чистовом фрезеровании. Для обработки полуоткрытой плоскости применяется схема *«лента»*, а для обработки закрытой плоскости — схема *«спираль»*. Расстояния между проходами принимают равными $(0{,}6 \div 0{,}8)\ D_{фр}$, где $D_{фр}$ — диаметр фрезы.

Для обработки закрытой плоскости, ограниченной окружностью, лучшей траекторией, обеспечивающей равномерное снятие припуска, является *архимедова спираль*. В полярных координатах ρ и φ эта спираль описывается уравнением $\rho = k\varphi$, где k — коэффициент, определяющий шаг спирали. Такая траектория может быть получена на станке с поворотным столом, если совместить центр окружности обрабатываемой плоскости с осью вращения стола и придать равномерные движения: вращательное — столу, поступательное — инструменту. Однако в УЧПУ класса NC, это выполнить сложно, как и аппроксимацию спирали. Последняя связана с трудоемкими расчетами, приводит к большому числу кадров УП и, самое главное, сводит на нет важное преимущество спирали — ее «гладкость», характеризуемую непрерывностью не только функции, но и ее первой производной.

На станках с УЧПУ, обеспечивающим линейно-круговую интерполяцию, следует вести обработку закрытой плоскости по спирали, образованной сопряженными дугами окружностей, которая, так же как и архимедова спираль, удовлетворяет условию непрерывности первой производной. Спирали из сопряженных дуг окружности строят с двумя и четырьмя полюсами.

Двухполюсная спираль (рис. 8.17) образуется из сопряженных дуг полуокружностей, центры которых поочередно находятся в полюсах A и B. Полюс A

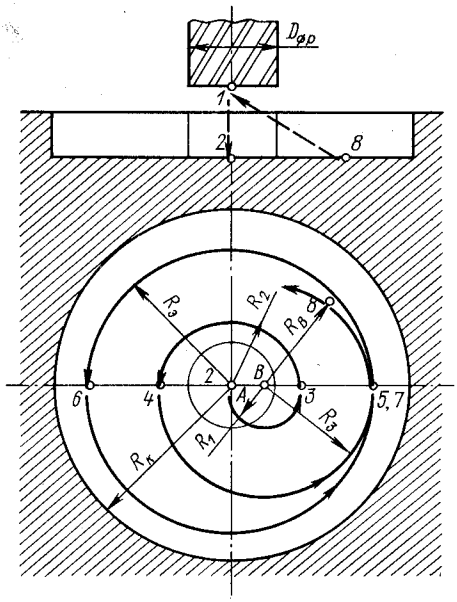


Рис. 8.17. Схема фрезерования закрытой плоскости, ограниченной окружностью, по траектории двухполюсной спирали

располагается в центре окружности радиуса $R_к$, ограничивающей закрытую плоскость. Расстояние между полюсами B и A равно половине шага спирали. Спираль начинается в центре окружности радиуса $R_к$, соосно с которым сверлят отверстие для ввода фрезы. Шаг спирали h выбирают в диапазоне $(0{,}6 \div 0{,}8)\ D_{фр}$ из условия сопряжения спирали с окружностью радиуса $R_э$, эквидистантной к окружности радиуса $R_к$, т. е. $h = R_э/a$, где a — находят из условия

$$R_э/(0{,}6D_{фр}) \geqslant a \geqslant R_э/(0{,}8D_{фр}),$$

причем меньшее его значение в этих пределах округляют до большего целого числа.

В иллюстрируемом случае спираль образована дугами полуокружностей радиусов R_1 и R_3 с центрами в полюсе B и дугой полуокружности радиуса R_2 с центром в полюсе A. Полная траектория фрезы при обработке закрытой плоскости, ограниченной окружностью радиуса $R_к$, состоит, таким образом, из следующих частей: участка ввода фрезы в зону резания (*1—2*), двухполюсной спирали (*2—5*), окружности радиуса $R_э$ (*5—7*), участка отвода фрезы от ограничивающей окружности радиуса $R_к$ по сопряженной с окружностью радиуса $R_э$ дуге окружности радиуса $R_в$ (*7—8*) и участка возврата фрезы в исходную точку (*8—1*).

Достаточно просто может быть организована траектория и по *четырехполюсной спирали* [15].

Обработка пазов. Схемы обработки пазов концевыми, торцовыми и дисковыми фрезами также типовые. При обработке шпоночного паза, представляющего собой частный случай закрытой плоскости, предварительно сверлят отверстие для ввода концевой фрезы в зону резания. Когда это невозможно или нецелесообразно, врезание осуществляют под углом $\alpha = 5 \div 10°$ к обрабатываемой поверхности. Фрезерованию полуоткрытой плоскости паза торцовой фрезой обычно предшествует обработка боковых его сторон концевой фрезой, что превращает обрабатываемую плоскость в открытую. В этом случае применяют схемы обработки открытых плоскостей «зигзаг», «петля» и «елочка».

Объемная обработка. Схемы объемной обработки выбирают с учетом трудоемкости их программирования, которое преимущественно ведется с помощью ЭВМ. Как уже указывалось, наиболее рационально определять траекторию инструмента при объемной обработке методом сечения обрабатываемых поверхностей направляющими поверхностями одного семейства. К таким семействам относятся пучки параллельных плоскостей, пучки плоскостей, проходящих через заданную ось, пучки соосных цилиндров и т. п. [17].

Многокоординатная (по четырем, пяти и более координатам) обработка относится к числу специализированных технологических процессов, и ее применение оправдано лишь для ограниченной номенклатуры деталей. При многокоординатной обработке инструмент не только совершает поступательные движения, но и меняет ориентацию своей оси [15, 17].

Плоское контурное фрезерование

В практике наибольшее применение находит плоское контурное фрезерование, обеспечивающее обработку деталей, контур которых состоит из отрезков пря-

мых и дуг окружностей. При составлении РТК и определении координат опорных точек траектории движения центра фрезы при обработке деталей фрезерованием обычно исходят из эквидистантного характера траектории. В соответствии с этим на РТК указывают обрабатываемый контур и эквидистантную ему траекторию движения инструмента с опорными точками. Естественно, определить координаты опорных точек эквидистанты более просто, если известны координаты всех опорных точек контура детали. Эти последние удобнее всего задавать в системе координат детали в виде таблицы (табл. 8.3).

Таблица 8.3. Координаты опорных точек контура обрабатываемой детали

Точка	Координата, мм		Точка	Координата, мм	
	$x_д$	$y_д$		$x_д$	$y_д$
W	0	0	F	x_F	y_F
B	0	40	G	x_G	y_G
C	x_C	70	H	x_H	40
D	x_D	70	I	170	40
E	70	40	J	170	0

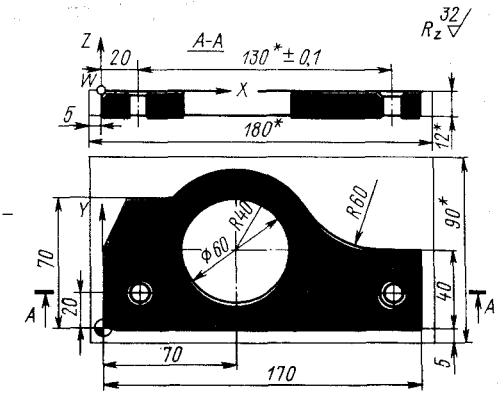


Рис. 8.18. Деталь типа «крышка» в системе координат детали

Рассмотрим деталь (рис. 8.18), в которой предполагается фрезерование контура фрезой с радиусом $R_и=10$ мм и расфрезеровка отверстия диаметром 60 мм (траектория движения фрезы — от центра к окружности). Для захода фрезы в центре выполнено отверстие диаметром 22 мм.

Координаты опорных точек эквидистанты (рис. 8.19, *а*) могут быть рассчитаны в соответствии с определенными методиками [15], кратко изложенными в гл. 7. Числовые значения координат представлены в табл. 8.4.

Траектория фрезы при обработке отверстия диаметром 60 мм построена по принципу четырехполюсной спирали для окружности радиусом $R_э=20$ мм и диаметра фрезы $D_{фр}=$

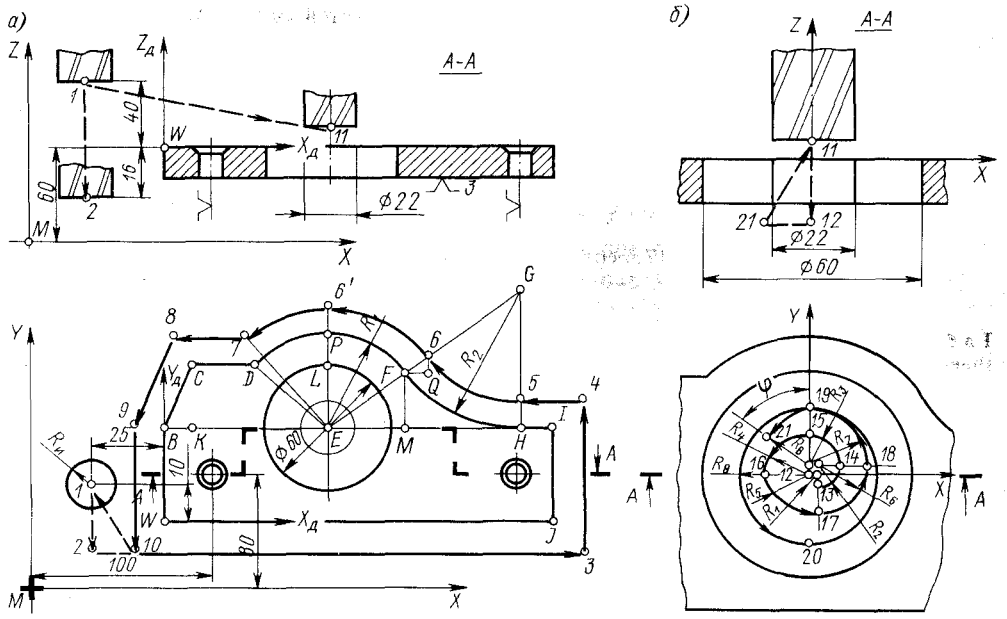


Рис. 8.19. Схема построения траектории движения фрезы при обработке детали типа «крышка»: *а* **— при обработке контура;** *б* **— при обработке отверстия**

Таблица 8.4. Координаты опорных точек эквидистанты (траектории движения центра инструмента) при обработке детали типа «крышка»

Точка (см. рис. 8.19, *а*)	Координата, мм		
	$x_д$	$y_д$	$z_д$
1	−25	10	40
2	−25	−10	−16
3	180	−10	−16
4	180	50	−16
5	150	70	−16
6	110	80	−16
7	40	80	−16
8	8,77	80	−16
9	−10	42,36	−16
10	−10	−10	−16
11	70	40	5
12	70	40	−16

$=2R_и=20$ мм (рис. 8.19, *б*). Шаг спирали определен из условия $h=R_э/a=20/2=10$ мм, где число витков спирали $a=2$ выбрано как большее целое нижнего предела множества чисел, удовлетворяющих условию

$$\frac{R_э}{0{,}6D_{фр}}=\frac{20}{0{,}6\cdot 20}=1{,}67\geqslant a\geqslant\frac{R_э}{0{,}8D_{фр}}=$$
$$=\frac{20}{0{,}8\cdot 20}=1{,}25.$$

Сторона четырехполюсника $b=h/4=$ $=10/4=2{,}5$ мм.

Координаты начальных точек ($x_н$, $y_н$) и центров ($x_ц$, $y_ц$) дуг окружностей участков спирали, вычисленные в местной системе координат X, Y, а также радиусы R этих дуг окружностей приведены в табл. 8.5.

Фрезу от контура обратного отверстия отводят по дуге окружности радиуса $R_в=17{,}5$ мм с центром в полюсе ($x_ц=0$; $y_ц=2{,}5$ мм) до точки *21*, определенной углом $\varphi=45°$. Координаты точки *21*:

$x_{21}=x_ц-R_в\sin\varphi=0-17{,}5\sin 45°=$
$=-12{,}37$ мм;
$y_{21}=y_ц+R_в\cos\varphi=2{,}5+17{,}5\cos 45°=$
$=14{,}87$ мм.

Таблица 8.5. Координаты опорных точек траектории «четырехполюсная спираль»

Участок траектории (см. рис. 8.19, *б*)	Координата, мм				R, мм
	$x_н$	$y_н$	$x_ц$	$y_ц$	
12—13	0	0	2,5	0	2,5
13—14	2,5	−2,5	2,5	0	5,0
14—15	7,5	2,5	0	2,5	7,5
15—16	0	10,0	0	0	10,5
16—17	−10,0	0	2,5	0	12,5
17—18	2,5	−12,5	2,5	2,5	15,0
18—19	17,5	2,5	0	2,5	17,5
19—20—19	0	20,0	0	0	20,0

Коррекция инструмента при фрезеровании

Форма и характер коррекции зависят от вида и характера траектории, а главное, от возможностей УЧПУ, определяемых ее классом.

Виды и схемы коррекций чрезвычайно разнообразны, вследствие чего и обозначения коррекций тоже различны. Так, для разных УЧПУ одним и тем же значениям подготовительных функций могут соответствовать различные команды. Например, отмена коррекции может обозначаться G40 или G49, коррекция при линейной и круговой интерполяции может выражаться одним и тем же кодом (в частности, G52) и т. п. Ниже рассмотрены некоторые схемы коррекций, используемые в УЧПУ определенных классов и моделей, характеризующиеся достаточно большим разнообразием и возможностями. Отметим, что подробное изучение некоторых схем и видов коррекций возможно лишь по реальным инструкциям программирования для конкретных УЧПУ.

Линейная коррекция при прямоугольном формообразовании. Эта коррекция осуществляется только параллельно осям, т. е. при прямоугольном формообразовании траекторий инструмента. При линейной коррекции происходит алгебраическое сложение заданного в кадре УП перемещения с числом, набранным на корректоре.

Знак коррекции может быть указан (набран) на корректоре пульта УЧПУ или задан командой в кадре УП. В последнем случае коррекция (сложение или вычитание) может осуществляться независимо от знака числа, указанного на корректоре.

Например (рис. 8.20), если в процессе работы необходимо переместить инструмент по оси Z дополнительно на величину Δl, то эта величина со знаком плюс должна быть набрана на корректоре, закрепленном за данным инструментом. Программа, обеспечивающая перемещение инструмента между точками *0—1′—2′—3—0*, может иметь вид:

```
N1 G91      LF
N2      G01 Z+100. L17 LF
```

В кадре N2 по адресу L указан номер корректора (17), на котором набрана с плюсом величина Δl. По команде кадра инструмент переместится на величину $(100+\Delta l)$ мм по оси Z, т. е. в точку $1'$.

```
N3          X+50. LF
N4      G40 Z-100 L17 LF
```

По команде G40 выполняется отмена коррекции; при этом указываются корректируемый размер и номер корректора. По этой же команде происходит считывание величины с корректора с обратным знаком, следовательно кадром N4 программируется перемещение по оси Z, равное $[-100+(-\Delta l)]$ мм. По этой команде инструмент придет в точку 3.

```
N5          X-50. M00 LF
```

Рассмотренная траектория перемещения может быть запрограммирована для УЧПУ соответствующего класса с использованием подготовительных функций G43 (смещение инструмента в положительном направлении — прибавление данных корректора) и G44 (смещение инструмента в отрицательном направлении — вычитание данных корректора).

Если коррекция задается указанными функциями, то программа, обеспечивающая перемещение инструмента по схеме на рис. 8.20, будет следующей:

```
% LF
N1 G91      T0817 LF
```

В кадре N1 указаны код инструмента (08) и номер корректора (17), закрепленного за данным инструментом. На этом корректоре и должна быть набрана величина Δl с любым знаком или без него.

```
N2      G01 G43 Z100. LF
```

Указание в кадре N2 подготовительной функции G43 обеспечивает смещение инструмента в положительном направлении на заданную величину Δl.

```
N3          X-50. LF
N4      G44 Z-100. LF
```

По команде G44 кадра N4 инструмент смещается в отрицательном направлении на величину Δl, установленную на корректоре 17.

```
N5          X-50. M00 LF
```

Возможен вариант написания кадра N4 с использованием функции G49 (отмена коррекции). По этой команде с корректора считывается величина со знаком, противоположным ранее указанному:

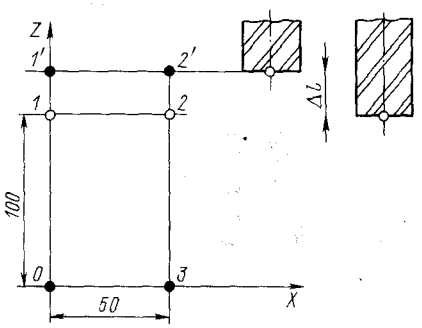


Рис. 8.20. Схема линейной (осевой) коррекции

```
N4'         G49 Z-100. LF
```

Поскольку ранее была команда G43, то в кадре N4′ инструмент смещается в отрицательном направлении на заданную в корректоре величину Δl.

При прямоугольном формообразовании иногда необходимо указывать коррекцию одновременно по двум осям. Как правило, указывают коррекцию на изменение радиуса инструмента, определяемое величиной ΔR (разностью радиусов запрограммированного инструмента и действительного).

Например, для получения траектории фрезы $0—1—2—3—4—5—6—1—0$, определенной координатами опорных точек, УП с коррекцией на изменение радиуса инструмента может быть записана (рис. 8.21) с использованием команд подготовительных функций G45 — G52. При этом номер корректора (03) указан за кодом инструмента (03), определенного по адресу T, а на корректоре установлено значение ΔR:

```
N1 G00 G47 X{x1} Y{y1} T0303 LF
N2 G01 G48 X{x2} Y{y2} LF
N3 G45 X{x3} Y{y3} LF
N4 G46 X{x4} Y{y4} LF
N5 G47 X{x5} Y{y5} LF
N6      X{x6} Y{y6} LF
N7      X{x1} Y{y1} LF
N8 G00 G40 X{x0} Y{y0} M00 LF
```

В приведенной программе принята достаточно сложная схема, когда команды на коррекцию задают исходя из положения инструмента относительно системы координат в соответствии с кодовыми функциями, приведенными в табл. 8.6. Для УЧПУ, которое работает с данной

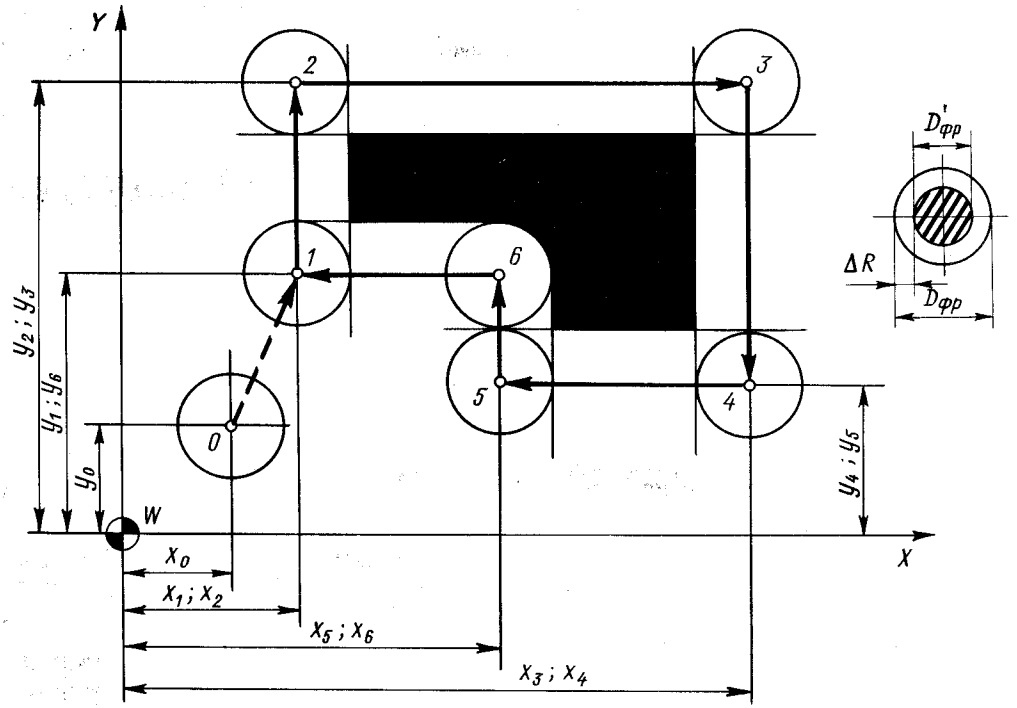


Рис. 8.21. Схема коррекции при прямоугольном формообразовании

схемой коррекции, каждый из кодов определяет одновременную коррекцию по осям X и Y на величину, указанную на корректоре. При этом имеются команды, по которым происходит только сложение (G45) или только вычитание (G47). Команда G48 определяет знак минус по оси X и знак плюс по оси Y. Команды G49 — G52 определяют коррекцию лишь по одной из осей.

Знак коррекции при различном положении инструмента относительно обрабатываемой детали определяют по следующему правилу: если радиус-вектор, проведенный из центра фрезы в точку ее касания с обрабатываемой плоскостью (или ее продолжением), совпадает с положительным направлением соответствующей оси, то коррекция считается отрицательной (знак минус), если противоположен ему, то коррекция будет положительной (знак плюс). Это станет понятным, если вспомнить, что перемещение инструмента при обработке — явление условное, принятое для простоты программирования. Фактически при обработке детали перемещается стол с деталью. Поэтому, если радиус инструмента уменьшился на величину ΔR (рис. 8.22, *а*), следует довести (откорректировать) перемещение детали на эту величину. Так, при коррекции положения инструмента в верхнем левом углу (G48) при уменьшении радиуса фрезы на ΔR стол с деталью следует довести по оси Y на $+\Delta R$, по оси X на $-\Delta R$. Это и определено знаками команды G48. При обработке внутреннего контура эта же функция определит коррекцию инструмента в правом нижнем углу (рис. 8.22, *б*).

Таблица 8.6. Кодирование коррекции по осям X, Y

Кодовая функция	Знак коррекции радиуса инструмента по осям		Кодовая функция	Знак коррекции радиуса инструмента по осям	
	X	Y		X	Y
G45	+	+	G50	0	—
G46	+	—	G51	+	0
G47	—	—	G52	—	0
G48	—	+	G40	Отмена коррекции	
G49	0	+			

Коррекция смешанных прямоуголь-

ных контуров. Команды на коррекцию при фрезеровании могут отличаться от рассмотренных выше, в частности задаваться и кодироваться с адресом L. После буквы L задаются кодовые цифры 1—7, определяющие оси коррекции (см. табл. 8.7). Затем указывается номер корректора, на котором должно быть установлено значение коррекции с определенным знаком. Этот знак действителен, если в кадре указаны функции G01, G02 и G03 или только адрес оси. Если же указаны функции G41 и G51 (при линейной интерполяции) или функции G42, G52, G43, G53 (при круговой интерполяции), то знак коррекции определяется этими функциями. При этом линейное движение, как правило, осуществляется параллельно осям, а начальные и конечные точки дуг размещены или на горизонтальной, или на вертикальной оси.

При задании подготовительных функций G41, G42, G43 коррекция будет положительной независимо от набранного на корректоре значения. При задании подготовительных функций G51, G52, G53 коррекция будет отрицательной независимо от набранного на корректоре значения. Подготовительная функция в этих случаях действует так же, как при задании функции G01, G02, G03, т. е. осуществляется линейная (G41, G51) или круговая (по часовой стрелке — G42, G52, против часовой стрелки — G43, G53) интерполяция.

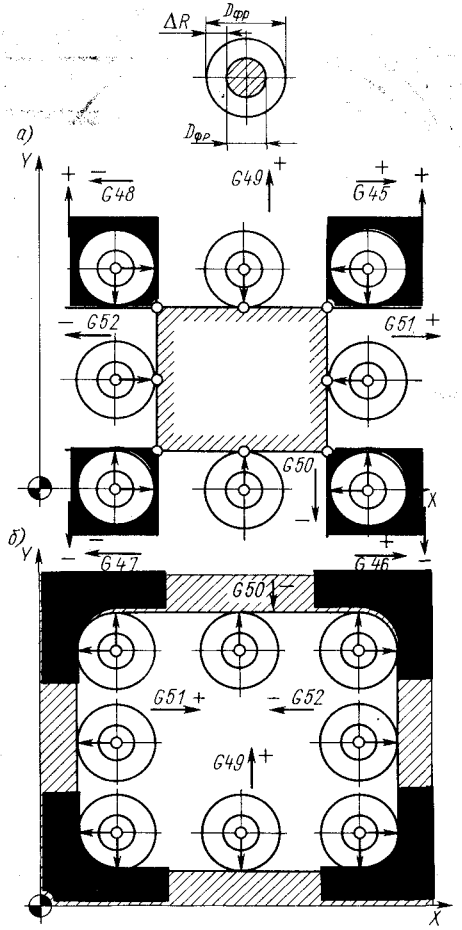


Рис. 8.22. Схема, поясняющая направления коррекции при прямоугольном формообразовании

Таблица 8.7. Кодирование вида коррекции при линейно-круговой интерполяции прямоугольных контуров

Код	Вид коррекции	
	Линейная интерполяция (G01, G41, G51)	Круговая интерполяция *
L1	Коррекция перемещения по оси *X*	Коррекция радиуса обрабатываемой дуги, если начальная точка дуги лежит на горизонтальной оси
L2	То же по оси *Y*	То же, но если начальная точка дуги лежит на вертикальной оси
L3	Групповая коррекция перемещений по осям *X* и *Y*	Не используется
L4	Коррекция перемещения по оси *Z*	» »
L5	Групповая коррекция перемещения по осям *X* и *Z*	» »
L6	То же по осям *Z* и *Y*	» »
L7	То же по осям *X*, *Y*, *Z*	» »

* Только для дуг окружностей, начальные и конечные точки которых лежат на оси координат.

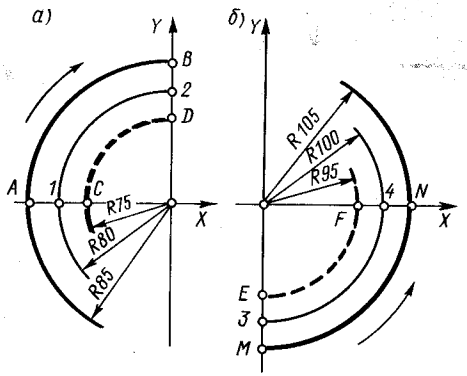


Рис. 8.23. Схема коррекции при круговой интерполяции

Рассмотрим примеры коррекции при линейной интерполяции (в примерах величины заданы в сотых долях миллиметра).

Пример 1. *Коррекция по одной оси.* Пусть на корректоре набрано число +1000 и имеется кадр УП

```
N030 G01 Y-100000 L2 15 LF
```

При отработке этого кадра реальное перемещение по оси *Y* будет алгебраической суммой запрограммированного перемещения и значения коррекции: $y = -100000 + (+1000) = -099000$.

Если на корректоре 15 набрано число −1000, то при отработке того же кадра $y = -100000 + (-1000) = -101000$.

Пример 2. *Коррекция по двум осям.* На корректоре 17 набрано число +50 и отрабатывается следующий кадр УП:

```
N060 G01 X-000250 Y-000250 L3 17 LF
```

При отработке такого кадра имеет место одновременное перемещение по осям *X* и *Y*:

$x = -000250 + (+50) = -000200$;
$y = -000250 + (+50) = -000200$.

Подобная групповая коррекция может быть использована в случае движения по диагонали квадрата или куба при условии одинаковости знаков перемещений.

Пример 3. *Отрицательная коррекция по двум осям (с указанием функции G51).* На корректоре 18 набрано число +50 и отрабатывается кадр УП

```
N070 G51 X-000250 Y-000250 L3 18 LF
```

Ввиду применения функции G51 будут отработаны значения:

$x = -000250 + (-50) = -000300$;
$y = -000250 + (-50) = -000300$.

Пример 4. *Положительная коррекция по двум осям (с указанием функции G41).* На корректоре 13 набрано число −50 и отрабатывается кадр УП

```
N090 G41 X-000250 Y-000250 L3 13 LF
```

Ввиду применения функции G41 будут отработаны значения:

$x = -000250 + (+50) = -000200$;
$y = -000250 + (+50) = -000200$.

Пример 5. *Коррекция при круговой интерполяции по часовой стрелке.* На корректоре 12 пульта УЧПУ задано число −500. Рассмотрим несколько возможных вариантов коррекции.

Вариант а. В УП имеется кадр с указанием (в приращениях) перемещения по дуге (интерполяция по часовой стрелке) без указания коррекции:

```
N025 G02 X+008000 Y+008000 I+008000
J0 LF
```

При отработке такого кадра (рис. 8.23, *а*) инструмент перемещается по дуге *1—2* радиуса 8000 (80 мм).

Вариант б. В программе имеется кадр с указанием корректора 12:

```
N030 G52 X+008000 Y+008000 I+008000
J0 L1 12 LF
```

При отработке кадра инструмент переместится по дуге *CD* с радиусом 75 мм.

Вариант в. Перемещение инструмента по дуге *AB* можно задать следующим кадром УП:

```
N035 G42 X+008000 Y+008000 I+008000
J0 L1 12 LF
```

Указан код L1 для оси *X*.

Пример 6. *Коррекция при круговой интерполяции против часовой стрелки.* На корректоре 15 установлено −500.

Вариант а. Кадр отработки дуги *3—4* (рис. 8.23, *б*) радиуса 100 мм против часовой стрелки (в приращениях) без применения коррекции имеет вид:

```
N050 G03 X+010000 Y+010000 I0
J+010000 LF
```

Вариант б. В кадре УП для обработки внешней дуги *MN* с радиусом 105 мм используем функцию G43, определяющую положительную коррекцию:

```
N055 G43 X+010000 Y+010000 I0
J+010000 L2 15 LF
```

Вариант в. В кадре УП для обработки внутренней дуги *EF* с радиусом 95 мм исполь-

зуем функцию G53, определяющую отрицательную коррекцию:

```
N060 G53 X+010000 Y+010000 I0
        J+010000 L2 15 LF
```

Указан код L2 для оси *Y*.

Рассмотренные правила коррекции достаточно просто реализуются при составлении программ.

Пример 7. *Обработка криволинейного контура.* Необходимо обработать контур (рис. 8.24), обеспечив траекторию движения центра фрезы диаметром 10 мм по точкам *1—2—3—4—5—6—7*. На корректоре 13 наберем величину ΔR — разность между заданным радиусом и действительным, который меньше заданного, т. е. величина ΔR набирается на корректоре с плюсом. Программа может иметь вид:

```
% LF
N001 G17 LF
N002 G91 G01 Z{zi} F{fi} M03 LF
N003 G41 X+007500 F{fi} L113 LF
N004      Y+009000 L113 LF
N005 G52 X+010500 Y+010500  I+010500
         J0 L113 LF
N006     X+010500 Y-010500 I0
         J+010500 L213 LF
N007 G43 X+004500 Y-004500 I+004500
         J0 L113 LF
N008 G01 X+008000 LF
.....................................
```

Кадрами N001, N002 заданы условия обработки: плоскость *XY*, отсчет размеров в приращениях, опускание фрезы с определенной подачей, включение шпинделя. Кадр N003 — перемещение в точку *2*, кадр N004 — в точку *3* и т. д. В соответствии с изложенными выше правилами в кадрах N003 — N007 задаются перемещения с вводом коррекций.

Пример 8. *Обработка окна с коррекцией на радиус.* Необходимо обработать окно во фланце концевой фрезой с диаметром 20 мм. На корректоре 14 установим величину $R = +1000$, т. е. 10 мм. Корректор 04 предназначен для коррекции перемещений инструмента по оси *Z*, а корректоры 01 и 02 — по осям *X* и *Y* соответственно. Нуль программы совмещен с точкой *W* (рис. 8.25). Программа может иметь вид:

```
% LF
N001 G17 S36 M03 LF
N002 G01 Z-005000 F4724 L404 LF
N003 L101 LF
N004 L202 LF
```

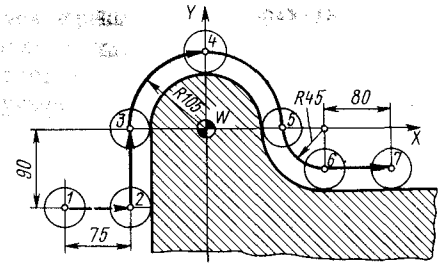


Рис. 8.24. Схема обработки детали по контуру, составленному из дуг окружностей

Кадрами N001, N002 указывается плоскость обработки, частота вращения шпинделя 900 об/мин (код S36), на ускоренной подаче инструмент перемещается вниз по оси *Z* на 50 мм; это перемещение корректируется (L404). Кадрами N003 и N004 корректируется исходное положение инструмента.

```
N005 G41 Y-005000 F4628 L214 LF
N006 G51 X+008000 L114 LF
N007     X+005000 L214 LF
N008     X+005000 L214 LF
```

Кадрами N005 — N008 программируется перемещение инструмента на рабочей подаче (код F4628) от точки *1* до точки *3*. Перемещение от точки *2* до точки *3* задается двумя кадрами в связи с необходимостью дважды ввести коррекцию. Величина коррекции принимается с минусом, так как указана функция G51.

```
N009 G41 X-008000 L114 LF
N010     X-008000 L114 LF
N011     Y-005000 L214 LF
N012     Y-005000 L214 LF
```

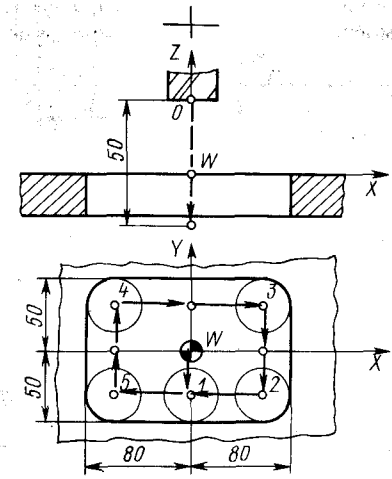


Рис. 8.25. Схема обработки в детали типа «фланец»

```
N013 G51 X+008000 L114 LF
N014      Y+005000 L214 LF
N015 G40 L101 LF
N016 G40 L202 LF
N017 G40 Z+005000 F4724 L404 LF
N018      M02 LF
```

Кадрами N009 — N014 задается перемещение инструмента от точки *3* до точки *0* (*W*). Кадрами N015 — N017 отменяется коррекция по осям *X*, *Y*, *Z*, и инструмент поднимается по оси *Z* на 50 мм.

Коррекция в УЧПУ с блоком эквидистанты. В УЧПУ моделей класса NC, имеющих блок «эквидистанта», задание коррекции на изменение радиуса фрезы в УП уже возможно для контуров, образованных произвольно расположенными на плоскости сопряженными дугами окружностей и отрезками прямых. Принцип задания коррекции в основном сохраняется. Кодовая цифра после адреса L устанавливается в зависимости от режима. Коррекция задается кодом L0 (и номер корректора), если при увеличении радиуса фрезы значение заданных в программе перемещений увеличивается на величину коррекции, код L8 (и номер корректора) используют, если при увеличении радиуса фрезы значение заданных в программе перемещений уменьшается на величину коррекции [14].

Коррекция криволинейных контуров. В ряде УЧПУ при обработке криволинейных контуров коррекция вводится функциями G41 или G42 (рис. 8.26, *а*, *б*) в зависимости от расположения инструмента (слева или справа от контура, если смотреть в направлении его движения).

Например, траектория *0—1—2—3—4—5—6—0* (рис. 8.26, *а*), рассчитанная для обработки контура фрезой радиусом R_1, корректируется с помощью функции G41 и корректора 01, в который с пульта управления заносится изменение радиуса ΔR, равное разности радиусов R_1 и R_2 используемой фрезы:

```
N1 G90 G00 G17 X{x1} Y{y1}...
N2     G01 G41 X{x2} T0001...
N3         X{x3}...
N4     G02 X{x4} Y{y4} I{0} J{y4-y3}
N5     G01 Y{y5}
N6     G40 Y{y6}
N7     G00 X{x0} Y{y0} M00 LF
```

Та же траектория при расположении инструмента справа от контура (рис. 8.26, *б*) корректируется функцией G42, а УП отличается от предыдущей кадром

```
N2 G01 G42 X{x2}...T0001
```

Изложенный выше материал позволяет сравнительно просто составить программу для обработки детали, показанной на рис. 8.16, например:

```
% LF
N001 G17 F0624 LF
N002 G01 X+000000 F0642 L117 LF
N003     F0000 LF
N004 G01 Y+000000 F0642 L218 LF
N005     F0000 LF
N006     S48 M13 F0624 LF
N007 G01 X+011000 Y-006000 Z-003500
         F4712 LF
```

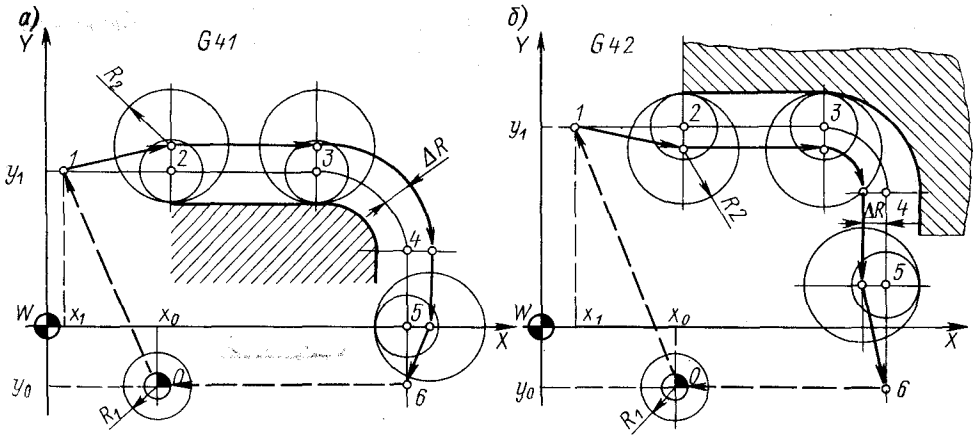


Рис. 8.26. Схемы коррекции радиуса инструмента при контурном управлении

```
N008      Z-002500 F0712 LF
N009      Y+001000 F0530 LF
N010      X-002000 F0560 LF
N011      Y-002000 LF
N012      X-002000 F0530 LF
N013      X+002000 LF
N014      Y-002000 F0560 LF
N015      X-002309 Y-004000 LF
N016      X+006350 LF
N017      X-000041 Y+004000 LF
N018      Y+004000 LF
N019      X-002000 LF
N020      Y-000500 LF
N021      X-011000 Y+005500 Z+006000
          F0712 LF
N022 G40 X+000000 F0642 L117 LF
N023 G40 Y+000000 F0642 L218 LF
```

Схемы коррекций на радиус инструмента. Ряд современных УЧПУ позволяет программировать обработку непосредственно по контуру детали, без определения опорных точек эквидистантной траектории. В корректор для данной фрезы заносят действительное значение радиуса фрезы, принятое для обработки. Характер кодирования информации зависит от типа УЧПУ, но в большинстве случаев коррекция задается подготовительными функциями G41 — G46 и в два этапа. Первый этап предусматривает выход инструмента на эквидистанту, а второй — корректировку процесса обработки.

Функции G41 — G46 задают при коррекции следующие команды.

Функция G41 — выход на эквидистанту «плюс». По этой команде происходит линейная интерполяция отрезка, заданного конечной точкой, причем длина отрезка увеличивается на радиус фрезы, который задан на корректоре пульта УЧПУ.

Так (рис. 8.27, *а*), если в программе задано перемещение из Tk0 в Tk1 (x_1, y_1) в приращениях, то действительное перемещение по команде

```
N{i} G41 X{Δx} Y{Δy} L{n } LF
```

будет осуществлено в Tk1′ с учетом конкретного значения радиуса фрезы $R_и$, набранного на корректор определенного номера. При этом номер корректора указывается по адресу L.

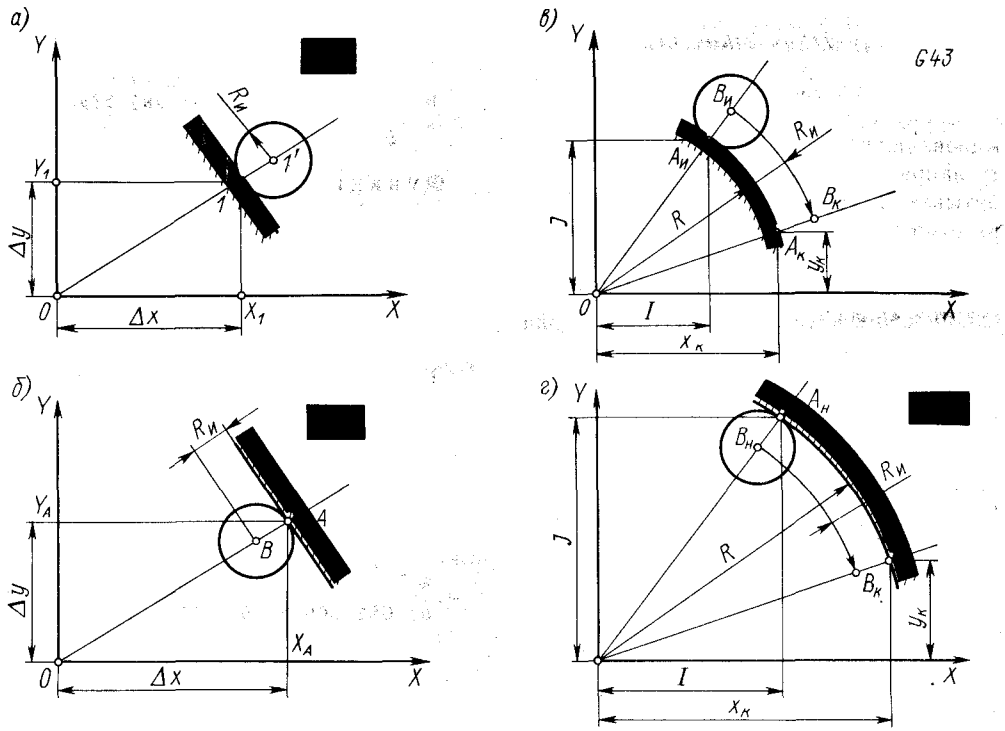


Рис. 8.27. Схемы коррекции в УЧПУ с командами выхода на эквидистанту

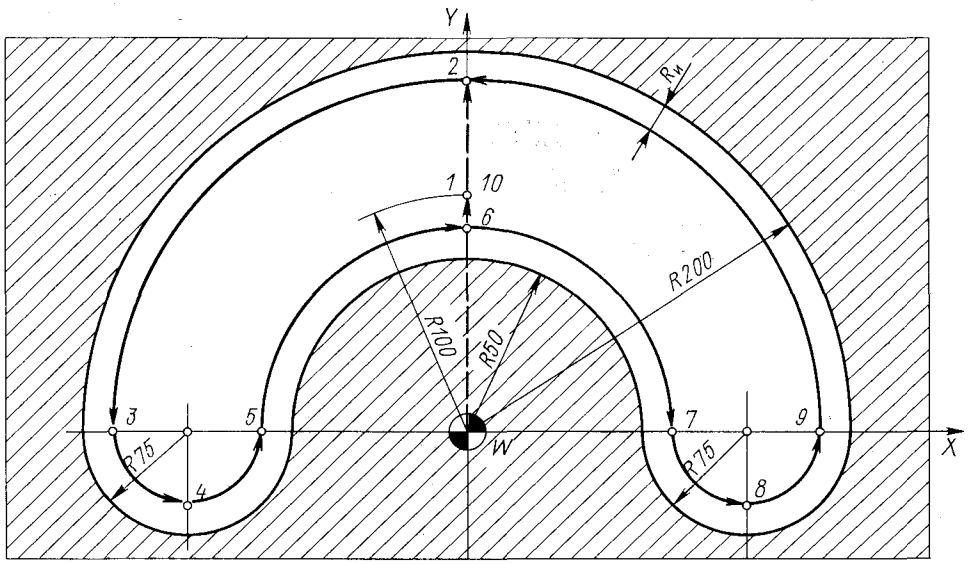


Рис. 8.28. Пример обработки внутренней полости

Функция G42 — выход на эквидистанту «минус».

По этой команде отрабатывается отрезок OB, равный запрограммированному OA (Δx, Δy) минус радиус фрезы $R_и$ (рис. 8.27, *б*):

```
N{i} G42 X{Δx} Y{Δy} L{n } LF
```

Следует указать, что при программировании команд выхода на эквидистанту направление в точке подхода к обрабатываемому контуру должно быть принято по нормали.

Функция G43 — круговая интерполяция по часовой стрелке с эквидистантой «плюс».

По этой команде (рис. 8.27, *в*) происходит круговая интерполяция по часовой стрелке дуги окружности от точки $B_и$ до точки $B_к$ радиусом, равным радиусу запрограммированной дуги R плюс радиус фрезы $R_и$. При этом в кадрах УП задаются координаты начальной $A_и$ (i, j) и конечной $A_к$ ($x_к$, $y_к$) точек дуги контура относительно центра дуги:

```
N{i} G43 I{i} J{j} X{xк} Y{yк}
     L{n } LF
```

Функция G44 — круговая интерполяция по часовой стрелке с эквидистантой «минус».

По этой команде происходит круговая интерполяция по часовой стрелке дуги окружности от точки $B_н$ до точки $B_к$ радиусом, равным радиусу R запрограммированной дуги минус радиус фрезы $R_и$ (рис. 8.27, *г*). В кадрах УП при этом задаются координаты начальной $A_и$ (i, j) и конечной $A_к$ ($x_к$, $y_к$) точек дуги обрабатываемого контура относительно центра дуги:

```
N{i} G44 I{i} J{j} X{xк} Y{yк}
     L{n } LF
```

Функция G45 — круговая интерполяция против часовой стрелки с эквидистантой «плюс».

Функция G46 — круговая интерполяция против часовой стрелки с эквидистантой «минус».

Пример 9. *Программирование обработки непосредственно по контуру детали.* Поясним сказанное на конкретном примере (рис. 8.28) при обработке внутреннего контура фрезой с действительным радиусом $R_и = 19{,}8$ мм. Это значение со знаком плюс набираем на корректоре 27 пульта УЧПУ:

```
% LF
N1 G91 G00 Y100. F50. LF
N2         Z-50. LF
```

Первыми двумя кадрами инструмент (при работе в приращениях) выводится из

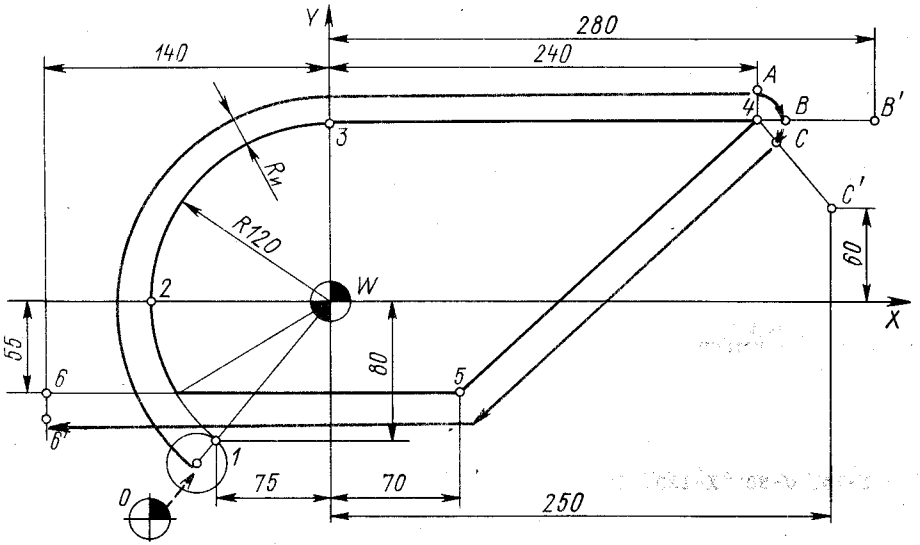


Рис. 8.29. Схема обработки при наличии несопряженных участков контура

TkW в Tk1 и устанавливается по оси Z на заданную высоту.

```
N3      G42 Y100. L27 LF
```

Кадр N3 выводит инструмент в Tk2 по команде G42 — выход на эквидистанту «минус». Указывается корректор номер 27.

```
N4      G46 I0. J200. X-200. Y-0.
            L27 LF
N5          I-75. J0. X0. Y-75.
            L27 LF
N6          I0. J-75. X75. Y0. L27 LF;
```

Кадрами N4 — N6 инструмент из Tk2 переводится в Tk5. Команда G46 определяет круговую интерполяцию против часовой стрелки с эквидистантной «минус».

В кадре N4 знак минус с адресом Y при значении $y=0$ показывает направление изменения по оси Y.

```
N7      G43 I-50. J0. X0. Y50. L27 LF
N8          I0. J50. X50. Y0. L27 LF;
```

По командам кадров N7 и N8 инструмент перемещается из Tk5 в Tk7. Функция G43 определяет круговую интерполяцию по часовой стрелке с эквидистантой «плюс».

```
N9      G46 I-75. J0. X0. Y-75. L27 LF
N10         I0. J-75. X75. Y0. L27 LF;
```

По командам кадра N9 и N10 инструмент проходит точки Tk7 — Tk9.

```
N11     I200. J0. X0. Y200. L27 LF
N12 G42 Y-100. L27 LF;
```

По команде кадра N11 инструмент приходит в Tk2. Далее он возвращается в Tk1 (10) по команде кадра N12:

Команда G42 необходима, чтобы инструмент пришел в Tk1 (10); к координате со знаком плюс прибавляется значение радиуса фрезы.

Кадрами N13 — N14 инструмент возвращается в TkW:

```
N13 G00 Z50. LF
N14     Y-100. M02 LF.
```

При обработке несопряженных участков контура (рис. 8.29) необходимо осуществить их программное сопряжение. В одном из вариантов этого можно добиться с помощью подготовительных функций G47 (сопрягающая дуга по часовой стрелке) и G48 (сопрягающая дуга против часовой стрелки). По этим командам инструмент обходит острый угол по дуге ABC (рис. 8.29) с радиусом, равным радиусу фрезы. В кадре УП одновременно с командой G47 (G48) задаются координаты произвольной точки с учетом знака перемещения на луче, проходящем через конечную точку дуги. Это делается для указания направления обхода. При задании координат произвольной точки необходимо выдерживать соотношение $(x_к^2+y_к^2)^{1/2} \geqslant R_и$, где $x_к$, $y_к$ —

координаты выбранной произвольной точки B'.

Пример 10. *Обработка с программным сопряжением участков контура.* Например, программа обработки контура, показанного на рис. 8.29, может быть записана в следующем виде:

```
% LF
N1 G90 S850 F45. LF
N2 G41 X-75. Y-80. L18 LF          ...Tk1
```

Кадром N1 устанавливаются условия работы фрезы, кадром N2 — выход на эквидистанту «плюс» с указанием корректора номер 18, на котором набрано действительное значение радиуса фрезы.

```
N3 G43 I-75. J-80. X-120. L18 LF ..Tk2
N4 G43 I-120. J0. X0. Y120. L18 LF Tk3
N5 G01 X240. LF                    ...Tk4
```

После выхода инструмента в Tk4 (TkA) он в TkC перемещается по дуге ABC командами двух кадров УП: N6 и N7.

```
N6 G47 X+280. Y-120. L18 LF        ...TkB
N7 G47 X-250. Y-60. L18 LF         ...TkC
```

В кадре N6 указываются команда G47 (сопрягающая дуга по часовой стрелке) и координаты произвольной точки B' на продолжении луча Tk3 — TkB. При этом необходимо предусмотреть, чтобы точка B' располагалась от Tk4 на расстоянии, большем чем $R_и$. Знак минус при численном значении y ($y-120$) показывает направление перемещения фрезы по эквидистанте, при котором значения y будут уменьшаться.

Кадр N7 обеспечивает перемещение инструмента от TkB до TkC. Знаки минус перед числовыми значениями координат произвольной точки C' указывают на направления перемещения инструмента по эквидистанте.

```
N8 G01 X70. Y-55. LF               ...Tk5
N9      X-140. M02 LF              ...Tk6
```

Кадрами N8 и N9 инструмент выводится в Tk6.

Пример 11. *Программирование обработки крышки.* Приведенный материал позволяет написать вариант УП для обработки детали типа «крышка» (см. рис. 8.18, 8.19). Примем кодовое обозначение фрезы диаметром 20 мм T01 с корректором 01, частоту вращения шпинделя 850 об/мин, подачу при обработке 45 мм/мин, траекторию — эквидистанту с опорными точками, определенными координатами относительно системы координат детали (см. табл. 8.4, 8.5).

Приведенные примеры программ отражают основные имеющиеся в практике приемы программирования для фрезерных станков с УЧПУ класса NC, однако могут быть и некоторые другие подходы к решению рассмотренных задач.

ГЛАВА 9
ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

9.1. ОСОБЕННОСТИ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ В УЧПУ ДЛЯ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ

Разнообразие операций, выполняемых на многоцелевых станках с ЧПУ, определяет и сложности программирования обработки деталей на этих станках. В цикле обработки одной детали здесь могут быть фрезерные, сверлильные, расточные, резьбонарезные, токарные и другие операции различной сложности, осуществляемые в разных плоскостях разными инструментами. При этом программированию подлежит множество вспомогательных переходов, связанных с заменой инструмента, смещениями и поворотами обрабатываемой детали, заменой столов-спутников, выводом элементов станка в заданные фиксируемые положения, целевым управлением отдельными приводами и др. Поэтому УП для обработки одной детали на многоцелевом станке может состоять из нескольких тысяч кадров. Покадровое составление УП — крайне трудоемкий и

сложный процесс. Следует отметить и особосложный формат кадра УП для современных УЧПУ. Он может включать одновременно два-три десятка адресов, причем в кадре может быть несколько одинаковых адресов, в частности адресов подготовительных G и вспомогательной M функций.

Современные УЧПУ, обеспечивающие функционирование многоцелевых станков, как правило, имеют высокий класс и оснащены микропроцессорными устройствами. Это позволяет программировать обработку деталей на многоцелевых станках с широким использованием различных постоянных циклов, стандартных, типовых и разрабатываемых в процессе программирования подпрограмм. Ряд современных УЧПУ допускают одновременное хранение (а следовательно, и использование) в памяти до 150—200 подпрограмм. Бóльшая часть этих подпрограмм может быть реализована по команде одного-двух кадров основной УП. Значительно упрощает программирование обработки для многоцелевых станков и возможность задания в УП так называемых запрограммированных повторений. Эти повторения могут быть реализованы как числом прогонов вызванной подпрограммы в данном кадре, так и путем повторения кадров основной УП, ранее запрограммированных. Во втором случае в УП достаточно указать номера кадров и число их повторов.

Формирование УП

Формат кадра. Особенности кодирования информации УП для многоцелевых станков во многом определены форматом кадра и использованием при его формировании ряда дополнительных знаков. Например, формат кадра может быть следующим:

```
% : /DS N07 9G02 X+053 Y+053 Z+053
     I+043 R±043 J+043 K+043
     Q+043 W+043 V+043 B±7
     C+7 F41 S5 T4 6M02 25P7
     E7 H7 LF
```

Формат кадра УП предусматривает запись явной десятичной запятой (DS), символов начала программы (%), главного кадра (:) и припуска кадра (/). Ведущие нули во всех словах, кроме слов с адресами B и C можно опускать, в том числе и в словах с адресами G и M. Знак плюс можно не указывать перед всеми адресами, кроме B и C. Число номеров кадров в одной УП может достигать 9999999.

В одном кадре допускается указывать до десяти подготовительных функций (адрес G) из разных групп и до шести вспомогательных функций (адрес M). Кроме адресов геометрической информации (линейные X, Y, Z, I, J, K, Q, R, W, V и угловые B, C) предусмотрены адреса для команд «выдержка времени» (E), «число повторений программы (H), «формальный параметр» (P). Последних может быть до 25 в одном кадре.

Построение УП. Общее формирование УП для многоцелевых станков должно быть особенно четким. В начале каждой УП целесообразно указать номер или модель станка, номер программы и, если необходимо, номер ленты, поскольку УП может состоять из нескольких лент. Так, запись информации в начале УП

```
% 2204 1835 01 LF
```

означает, что УП под номером 1835 предназначена для станка модели 2204ВМ1Ф4; номер ленты 01.

Следует иметь также в виду, что если УП состоит из нескольких лент, то в конце информации на каждой из лент должен быть записан символ КН — конец носителя. В некоторых УЧПУ конец носителя обозначают чередованием символов % и ПС, т. е. %ПС%ПС%ПС, или %LF%LF%LF.

При подготовке УП для многоцелевых станков с ЧПУ особое внимание уделяют выделению главных кадров — символ «:», выпадающих кадров — символ «/», а также информации, заключаемой в круглые скобки,— символы «)» и «(».

Главный кадр характеризует исходное состояние СЧПУ перед началом или возобновлением какой-либо обработки,

устанавливает исходное состояние команд групп G и M. В ряде случаев главный кадр в УП указывают сразу после смены очередного инструмента, определяя обработку каждым инструментом как отдельную часть программы. В главном кадре должна быть повторена информация, заданная ранее и необходимая для работы очередным инструментом. Некоторые УЧПУ позволяют быстро перематывать или отрабатывать ленты от одного главного кадра к другому. При этом на пульте системы должна быть нажата соответствующая кнопка. При использовании в УП главного кадра рекомендуется последний кадр программы обозначить символом :, чтобы обеспечить контроль за обрывом ленты. Удобство применения главного кадра состоит в том, что после отключения станка оператор может начать обработку, ориентируясь на главный кадр без предварительного просмотра ленты в поисках команд, необходимых для дальнейшей работы. Если в УП несколько главных кадров, то достаточно просто зафиксировать эти кадры, прогоняя ленту, и выбрать требуемый.

Выпадающие кадры (пропуски кадров с подтверждением) указывают символом /. По необходимости они могут быть отработаны или не отработаны на станке. Для соответствующей команды на пульте УЧПУ имеется кнопка с символом «/». При нажатии этой кнопки кадры программы (например, /N40 G01... /N41 X —...), помеченные знаком /, выполняются. Выпадающие кадры могут быть как главными, так и очередными; их обозначают соответственно /:N и /N. Использование в УП выпадающих кадров позволяет программисту одной УП описать обработку деталей, отличающихся друг от друга каким-либо элементом, включить дополнительные перемещения инструмента, необходимые при отладке программы, например отходы инструмента в фиксированные точки. Выпадающие кадры могут быть применены в случае, когда технолог-программист при составлении УП не может однозначно решить какие-либо вопросы: установить число рабочих ходов при фрезеровании, когда имеется значительный разброс припусков на обработку, определить условия обработки отверстий, связанных с сопряженными деталями, и т. д. В первом случае необходимо заложить в УП число ходов фрезы по максимальному припуску, но первые ходы запрограммировать в кадрах со знаком «/». Во втором случае обработка отверстий, вызывающих сомнение, программируется в выпадающих кадрах и т. п.

Для многоцелевых станков с ЧПУ кадры в исходной программе рекомендуется нумеровать так, чтобы младшая цифра в номере была равна нулю или пяти, т. е. через десять или через пять. Это позволяет при редактировании программ вставляемым кадрам присваивать номера, отличающиеся младшей цифрой. Например, до редакции было: N10, N20, N30, N40 и т. д.; после редакции: N10, N11, N20, N21, N22, N30 и т. д. Номера главного и последующих кадров должны иметь возрастающий порядок.

Для занесения в текст программы *информации, не предназначенной для считывания системой ЧПУ, но необходимой в распечатке*, ее заключают в скобки: левая круглая скобка «(» означает, что информация, следующая за ней, не предназначена для считывания и отработки, а правая круглая скобка «)» указывает, что последующая информация будет считываться устройством. Информация, вносимая в скобки, может включать название инструмента в кадре смены, его запрограммированные размеры, вылеты по осям, координаты контрольных точек, дополнительные указания наладчику и т. п. Информация в скобках должна кодироваться символами, входящими в набор символов кода ИСО, она может быть расположена только в тексте основной программы и не должна включать символы %, ПС (LF), :.

Команды, кодируемые подготовительными функциями. Команды, кодируемые с адресом G, в УП для многоцелевых станков с ЧПУ используются особенно широко. Для некоторых УЧПУ в одном кадре могут быть заданы до девяти подготовительных команд (по одной команде из каждой группы).

Первая группа команд связана с выбором *вида перемещения* на станке. Для

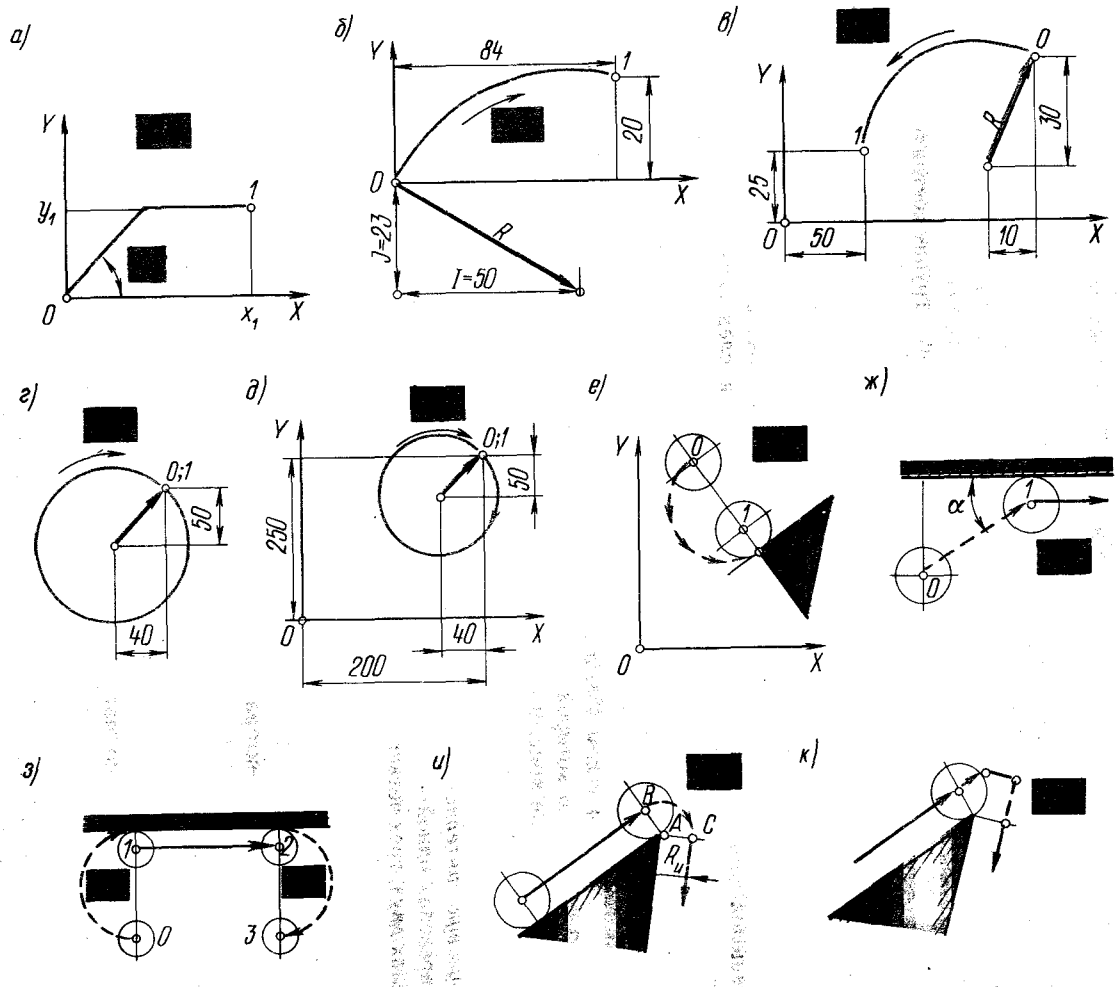


Рис. 9.1. Схемы кодирования траектории различными подготовительными функциями

большинства УЧПУ функциональные значения этих команд одинаковы и отвечают определенным ГОСТ 20999—83: G00 — позиционирование на быстром ходу; G01 — линейная интерполяция. При указании команды G00 действие заданной ранее рабочей подачи отменяется, но остается в памяти УЧПУ до прихода команд рабочего перемещения.

В некоторых УЧПУ к командам, определяющим перемещения, относят и команду G73 (обработка параллельно осям). Эта команда при задании перемещения по одной координате действует аналогично команде G01. Если команду G73 задать при перемещении по двум осям, то в случае неравенства заданных перемещений движение сначала будет выполняться под углом 45°, а затем параллельно оси, по которой задано большое перемещение (рис. 9.1, *а*).

Все современные УЧПУ для многоцелевых станков позволяют задавать *круговую интерполяцию для дуги* как в пределах одной четверти, так и в пределах двух, трех четвертей и всей окружности сразу, т. е. без разделения дуги на участки (см. гл. 1). При этом задаются функции обхода дуги (G02 или G03), плоскость обработки (G17, G18, G19), проекции радиуса-вектора дуги, проведенного из начальной точки в центр дуги (I, J, K), и координаты конечной точки в относительных (G91) или абсолютных (G90) размерах. Так, круговая интерполяция дуги по часовой стрелке (рис. 9.1, *б*) в плоскости *XY* в относительных размерах от точки *0* до точки *1* будет записана в виде

```
N{i} G91 G17 G02 X84. Y20. I50.
J-23. LF
```

То же, но в абсолютных размерах и против часовой стрелки (рис. 9.1, *в*):

```
N{i} G90 G17 G03 X50. Y25. I-10.
J-30. LF
```

Круговая интерполяция целого круга в относительных размерах (рис. 9.1, *г*):

```
N{i} G91 G17 G02 X0. Y0. I-40.
J-50. LF
```

То же, но в абсолютных размерах (рис. 9.1, *д*):

```
N{i} G90 G17 G02 X200. Y250. I-40.
J-50. LF
```

Отдельную группу составляют *команды, действующие в пределах одного кадра.*

Команда G04 (в некоторых УЧПУ G05) означает выдержку времени (паузу, остановку с задержкой). Она позволяет задержать начало обработки, указанной в следующем кадре, на заданное время, например, на время, требуемое для остывания детали после черновой обработки перед чистовой. Существуют различия в схемах кодирования выдержки времени. В более современных УЧПУ совместно с командой G04 в кадре указывается по отдельному адресу (например, E) значение выдержки (паузы) в секундах.

Команда G09 (торможение), указанная в кадре, обеспечивает снижение контурной скорости до нулевого значения при подходе к конечной точке обработки. Эту команду применяют при смене координаты интерполяции, при переходе от линейной интерполяции к круговой или, наоборот, при переходе от интерполяции к программированию ускоренных перемещений. Применение команды G09 позволяет при резком изменении направления, например изломе контура, избежать искажения обрабатываемого контура.

Команда G08 (ускорение) при программировании применяется редко, поскольку характер разгона привода при увеличении скорости, как правило, уже определен самой системой управления.

Группа команд с адресом G (например G11, G12, G13, G28) предназначена для определения *подхода инструмента*, в частности фрез, *к обрабатываемому контуру*. Кодирование этих команд в различных УЧПУ отличается как кодовыми цифрами, так и характером траектории, определяемой командой.

Например, подход к линейному (не параллельному осям) и круговому контурам может осуществляться по команде G28 — сопряженный вход (рис. 9.1, *е*).

При этом инструмент подходит к контуру по дуге и останавливается по нормали к начальной точке контура. При входе по сопряженному контуру силы резания нарастают постепенно, их направления на участке врезания и контуре обработки практически совпадают.

Подход к линейному контуру может кодироваться функцией G11 (рис. 9.1, *ж*). При этом инструмент врезается под определенным углом.

Подход к контуру и отход от него могут определять команды G12 и G13 (рис. 9.1, *з*).

В УЧПУ, где указанного рода команды не предусмотрены, приходится программировать кадры, обеспечивающие аналогичное действие. Следует отметить, что в ряде УЧПУ кодами G10 — G13 кодируют характер движения в полярной системе координат.

Группа команд G17 — G19 определяет *плоскость интерполяции*. В ряде УЧПУ при переходе из одной плоскости обработки в другую указание команд обязательно; наибольшее применение имеет команда G17 — плоскость интерполяции *XY*.

В УЧПУ для многоцелевых станков широко применяется также группа команд на *прохождение излома контура*. Например, команда G27 действует в пределах одного кадра и обеспечивает прохождение инструментом наружного контура в точках излома без программного построения сопрягающих дуг окружности. По данным текущего и последующего кадров траектория рассчитывается системой ЧПУ автоматически. Фреза (рис. 9.1, *и*), обойдя точку *A* по окружности, описанной радиусом фрезы $R_и$, перемещается из точки *B* в точку *C* и останавливается по нормали к поверхности обработки. Команда G27 задается в кадре, следующем за изломом, и действует в его пределах. В некоторых УЧПУ излом осуществляется не по дуге, а по линейной траектории (рис. 9.1, *к*), которая задается, например, командой G14. При прохождении фрезой внутреннего излома в кадре, следующим за ним, указывается команда G23.

Группа подготовительных команд G40 — G52 обычно определяет *коррекцию инструмента*. Способы задания и кодирования коррекции в различных УЧПУ достаточно разнообразны. Общий принцип коррекции рассмотрен в п. 8.2. Но следует отметить, что в более современных УЧПУ прослеживается тенденция задания коррекции двумя-тремя функциями, т. е. наиболее просто. Например, при контурной обработке функцией G41 указывается коррекция на инструмент левая, функция G42 — коррекция на инструмент правая; функция G40 определяет отмену коррекции. Дополнительные команды в этих случаях лишь расширяют возможности программирования: например, команды G47 и G48 удваивают величину задаваемого смещения. Достаточно просто осуществляется и осевая коррекция. Например, по команде G43 инструмент смещается в положительном направлении, а по команде G44 — в отрицательном. При этом величина коррекции может быть указана в УП или введена в память УЧПУ.

Группа команд *смещения нуля отсчета* («плавающий нуль») создает возможности выбрать начало отсчета в любой точке детали и увязать эту точку с датчиком отсчета станка. Обычно это команды G53 — G59. Все современные УЧПУ многоцелевых станков позволяют смещать нуль отсчета по всем осям. Для удобства программирования число команд на смещение нуля может быть достаточно велико (до шести — восьми) при одновременном назначении трех-четырех независимых плавающих (смещаемых) нулей в одной программе. Связь абсолютного нуля с плавающим нулем в различных системах задается и кодируется по-разному. Но в общем существуют две возможности смещения.

В первом случае после указания соответствующей функции (например, G54) или по адресу D указывают номер корректора смещения нуля, если таких корректоров несколько: G5417 или D4017, где 17 — номер корректора. На указанном корректоре и должно быть набрано с соответствующим знаком значение смещения нуля. Если корректор смещения нуля на пульте УЧПУ один (по одному на каждую ось), то достаточно в кадре УП указать лишь соответствующую под-

готовительную функцию. УЧПУ может иметь две команды на смещение нуля: одна из них (например, G54) смещает нуль по оси в положительном направлении, а другая (например, G55) — в отрицательном. В этом случае на корректоре смещения набирают абсолютное значение смещения. Пример записи команды на смещение:

```
N{i} G5402...
```

Здесь 02 — номер принятого (условно) для данного смещения корректора.

Данные по коррекции могут быть и в памяти ЭВМ УЧПУ, куда они вводятся с пульта УЧПУ при наладке станка.

Во втором случае смещение нуля задается в УП с указанием значения и знака смещения по осям. Так, кадр

```
N{i} G59 X300. Y200. Z150. LF
```

означает, что нуль отсчета смещен от абсолютного нуля по координате X на 300 мм, по Y на 200 мм, по Z на 150 мм. В УЧПУ высокого класса смещение нуля в УП может быть задано неоднократно, что в значительной мере упрощает программирование, исключая сложные и трудоемкие расчеты и пересчеты координат.

Из команд смещения нуля следует отметить команду G53 — отмена заданного смещения, отмена коррекции по длине и по радиусу инструмента. Эту команду удобно применять, когда перемещение не зависит от выбранного нуля отсчета и является постоянным для станка. Действует команда G53 в пределах кадра, в котором задана. В кадре, следующем за командой G53, вновь начинает действовать ранее заданная команда смещения нуля.

Все современные УЧПУ позволяют смещать нуль отсчета по всем координатам и без команд УП путем набора требуемых значений смещения на специальных переключателях. Обычно эти смещения задают при настройке станка на выполнение конкретной работы.

Группа команд G60, G61, G62 и другие определяют *режим позиционирования*. Характер действия этих команд у многоцелевых станков аналогичен уже рассмотренному (см. гл. 7).

Группа команд G80 — G89 определяет *автоматические постоянные циклы* (ПЦ) при сверлильно-расточной обработке деталей. В современных УЧПУ характер траектории (движений) постоянных циклов в общем соответствует определяемым ГОСТ 20999—83. Как правило, параметры ПЦ задают в абсолютных размерах. Общим для всех УЧПУ, где используются ПЦ, является то, что эти команды после задания запоминаются и действуют до отмены другой командой этой группы или командой G80. В ряде УЧПУ, оснащенных мини-ЭВМ, ПЦ рассматриваются как подпрограммы и кодируются адресом L (L80 — L90). Как говорилось в п. 2.2, программа ПЦ представляет собой последовательность перемещений инструмента (обычно по оси Z), связанную с подходом инструмента на ускоренной подаче к обрабатываемой поверхности, обработкой детали и выходом после окончания обработки. В большинстве УЧПУ после выполнения ПЦ инструмент выходит в исходную точку (нулевая плоскость), относительно которой и задается ПЦ. В некоторых УЧПУ выход в нулевую плоскость в кадрах УП необходимо указывать отдельной командой.

Команды G90 и G91 определяют *порядок задания перемещений* (в абсолютных значениях или в приращениях относительно последнего значения). Особенностью использования этих команд в УЧПУ для многоцелевых станков является то, что в некоторых УЧПУ эти команды можно задавать в одном кадре УП, т. е. по каждой из координат свой отсчет (своя команда). Например, в кадре

```
N{i} G90 X... G91 Y... G90 Z...
```

отсчет по оси X определен в абсолютных значениях, а по осям Y и Z — в приращениях. Естественно, что перед заданием перемещений в приращениях координаты исходной точки необходимо задать (в предыдущих кадрах) в абсолютных значениях.

Программирование перемещений, подачи, частоты вращения шпинделя. При программировании обработки на многоцелевых станках эти данных коди-

руют в общем так же, как и в УП для других станков.

Линейные перемещения все современные УЧПУ позволяют задавать в мм с точностью до третьего (или четвертого) знака (после условной запятой) без пересчета величин в количестве импульсов.

Повороты столов многоцелевых станков кодируют или значением угла, или цифровым кодом при использовании соответствующего адреса. Адресом поворота стола вокруг оси *Y* является адрес B. Значение угла, как правило, задают в градусах с точностью до второго знака после условной запятой. Возможно задание угла поворота в сотых градуса, если принять $1° = 100$.

При фиксированных значениях угла поворота (например, через 5°) кодирование может осуществляться адресом B и кодовой цифрой: B06, B18, B36, ..., где 06 — код угла 30°, 18—90°, 36—180° и т. д.

В некоторых многоцелевых станках в качестве координаты кодируют *поворот шпинделя* (обычно с адресом C), что значительно расширяет возможности станков. Использование такой координаты позволяет ориентировать шпиндель в любом положении, что дает возможность выводить инструмент из обратного отверстия без касания его поверхности, обрабатывать канавки и внутренние выборки. Управление вращением шпинделя как координатой позволяет нарезать резцом резьбу любого диаметра. При этом вершина резца остается перпендикулярной к поверхности резания. Дискретность поворота шпинделя у различных УЧПУ различна. Она может быть равной 2000 на 360° (0,18° — 1 имп.). При такой дискретности для задания угла поворота шпинделя необходимо его пересчитать, переведя в единицы отсчета. При наладке станка нуль отсчета по координате *C* устанавливают в положение, при котором инструмент ориентирован для его автоматической смены.

Подачу и частоту вращения шпинделя в УЧПУ для многоцелевых станков обычно кодируют с указанием адреса F или S и числового истинного значения, т. е. в мм/мин или об/мин. Ряд УЧПУ позволяет задавать подачу как в мм/мин, так и в мм/об, что регулируется командами G94 и G95. Во всех УЧПУ реализована возможность коррекции заданных в УП значении подачи и частоты вращения шпинделя установкой соответствующих переключателей на пульте УЧПУ.

Вспомогательные команды. В УП для многоцелевых станков вспомогательные команды в общем соответствуют определению, данному в ГОСТ 20999—83. Используется также много команд, определенных стандартом как резервные.

Рассмотрим основные вспомогательные команды.

Команда M00 применяется для остановки программы по окончании кадра. Она вызывает остановку шпинделя и выключение охлаждения. Для дальнейшей работы необходимо нажать кнопку «Пуск программы». Команду используют, когда при обработке необходимо переналадить станок.

Командой M01 программируется остановка программы в кадре задания, и потери текущей информации не происходит. По этой команде прекращаются вращение шпинделя и подача охлаждения. Ее целесообразно применять, когда может возникнуть потребность в остановке после выполнения части программы. Так, при обработке точных отверстий после снятия нескольких деталей возникает необходимость в проверке полученного диаметра и в поднастройке резца. Периодичность таких проверок устанавливает наладчик или оператор.

Команда M02 указывается в последнем кадре программы, она вызывает выключение шпинделя, подачу охлаждения и приводит систему в исходное состояние.

Команда M03 обеспечивает вращение шпинделя по часовой стрелке, т. е. в направлении, когда винт с правой резьбой ввертывается в деталь. Команда M03 действует до отмены и является основной, так как детали, как правило, обрабатывают право — режущим инструментом. В ПЦ задание команды M03 обязательно. Она отменяется командами M00, M01, M04, M05.

Командами M04 задает вращение шпинделя против часовой стрелки, т. е.

в направлении, когда винт с правой резьбой вывертывается из детали. Порядок действия и отмены такой же, как для команды М03.

Команда М05 программирует остановку шпинделя и выключение охлаждения. Команда выполняется в конце кадра и применяется после окончания обработки инструментом перед последующей ориентацией шпинделя (например, по координате *C*) для переключения оборотов с одного диапазона на другой внутри ПЦ.

Команда М06 управляет сменой инструмента. По ней происходит отжим инструмента, находящегося в шпинделе, изъятие его из шпинделя и замена другим инструментом из манипулятора. В некоторых станках по команде М06 происходит переориентация шпинделя. Команда М06 выполняется при нахождении шпинделя в позиции смены (обычно это перемещение по оси *Y* для горизонтальных станков и по оси *Z* для вертикальных). В ряде станков процесс замены инструмента кодируется командой М66.

Команда М17 — конец группы кадров, она может означать конец подпрограммы и записываться в отдельном кадре.

Конец подпрограммы и переход к основной УП можно закодировать командой М20.

Командой М19 выполняется переориентация шпинделя для последующей смены инструмента. Действие команды М19 отменяет ранее используемые команды М03, М04, А13 и М14.

Команда М26 позволяет запретить коррекцию частоты вращения шпинделя и подачи и обязательна для ПЦ при резьбонарезании, где подача и частота вращения связаны между собой (в других системах этот запрет заложен внутри ПЦ). Кроме того, команда может быть заложена при чистовой обработке отверстий и плоскостей.

Команда М30 совпадает с командой М02, но дополнительно вызывает возврат состояния системы к началу программы, т. е. к символу %.

Команды М50 и М51 программируют дополнительное охлаждение. Они запоминаются системами ЧПУ и действуют до отмены.

Команда М82 предназначена для отмены блокировки ограничения хода по оси *Y* или *Z* в кадре смены инструмента. Координата смены инструмента находится за пределами хода станка, и для выхода в эту координату необходимо отменить соответствующую блокировку конца хода. Команда действует только в пределах кадра, в котором задана.

Аналогично действие команды М83 для координат *X*, *Y* и *Z* при смене столов-спутников.

Для смены столов-спутников могут быть использованы команды М84 и М88, соответствующие двум положениям стола станка у накопителя заготовок. Программирование смены столов-спутников требует определенного порядка: устанавливают стол в нуль по угловому положению (повороту); выводят стол в абсолютный нуль станка; заменяют стол-спутник. Фрагменты программ для некоторых станков:

станок ИР 800МФ4:

```
N{i}   ...     B72 LF
N{i+1} ... G74 X0. M60 LF
N{i+2} ... G74 X0. LF
```

станок ИР 500МФА:

```
N{i}   ...     B72 LF
N{i+1} ... G74 M60 LF
```

станок 2204М1Ф4:

```
N{i} ... G53 X...Y...Z1...M83 M20 LF
N{i+1}...    M84... LF
N{i+2}...G53 Z2... LF
N{i+3}...    M88... LF
```

Здесь X, Y, Z1, Z2 — координаты, задаваемые от абсолютного нуля станка и определяемые при наладке.

Поиск и смена инструмента. Номер инструмента во всех УЧПУ для многоцелевых станков задают адресом Т и двумя (тремя) кодовыми цифрами. В ряде УЧПУ здесь же указывают (еще двумя цифрами) номер корректора на данный инструмент. Например, запись Т0217 означает, что 02 — номер инструмента, а 17 — номер корректора, с которого

будут считываться длина и радиус (коррекция).

У многоцелевых станков поиск и смена инструмента организованы в зависимости от компоновки станка. Общим для всех УЧПУ является задание поиска инструмента командой с адресом T, при этом команда должна быть задана не в кадре смены инструмента, а заранее, чтобы инструментальный магазин успел повернуться нужной ячейкой в позицию смены. В большинстве УЧПУ инструмент после его вывода заменяется по команде M06. Но в ряде случаев необходимо, кроме того, предусмотреть в УП останов шпинделя (команда M05), его перемещение в позицию замены, обычно в абсолютный нуль по осям *Z* и *Y* (команда G74), переориентацию шпинделя в позиции замены (команда M19). В некоторых УЧПУ программируется и возврат инструмента (команда M18) в соответствующее гнездо магазина. В общем виде программа замены инструмента может иметь вид:

```
N{i-1} ... T... LF
N{i}       M05 LF
N{i+1} G74 Z0. Y0. M19 LF
N{i+2}     M06 LF
N{i+3}     T... M18 LF
```

Здесь с адресом T указывается инструмент, возвращаемый в магазин.

Имеются УЧПУ, у которых возврат инструмента в магазин происходит одновременно с заменой по единой команде M06.

Рассмотрим несколько примеров программ, определяющих уровень и возможности УЧПУ для многоцелевых станков.

Коррекции при программировании

Схемы введения коррекций при составлении УП для многоцелевых станков достаточно разнообразны, что позволяет варьировать имеющиеся методы. Это открывает большие возможности для программирования. Можно считать общепринятым, что в современных УЧПУ величина коррекции (со знаком плюс или минус) вводится с пульта УЧПУ или с перфоленты в память ЭВМ УЧПУ и хранится там в своеобразном списке коррекции с адресом D (линейные или диаметральные размеры) или H (осевые размеры — перемещения).

Естественно, каждой коррекции присваивается свой номер. Например, список коррекции в УЧПУ может быть задан таким: D05 = 10 мм; D01 = 15 мм; D02 = = 20 мм; D08 = 10 мм; D07 = 12 мм; D03 = 12 мм; D17 = —0,8 мм и т. д. Необходимая коррекция в кадре УП обычно вызывается какой-либо подготовительной функцией. Значения этих функций для ряда УЧПУ:

G41 — коррекция слева от контура;

G42 — коррекция справа от контура;

G45 — увеличение размера по абсолютной величине (величина коррекции прибавляется к заданным в определенном направлении в кадре УП значениям перемещений по осям);

G46 — уменьшение размера по абсолютной величине (величина коррекции вычитается из заданных в определенном направлении в кадре УП значений перемещения по осям);

G47 — увеличение размера по абсолютной величине на удвоенное значение коррекции указанного корректора;

G48 — уменьшение размера по абсолютной величине на удвоенное значение коррекции указанного корректора.

Коды G43 и G44 определяют направления осевого смещения (см. гл. 8).

Функции G41 и G42 обычно действуют на группу кадров УП и отменяются функцией G40 (отмена коррекции). Функции же G45 — G48 действуют только в том кадре, где указаны.

Пример 1. *Обработка окружности (рис. 9.2) с коррекцией радиуса фрезы.* На корректоре D05 установлено значение радиуса фрезы 10 мм. Фрагмент программы может иметь вид:

```
N10 G90 G00 X70. LF
N15 G41 D05 X80. Y30. LF
N20 G03 X130. Y80. I10. J-50. F500 LF
N25 G02 X170. Y80. I-80. J0 F60 LF
N30 G03 X80. Y130. I-60. J0 F500 LF
N35 G00 G40 X70. Y80. LF
N40     X0. M02 LF
```

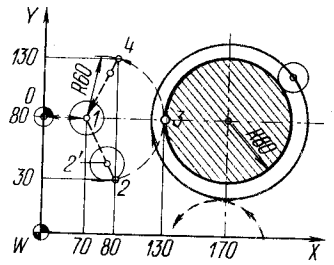


Рис. 9.2. Схема обработки детали по окружности

Кадром N10 задается позиционирование в точку *1*. Кадр N15 вводит коррекцию (D05) на радиус фрезы слева от контура (G41) и позиционирует фрезу в точку *2*. Так как вводится коррекция, то фреза центром установится на эквидистанту (в точку *2'*). Кадр N20 — на подаче 500 мм/мин фреза перемещается в точку *3*. Кадром N25 задается обработка окружности с центром $x=170$ мм, $y=80$ мм. Адресами *I* и *J* определяются проекции радиуса в начальную точку (это точка *3*). Кадрами N30, N35 и N40 инструмент возвращается в точку *0*.

Пример 2. *Обработка контура (рис. 9.3) с коррекцией в обе стороны.* На корректоре D1 задано значение радиуса фрезы 15 мм, на корректоре D02 — величина 20 мм. Фрагмент программы может иметь вид:

```
N10 G90 G0  X175. Y50. LF      ...Tk1
N15     G42 D02 LF             ...Tk2
N20     G1  X25. F60. LF       ...Tk3
N25     G41 D1 X200. F40. LF   ...Tk5
N30     G40 X240. LF       ...Tk6(Tk0)
```

Кадром N15 вызывается коррекция справа от контура (G42), которая считывается с корректора D02. Центр фрезы переходит в точку *2*. Кадром N25 вводится коррекция слева от контура (G41) и указывается уже корректор D01. Центр инструмента сначала смещается из точки *3* в точку *4*, а потом на подаче 40 мм/мин перемещается в точку *5*. Кадр N30 отменяет коррекцию (G40), инструмент переходит в точку *6*, а потом в точку *0*, так как в кадре указана координата $x=240$ мм.

Данная программа показывает, что за счет изменения коррекции можно организовать двухпроходную обработку: по корректору D02 — предварительную, по корректору D01 — окончательную.

Пример 3. *Обработка детали по контуру со сменой коррекции в одном направлении (рис. 9.4).* На корректоре D08 задано значение радиуса фрезы 10 мм, на корректоре D07 установлена величина 12 мм. Фрагмент программы:

```
N10 G90 G17 LF
N15     G0  X140. Y40. LF
N20     G42 D08 LF
N25     G1  X100. F60. LF
N30     G3  X90. Y50. I-10. J0. LF
N35     G1  X40. D07 LF
N40     G3  X30. Y40. I0. J-10.
            D08 LF
N45     G1  X0. LF
N50     G0 G40 X-35. M02 LF
```

Кадр N20 вызывает коррекцию справа от контура (G42): инструмент смещается на величину 10 мм, заданную корректором D08. Кадр N35 задает движение инструмента до точки *4*. Но так как в кадре указан корректор D07, то инструмент сначала сместится вверх на 2 мм (разность между установленными на корректорах D08 и D07 значениями), а потом перейдет в точку *4*. На поверхности останется припуск 2 мм. Кадр N40 вводит первоначальную коррекцию (D08 = 10 мм), которая обрабатывается до начала обработки дуги между точками *4* и *5*. Кадр N50 отменяет коррекцию (G40), обеспечивая позиционирование инструмента в точку *7*.

Пример 4. *Обработка паза с введением коррекции и обеспечением плавной траектории входа и выхода инструмента (рис. 9.5).* На корректоре D03 задан радиус фрезы 12 мм. Фрагмент программы:

```
N10 G0  X135. Y50. Z-30. LF
N15 G41 D03 LF
N20 G3  X95. Y90. I-40. J0. F200 LF
(N20 G12 X95. Y30. F200 LF)
N25 G1  X45. F40 LF
N30 G3  Y10. I0. J-40. LF
N35 G1  X180. LF
N40 G3  Y90. I0. J40. LF
N45 G1  X95. LF
N50 G3  X55. Y50. I0. J-40. F200 LF
```

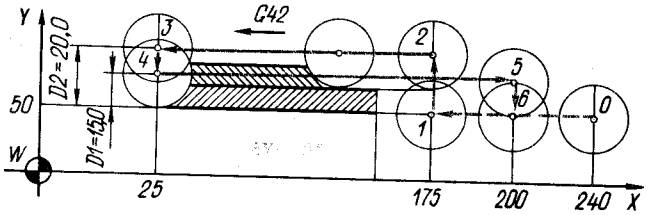


Рис. 9.3. Схема обработки детали по контуру с двойной коррекцией

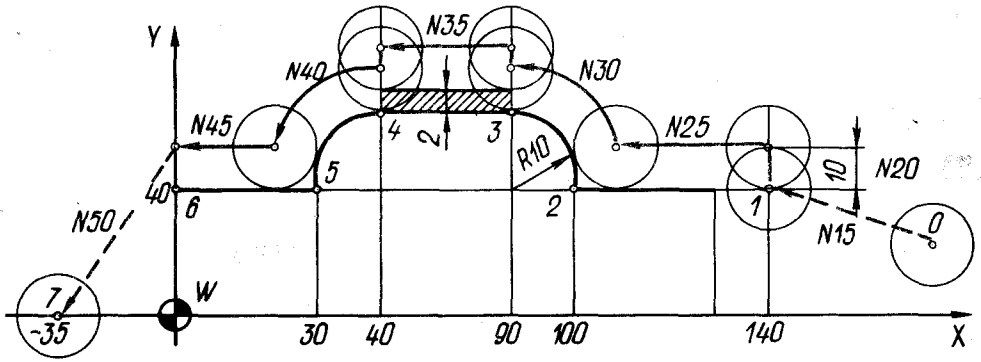


Рис. 9.4. Схема обработки детали по контуру со сменой коррекции в одном направлении

```
(N50 G13 X55. Y50. F200 LF)
 N55 G0  G40 X95. M02 LF
```

Кадр N10 выводит инструмент в точку *0*. Кадр N15 задает коррекцию слева от контура (G41), указывается корректор D03. Кадром N20 программируется подход инструмента к точке *1* по дуге. Эта команда может быть задана и специальной функцией G12 (кадр N20 в скобках). Кадры N25 — N45 определяют обработку паза (перемещение инструмента от точки *1* до точки *6*). Кадр N50 определяет выход инструмента по дуге из точки *6* в точку *7*. Как вариант (кадр N50 в скобках) можно задать отход инструмента от контура по дуге функцией G13. Кадр N55 смещает инструмент в точку *8* и отменяет коррекцию.

Пример 5. *Обработка контура (рис. 9.6) с использованием коррекций смещения.* Примем, что на корректоре D21 задано значение 15 мм, на корректоре D08 — 10 мм, на корректоре D17 — 0,8 мм. Радиус фрезы 10 мм. Фрагмент программы может быть таким:

```
N1  G90 G46 G0 X90. Y55. D08 LF
N2  G91 G47 G1 X75. F60 LF
N3      G46 Y45. D17 LF
N4      G48 X50. D08 LF
N5      G46 Y-45. D17 LF
N6      G45 X30. D08 LF
N7      G45 G3 X40. Y40. J40. LF
N8      G45 G1 Y65. LF
N9      G46 X0. LF
N10     G46 G2 X-40. Y40. J40. LF
N11     G45 Y0. LF
N12     G46 X0. LF
N13     G45 X-155. D21 LF
N14     G46 Y0. D08 LF
N15 G90 G0  X0. Y0. M02 LF
```

Кадр N1 вводит коррекцию на уменьшение (G46). Она считывается с корректора D08 и осуществляется по двум осям, так как перемещения заданы по двум адресам (*X* и *Y*).

Кадром N2 задается удвоенная коррекция (G47). Она действует только по оси *X*. Происходит движение инструмента с обработ-

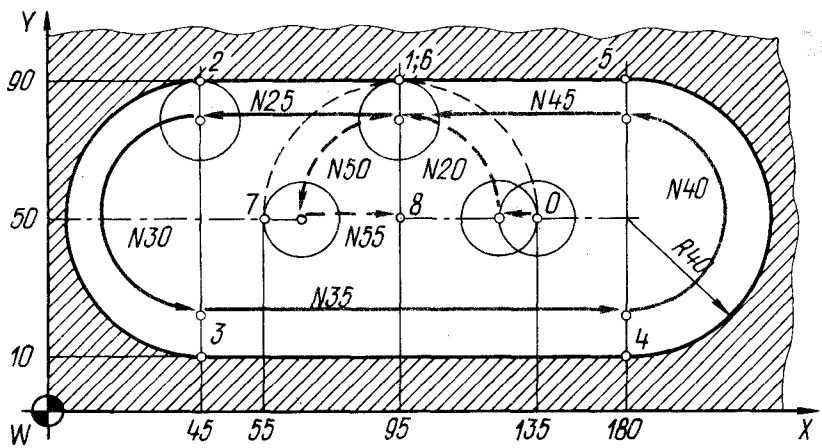


Рис. 9.5. Схема обработки паза

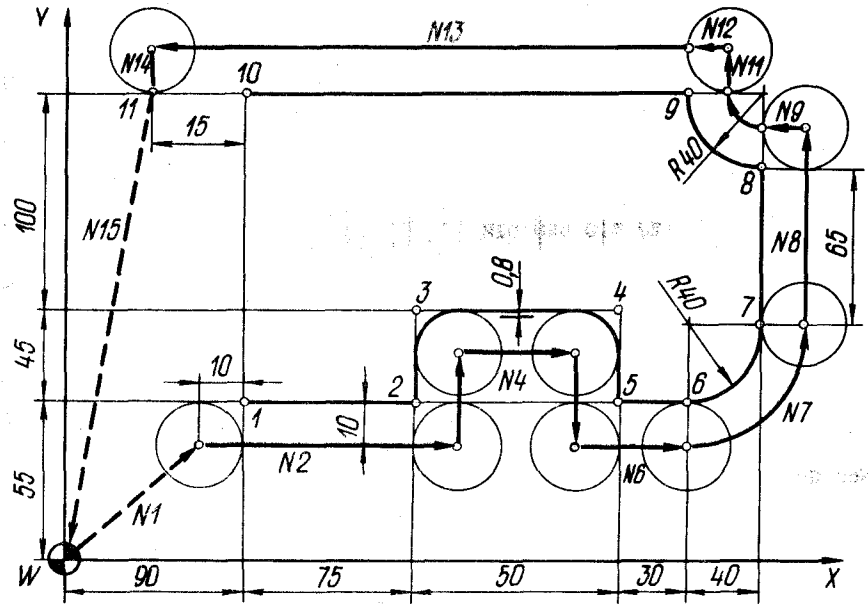


Рис. 9.6. Схема обработки контура с коррекцией смещения

кой плоскости между точками *1* и *2* на подаче 60 мм/мин.

Кадр N3 — уменьшение перемещения (G46) по оси *Y* на 0,8 (корректор D17); оставляется припуск на плоскости между точками *3* и *4*. Кадр N5 возвращает инструмент на линию обработки, определенную точками *1*, *2*, *5*, *6*; кодом G46 задается уменьшение перемещения по оси *Y* (по абсолютной величине).

Кадрами N6 — N8 программируется перемещение от точки *5* до точки *8*. На все эти кадры распространяются данные корректора D08, который указан в кадре N6. Напомним, что в ряде УЧПУ при указании круговой интерполяции величины *I* (*J*), равные нулю, в кадре могут быть не указаны.

Кадр N9 — указание функции G46 с нулевым значением по оси *X* обеспечивает смещение инструмента в направлении $-X$ на величину, определенную корректором: в данном случае — на радиус инструмента (корректор D08).

Кадр N10 — обработка дуги между точками *8* и *9*; введена команда на уменьшение размеров по оси *X* и *Y* (G46). Кадры N11, N12 — смещение инструмента на 10 мм (по D08) в направлении осей *Y* и *X* соответственно. Кадр N13 — перемещение инструмента в точку *11*; перебег его (15 мм) относительно точки *10* задается функцией G45 и корректором D21. Кадры N14 и N15 — возвращение инструмента в точку *W*.

Пример 6. *Обработка контура (рис. 9.7) с программной коррекцией подачи (торможение по углам).* Программная коррекция подачи задается функцией G28, указываются расстояние *K* на пути к программируемой конечной точке и процент уменьшения подачи относительно заданной ранее (адрес F). Отмена коррекции подачи осуществляется кодом G29. На корректоре D08 задано 10 мм — радиус фрезы. Фрагмент программы:

```
N5  G90 G17 LF
N10 G0  X180. Y140. LF
N15 G1  F210 LF
N20 G42 D08 LF
N25 G28 K15. F30 LF
N30     X30. LF
N35     Y60. LF
N40 G3  X55. Y35. I25. LF
N45 G28 K5 F50 LF
N50 G1  X75. F1000 LF
N55 G29 LF
N60 G0  G43 X140. Y35. D08 LF
N65 G2  G41 X180. Y75. I40. F80
        D08 LF
N70 G0.....................
```

Кадром N15 устанавливаются значение подачи 210 мм/мин и режим линейной интерполяции. Кадр N20 вводит коррекцию справа от контура. Кадр N25 задает режим коррекции подачи: торможение по углам за 15 мм до конечной точки и уменьшение подачи на 30 %. Кадры N30, N35 — перемещение инструмента от точки *1* до точки *3* и от точки *3*

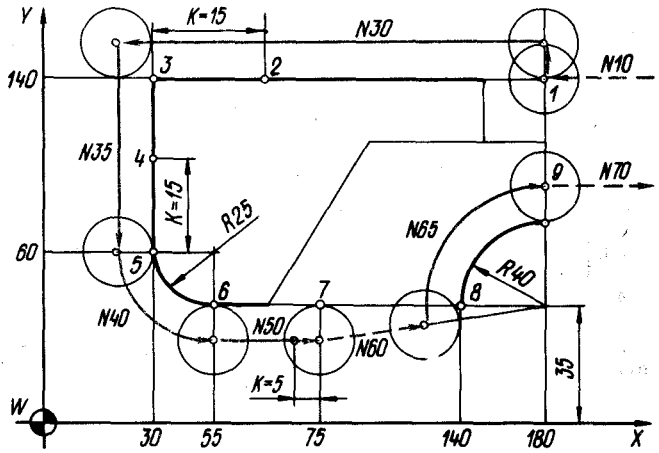


Рис. 9.7. Схема обработки контура с коррекцией подачи (с торможением на углах)

до точки *5*. В соответствии с командой кадра N25 при перемещении инструмента от точки *2* до точки *3* и от точки *4* до точки *5* подача на участках *K* будет замедлена к концам движения на 30 %, т. е. будет составлять 210 (100 % — — 30 %) = 147 мм/мин.

Кадр N40 — обработка дуги; замедления при подходе инструмента к точке *6* не произойдет, так как функция G28 действительна только в кадрах, где действительна функция G1. Кадр N45 вводит новые данные по функции G28; участок замедления подачи определен в 5 мм, величина уменьшения 50 %.

Кадр N50 — движение в точку *7* с подачей 1000 мм/мин. При недоходе до точки *7* на 5 мм начнется уменьшение подачи, и в момент нахождения инструмента в точке *7* подача составит 500 мм/мин. Такой режим движения был установлен кадром N45.

Кадр N55 — отмена команд на торможение по углам (G29). Кадр N60 — ускоренное перемещение инструмента к точке *8*, подход его к контуру с наружной стороны (G43). Здесь функция G43 используется для определения наложения инструмента при подходе к контуру по нормали (к дуге с радиусом $R = 40$ мм).

Кадр N65 — обработка дуги от точки *8* до точки *9* при расположении фрезы слева от контура (G41).

Программирование в полярной системе координат

В полярной системе координат положение конечной точки определяется радиусом и углом. Возможно назначение специальной полярной плоскости функцией G20 с указанием координат выбранного полюса. При использовании полярной системы координат вводят следующие подготовительные функции движения: G10 — ускоренное перемещение (аналог G00); G11 — линейная интерполяция (аналог G01); G12 — круговая интерполяция по часовой стрелке (аналог G02); G13 — круговая интерполяция против часовой стрелки (аналог G03). В ряде СЧПУ можно одновременно использовать как прямоугольную, так и полярную системы координат.

Рассмотрим несколько примеров программирования в полярной системе координат.

Пример 1. *Фрезерование шестигранника (рис. 9.8).* На корректоре D04 задан размер 14 мм — диаметр фрезы. Фрагмент программы может иметь вид:

```
N5  G20 X100. Y75. LF
N10 G11 X45. A0 LF
N15     A60 LF
N20     A120 LF
N25     A180 LF
N30     A240 LF
N35     A300 LF
N40     A0 LF
```

Кадр N5 определяет плоскость *XWY* как полярную с полюсом в точке *M*, координаты которой: $x = 100$ мм; $y = 75$ мм. Кадр N10 задает линейную интерполяцию и начальную точкую обработки. Радиус *R* указывается по адресу X, а угол — по адресу A. Кадры N15 — N40 последовательно задают перемещение инструмента по точкам контура; радиус остается неизменным — заданным кадром N10. Предполагается, что условия обработки, характер коррекции определены в программе кадрами N1 — N4.

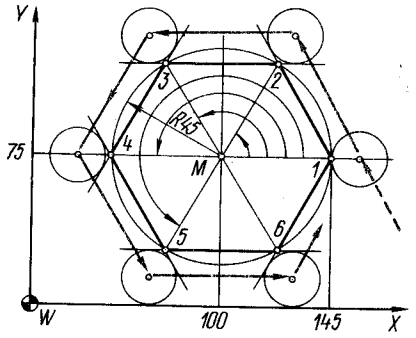


Рис. 9.8. Схема фрезерования шестигранника

Пример 2. *Движение по сложной траектории (рис. 9.9).* При программировании движения по сложной траектории возможен покадровый перенос полюса. Это можно задать функцией G20 или (в некоторых УЧПУ) специальными функциями G110 и G111. Функция G110 одновременно определяет ускоренное перемещение, а G111 — линейную интерполяцию (рабочее перемещение) по программируемой траектории.

Фрагмент программы (вариант 1):

```
N1 G90 G0   X0. Y0. LF
N2      G20 X0. Y0. LF
N3      G10 A30 B40. LF
N4      G20 X37. Y17. LF
N5      G11 A60 B28. F60 LF
N6      G20 X50. Y42. LF
N7          A0 B12. LF
N8      G20 X65. LF
N9          A-65 B25. LF
```

Кадром N1 инструмент позиционируется в точку *W* на ускоренном ходу. Далее (кадр N2) определяет полярную плоскость и координаты полюса. Кадр N3 позиционирует инструмент на ускоренном ходу (G10) в точку *1*. Радиус в данном варианте программы задан по адресу B, а угол — по адресу A. За положительное направление отсчета углов принято направление от оси *X* к оси *Y*. Кадр N4 — смещение полюса в точку *1*. Кадр N5 — на рабочей подаче смещение инструмента в точку *2*. Кадры N6, N8 — смещение полюса, кадры N7, N9 — соответственно перемещения на рабочей подаче между точками.

Программа получается проще, если использовать функции G110 и G111 (вариант 2). Но это возможно, если такие команды воспринимаются данными УЧПУ.

```
N1 G90 G0   X0. Y0. LF
N2      G110 A30 B40. LF
N3      G111 A60 B28. F80 LF
N4      G111 A0 B12. LF
N5      G111 A-65 B25. LF
```

Здесь кадр N2 функцией G110 определяет положение полюса в достигнутой точке *W* и одновременно ускоренное перемещение по траектории, характеризуемой радиусом 40 мм и углом 30°. Функция G111 последовательно смещает полюс и определяет режим на рабочей подаче 80 мм/мин.

Пример 3. *Движение по сложной траектории с элементами сопряжения (рис. 9.10).* При программировании таких движений используют сложные кадры УП, построенные по установленным для конкретного УЧПУ правилам. Фрагмент программы:

```
N10 G20 X0. Y0. LF
N15 G11 X45. Y18. A66 L72. B15.
        A1=-75 L1=50 K1=10 F80 LF
N20 G11 X92. Y0. A35 L45 K8. A1=-80
        L1=48 B1=20 LF
```

В кадре N15 по адресам X и Y заданы координаты точки первого участка (точки *2*). Адрес A определяет угол первого луча, размер которого (расстояние между точками *W* и *1*) задан по адресу L (*L*=72 мм). По адресу B задан размер первого радиуса сопряжения (15 мм). Адресами A1, L1, K1 указыва-

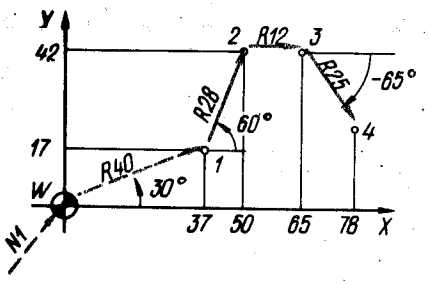


Рис. 9.9. Программирование траектории движения центра инструмента в полярных координатах

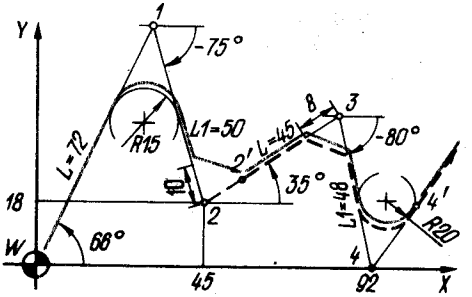


Рис. 9.10. Программирование движения центра инструмента по траектории с элементами сопряжения

ваются параметры второй прямой, определяющей участок траектории от точки *1* до точки *2*. Кадр N20 определяет движение от точки *2'* до точки *4'* путем поэлементного задания прямых (лучей) от точки *2* до точки *3* (длина $L=45$ мм) и от точки *3* до точки *4* (длина $L1=48$ мм) с одновременным заданием фаски перехода (8 мм) и радиуса (20 мм).

Сокращенное описание контура

При программировании фрезерных операций (например, с УЧПУ фирмы SIEMENS) сокращенное описание контура выполняется по правилам, аналогичным рассмотренным в гл. 7.

Пример. *Обработка контура (рис. 9.11) с сокращенным описанием его геометрии.* Причем, что за корректором D08 закреплено значение радиуса фрезы 10 мм. Условия обработки и инструмент в программе заданы заранее. Фрагмент программы:

```
N1  G90 G17 LF
.............
N5  G0  G43 X120. Y60. D08 LF
N10 G3  G42 I-10. J0. I0 J15 X85.
        Y45. F90 D08 LF
N15     A135 U18 X20. Y80. LF
N20 G1  A90 U-20. A0 X120. Y10.
        U10. LF
N25     Y60. LF
N30 G0  G40 X... LF
```

Начало обработки — точка *1*, куда инструмент смещается по команде кадра N5. Кадр N10 определяет движение инструмента от точки *1* до точки *2*, координаты которой заданы по адресам X и Y. Параметры I и J соответственно определяют дуги окружностей с радиусами 10 и 15 мм.

Кадр N15 — команда на перемещение инструмента от точки *2* до точки *3* с координатами $x=20$ мм, $y=80$ мм. По адресу U задано значение радиуса, которым сопрягаются прямые.

Кадр N20 — последовательное задание элементов контура от точки *3* до точки *4*. По адресу U с минусом задана величина скоса (фаска). Адресами A определены углы вертикальной и горизонтальной прямых. В конце кадра с адресом U задано значение радиуса (10 мм).

Кадр N25 определяет приход инструмента в точку *1*.

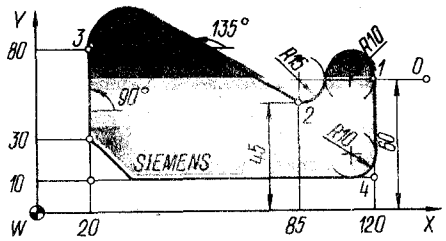


Рис. 9.11. Схема обработки контура с сокращенным его описанием

Использование в программах покадровой функции смещения нуля

Как уже говорилоось, смещение начала системы координат (смещение нуля) осуществляется функциями G54 — G59, которые используются в разных сочетаниях. Однако использование этих функций ограничено тем, что часть из них задает в УП фиксированное смещение нуля (команда вводится в память ЭВМ с пульта УЧПУ или считывается непосредственно с УП). Для отмены этих смещений обычно служит функция G53. В ряде УЧПУ, однако, можно устанавливать любые смещения нуля в УП столько раз, сколько нужно. Для этих целей используют функцию G92. Обычно эта функция заменяет все функции G54 — G59, действует при снятых ранее (функцией G53) смещениях нуля, не позволяет учитывать коррекцию радиуса фрезы (функции G41, G42) и задается лишь при абсолютной системе отсчета (при функции G90).

Если смещение нуля обозначается функцией G92, то одновременно указывают адреса и значения перемещения по одной, двум или трем координатам.

Пример. *Обработка паза со смещением нуля.* Фрагмент программы обработки паза, показанного на рис. 9.12, может быть следующим:

```
N1  G90 G17 LF
.............
N5  G0  X160. Y180. LF
N6  G92 X0 LF
N7  G1  Y110. F100 LF
N8      X-80. LF
```

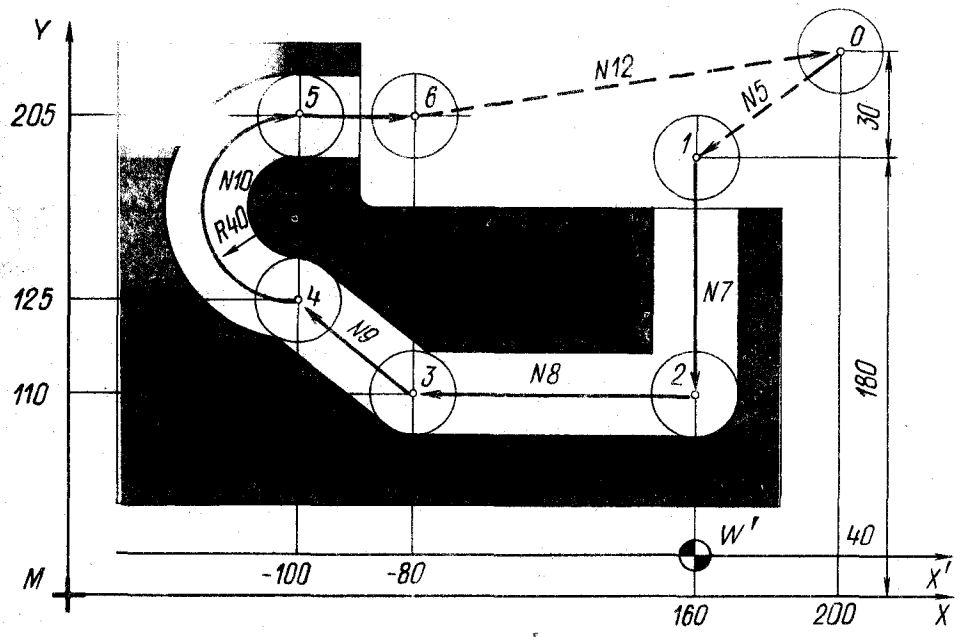


Рис. 9.12. Схема обработки паза с использованием функции смещения нуля (G92)

```
N9       X-100. Y125. LF
N10 G2   Y205. J40. LF
N11 G1   X-80. LF
N12 G0   X40. Y210. LF
N13 G92  X200. LF
N14      M02 LF
```

Кадром N6 вводится новое значение нуля по оси *X*. Это фиксируется функцией G92 с указанием по адресу X нулевого значения. После этой команды нуль по оси *X* сместится из точки *M* в точку *W'* и образуется система координат *YW'X'*, в которой и осуществляется дальнейшее программирование. По команде кадра N13 происходит возврат отсчета координат в исходную координатную систему (абсолютного нуля), поскольку координата точки *0* в исходной системе по оси *X* 200 мм соответствует в системе *YW'X'* координате 40 мм.

Рассмотренные особенности подготовки УП для многоцелевых станков не охватывают всего многообразия приемов и способов кодирования информации, соответствующих УЧПУ этих станков. Мощные ЭВМ, которыми оснащаются УЧПУ, позволяют также, например, вести обработку по одной УП с изменением масштаба обработки в широких пределах, производить простой перевод имеющейся информации в зеркальное ее отображение (схема матрица-пуансон), вводить и исключать любые ограничения рабочих зон, обеспечивать линейную и круговую интерполяцию в любой выбранной плоскости, не совпадающей с координатными, обеспечивать любые вспомогательные траектории входа и выхода инструмента, выполнять УП с выпадающими кадрами, устанавливать режимы обработки и задавать размеры перемещений в различных единицах, вводить и исполнять информацию с логическими переходами, программировать и выводить на дисплей указания рабочему-оператору, вводить точки автоматической смены инструмента, столов-спутников и т. д. Однако главное преимущество УЧПУ для многоцелевых станков заключается в широчайшем использовании типовых подпрограмм и стандартных циклов в сочетании с диалоговой системой подготовки УП и моделированием процесса программирования на экране цветного дисплея.

9.2. ПРОГРАММИРОВАНИЕ МЕТОДОМ ПОДПРОГРАММ

Программирование на базе разрабатываемых подпрограмм. Методы программирования для многоцелевых станков сводятся к разделению операции на отдельные этапы, общность которых определяется используемым инструментом. Это позволяет составлять РТК для отдельных инструментов, выделяя для обработки последовательно не только плоскости обрабатываемой детали в целом, но и отдельные ее элементы в пределах одной плоскости. В общей УП программы обработки отдельными инструментами связывают между собой соответствующими командами, определяющими смену инструмента, поворот или наклон детали, линейное ее смещение, изменение в режиме работы элементов станка, замену столов-спутников и др.

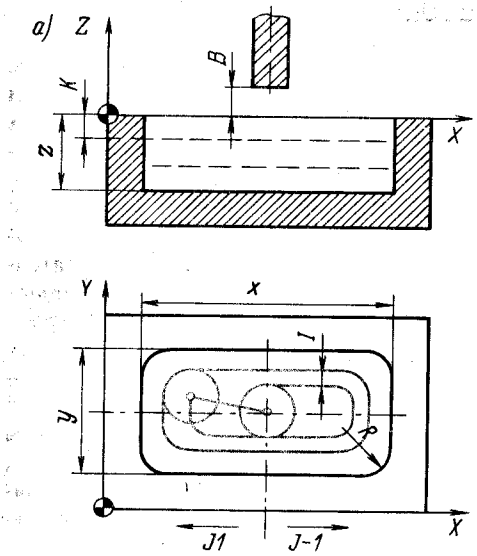
При составлении УП возможно покадровое программирование всей обработки от начала до конца, что обычно и делается для сравнительно простых деталей. Однако программирование удобно вести по этапам (по элементам детали или по инструментам), определяя отдельные этапы как подпрограммы. Каждой такой подпрограмме можно присвоить номер и ввести ее в УЧПУ или с основной УП или с пульта УЧПУ. Тогда основная УП будет состоять из отдельных подпрограмм и кадров, обеспечивающих взаимосвязь в общем порядке обработки всей детали. Такой метод, когда УП составляется из отдельных, сравнительно независимых массивов информации, более прост, чем покадровое программирование всей обработки в целом. При программировании допускается меньше ошибок, да и исправление их более простое, поскольку можно исправлять или редактировать одну подпрограмму, не касаясь всей УП в целом. Кроме того, достаточно просто, меняя места подпрограмм в основной УП, менять общий порядок обработки всей детали.

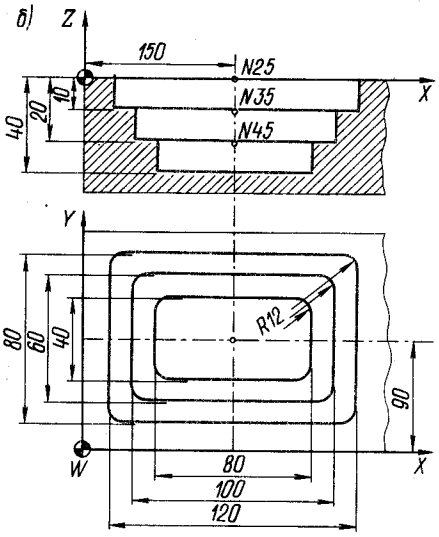
Все разработанные подпрограммы после их использования могут быть выведены на какой-либо программоноситель. При повторении партии деталей, для которых были разработаны подпрограммы, их можно снова использовать, при необходимости откорректировав.

Программирование с использованием типовых подпрограмм и постоянных циклов. Современные УЧПУ повышенного класса, предназначенные для многоцелевых станков, кроме определенного объема памяти для введения разрабатываемых подпрограмм имеют достаточно большой набор (до 150) постоянных подпрограмм. Постоянные подпрограммы, составленные для различных инструментов, охватывают наиболее часто повторяющиеся схемы и циклы обработки. Как правило, постоянные подпрограммы выражены в формальных параметрах, с помощью которых и задается действительная траектория движения инструмента. В зависимости от модели УЧПУ постоянные подпрограммы или вводятся в память устройства извне, например с помощью программоносителя (перфоленты, магнитной ленты), или находятся в памяти УЧПУ постоянно. Имеющиеся для данного УЧПУ подпрограммы, оформленные в виде каталога, приложены к инструкции по программированию, или могут быть вызваны из памяти ЭВМ УЧПУ в виде своеобразного меню. Каждая из подпрограмм имеет свой кодовый номер, по которому и вызывается в кадрах УП для обработки данной детали.

Использование постоянных подпрограмм значительно упрощает программирование и сокращает время работы. Кроме того, снижается частота ошибок программирования.

Типовые подпрограммы для различных УЧПУ сравнительно одинаковы. Они могут отличаться принятыми схемами траекторий инструмента и видом используемых формальных параметров. Наиболее часто формальные параметры задаются латинскими буквами R, P или E с двух- или трехзначными числами или специальными знаками (например, знаком диез) с цифрами после них. Обычно каждая типовая подпрограмма имеет определенный формат, которым записывается и вызывается при необходимости в кадрах основной УП. Типовые подпрограммы могут быть оформлены как





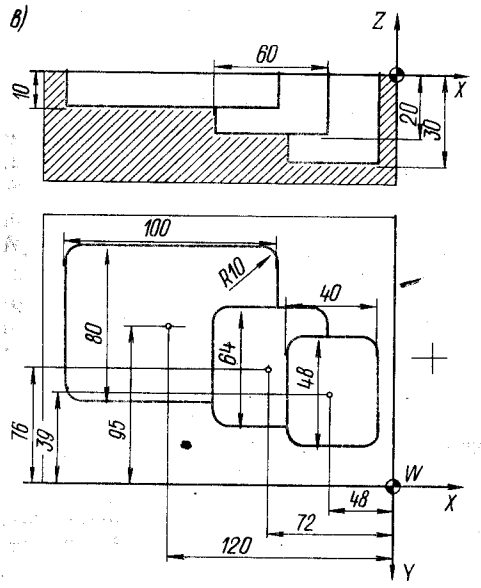


Рис. 9.13. Схемы обработки прямоугольного паза: *а* — типовая схема; *б* — соосные пазы; *в* — сдвинутые пазы

постоянные циклы со сложным форматом кадра для их осуществления.

Пример 1. *Обработка прямоугольного паза (рис. 9.13, а).* Подпрограмма представлена как постоянный цикл, параметры которого задаются по определенным адресам, а сам цикл вызывается кодом G87.

Формат кадра вызова

G87 X...Y...Z...B...R...I...J...
K...F...S...T...M...

В кадре по адресам X—R задаются размеры паза и недоход фрезы до торца детали (B). По адресу I задаются проценты от диаметра примененной фрезы (не более 40), по адресу J — условный код —1 или 1, определяющий направление обхода контура, K — припуск по глубине, снимаемый за один ход, F, S — режимы обработки, T — код инструмента, M (M06) — команда на его установку. Начальная точка исполнения цикла — центр паза.

На основе цикла можно построить УП для обработки достаточно сложных деталей. Например, для детали с концентрично расположенными пазами (рис. 9.13, *б*) фрагмент УП может быть следующим:

```
N15      T0404 S1200 M03 M06 LF
N20 G87 X120. Y80. Z-10. B2. R12.
        I30 K10. J-1 F60 LF
N25 G79 X150. Y-90. Z0. LF
N30 G87 X100. Y60. Z-10. B2. R12.
        I30 K10. J-1 F45 LF
N35 G79 X150. Y-90. Z-10. LF
N40 G87 X80. Y40. Z-10. B2. R12.
        I30 K10. J-1 F45 LF
N45 G79 X150. Y-90. Z-20. LF
N50 G00 Z2. LF
```

Здесь кадр N15 задает инструмент, например фрезу диаметром 15 мм (код 04, корректор 04), частоту вращения шпинделя, направление вращения (по часовой стрелке) и команду на установку инструмента. Кадры N20, N30, N40 задают параметры постоянного цикла (G87) в соответствии с размерами пазов. Напомним, что параметр I задается в % от диаметра фрезы. Кадры N25, N35,

N45 осуществляют запуск этих циклов в работу (код G79) с указанием координат точки запуска (X, Y, Z) в принятой системе координат детали.

Для детали, размеры элементов которой можно представить в определенном масштабе (рис. 9.13, *в*), программу достаточно удобно составить с введением масштабных коэффициентов и функции G70 (активизация этих коэффициентов). Фрагмент программы:

```
N5  T0303 S1500 M03 M06 LF
N6  G87 X100. Y80. Z-10. B2. R10.
        I35. K5. J-1 F60 LF
N7  G79 X-120. Y-95. Z0. LF
N8  U0.6 V0.8 W2.0 LF
N9  G70 LF
N10 G20 P6 Q7 R1 LF
N11 U0.4 V0.6 W3.0 LF
N12 G20 P6 Q7 R1 LF
N13 G71 LF
```

Кадр N5 — задание инструмента и параметров его работы. Кадр N6 — введение цикла G87 для первого паза. Кадр N7 — выполнение цикла, указание точки запуска. Кадр N8 — введение масштабных коэффициентов соответственно по осям X, Y, Z (U, V, W). Кадр N9 кодом G70 активизирует эти коэффициенты на все дальнейшие значения координат с адресами X, Y, Z, кроме равных нулю. Кадр N10 указывает на повтор (код G20) кадров УП с номера N6 (номер кадра начала повтора задается с адресом P) по N7 (номер кадра конца повтора задается с адресом Q; с адресом R задано количество повторов). Поскольку кадром N8 указаны масштабные коэффициенты, то кадр N10 будет отработан с пересчетом всех значений с адресами X, Y, Z. Таким образом, будет обработан второй паз с размерами $x=100\cdot0{,}6=60$ мм; $y=80\cdot0{,}8=64$ мм; $z=10\cdot2=20$ мм; координаты точки запуска: $x=-120\cdot0{,}6=-72$ мм; $y=-95\times0{,}8=-76$ мм. Координата z точки запуска остается прежней (равной нулю), так как на нулевые начальные значения действие масштабных коэффициентов не распространяется.

Кадр N11 вводит новые масштабные коэффициенты по осям X, Y, Z, которые учитываются при исполнении команд кадра N12. Поскольку кадр N12 задает параметры по первому (исходному) пазу, то размеры пересчитываются исходя из данных кадров N6 и N7. Таким образом, обрабатывается третий паз с размерами $x=100\cdot0{,}4=40$ мм; $y=80\cdot0{,}6=48$ мм; $z=10\cdot3=30$ мм; точка запуска имеет координаты: $x=-120\cdot0{,}4=-48$ мм; $y=-95\cdot0{,}6=-39$ мм.

В кадре N13 функцией G71 отменяется действие всех масштабных коэффициентов.

Пример 2. *Обработка шпоночного паза (рис. 9.14).* Подпрограмма представлена как постоянный цикл с форматом кадра вызова

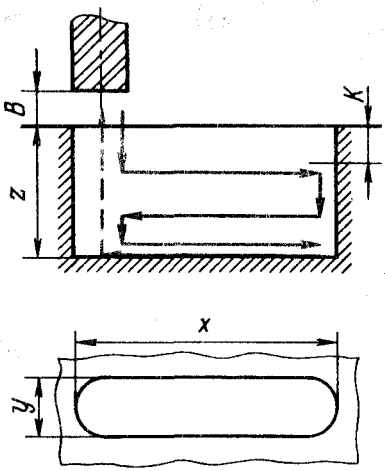


Рис. 9.14. Схема обработки шпоночного паза

```
G88 X...Y...Z...B...K...F...S...
    T...M...
```

Характер адресов кадра аналогичен предыдущему случаю.

Пример 3. *Обработка по внутреннему прямоугольному контуру (рис. 9.15).* Подпрограмма составлена в формальных параметрах и имеет следующий вид:

```
L101
N1  E8=E2-E4 E9=E1-E3 E10=E2-E3
N2  G1  Y-=E5
N3  G43 X=E4
N4  G41 Z-=E8
N5  G3  X0 Z-=E2 R=E4
```

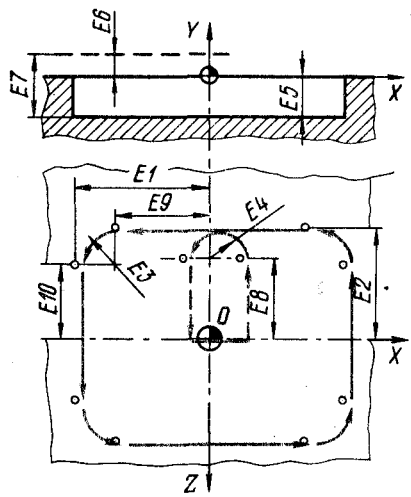


Рис. 9.15. Схема обработки по внутреннему прямоугольному контуру

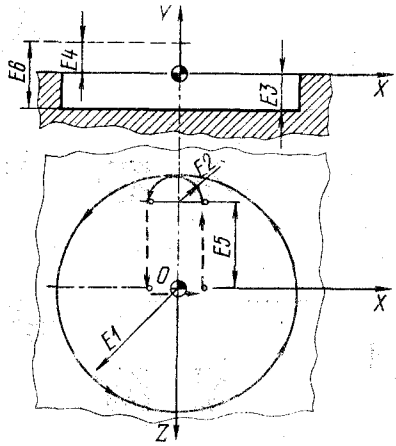


Рис. 9.16. Схема обработки внутреннего контура по окружности

```
N6  G1   X-=E9
N7  G3   X-=E1 Z-=E10 R=E3
N8  G1   Z=E10
N9  G3   X-=E9 Z=E2 R=E3
N10 G1   X=E9
N11 G3   X=E1 Z=E10 R=E3
N12 G1   Z-=E10
N13 G3   X=E9 Z-=E2 R=E3
N14 G1   X0
N15 G3   X-=E4 Z-=E8 R=E4
N16 G1   Z0
N17 G40
N18      X0
N19 G0   Y=E6 M17
```

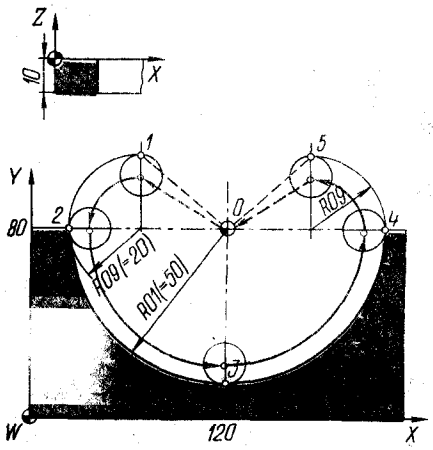


Рис. 9.17. Схема обработки внутреннего контура с профилем полуокружности

Вызов подпрограммы осуществляется форматом

```
L101 E1=...E2=...E3=...E4=...E5=...
     E6=...
```

Значения формальных параметров ясны из рисунка. Для запуска подпрограммы инструмент должен быть позиционирован в точку *0*.

Пример 4. *Обработка внутреннего контура по окружности (рис. 9.16).* Подпрограмма составлена в формальных параметрах и имеет следующий вид:

```
L103
N1  G18 E5=E1-E2
N2  G1  Y-=E3
N3  G43 X=E2
N4  G41 Z-=E5
N5  G3  X0 Z-=E1 R=E2
N6      X0 Z-=E1 I0 K0
N7      X-=E2 Z-=E5 R=E2
N8  G1  Z0
N9  G40
N10     X0
N11 G0  Y=E4 M17
```

Вызов подпрограммы осуществляется форматом

```
L103 E1=...E2=...E3=...E4=...
```

Значения формальных параметров ясны из рисунка. Для запуска подпрограммы инструмент должен быть позиционирован в точку *0*.

Пример 5. *Обработка внутреннего контура с профилем полуокружности (рис. 9.17).* Подпрограмма, составленная в формальных параметрах, будет иметь вид:

```
L07
N1      R01=R01-R09 LF
N2  G00 G64 G91 G41 D=R48 X=-R01
        Y=R09 LF
N3      R01=R01+R09 LF
N4  G03 X=R09 Y=-R09 I0 J=-R09
        F=R15 LF
N5      X=R01 Y=-R01 I=R01 J0 LF
N6      X=R01 Y=R01 I0 J=R01 LF
N7      X=-R09 Y=R09 I=-R09 I0 LF
N8      R01=R01-R09 LF
N9  G00 G40 X=-R01 Y=-R09 LF
N10     R01=R01+R09 M17 LF
```

Кадр N1 — определение координаты *x* точки *1*. Кадр N2 — смещение инструмента на ускоренном ходу (G00) в точку *1* из точки *0*. При этом задаются диаметр фрезы по адресу D (параметр R48), коррекция слева от контура (G41), отсчет размеров в приращениях (G91), коррекция подачи (G64).

Кадр N3 — восстановление значения параметра R01. Кадры N4 — N7 — движение инструмента с рабочей подачей (параметр R15) по элементам окружностей между точками *1*—*5*. Кадр N8 — определение координаты *x* точки *5*. Кадр N9 — возврат инструмента в точку *0*. Кадр N10 — восстановление значения параметра R01, завершение подпрограммы (M17).

С учетом использования рассмотренной подпрограммы фрагмент основной УП может иметь вид:

```
N10 G00 X120. Y80. Z-10. LF
N15 L07 R01=50 R09=20 R48=5 R15=20 LF
N20 G90 Z10. LF
```

Программирование с использованием типовых подпрограмм и определением уровней. При задании параметров подпрограмм необходимо четко их определить. Это касается не только данных программируемой траектории, но и некоторых дополнительных элементов, в частности различных уровней. Уровни (рис. 9.18, *а*) задаются, как и данные траектории, относительно осей системы координат, определенной для данного момента (для данной подпрограммы) в основной УП.

Уровень позиционирования (PE) — уровень, на котором инструмент находится перед началом подпрограммы. Обычно этот уровень не задается в подпрограмме, он определяется в основной УП или координатой положения инструмента после его установки в шпинделе, или положением шпинделя в позиции замены инструмента. В некоторых УЧПУ уровень позиционирования можно фиксировать определенной командой (например, G74) с указанием координат по осям *X*, *Y* и *Z*.

```
N{i} G74 X{Xy} Y{Yy} Z{Zz}
```

По этой команде отменяются все ранее заданные команды, и инструмент приходит в точку, определенную координатами *x*, *y*, *z* в абсолютной системе координат станка. Команда G74 действи-

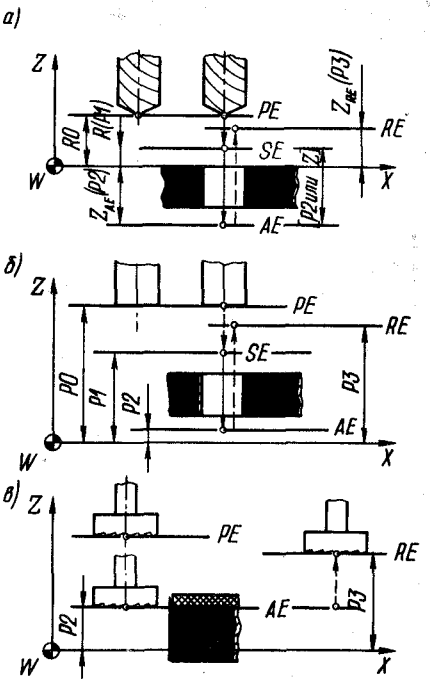


Рис. 9.18. Схема для определения уровней при отработке подпрограммы на многоцелевых станках

тельна только в данном кадре; на последующие кадры восстанавливается действие ранее указанных команд, например на сдвиг нуля и др.

Уровень позиционирования в некоторых УЧПУ может быть указан по оси *Z* числовым значением параметра P0 — или в подпрограмме, или в основной УП.

Безопасный уровень (SE) — уровень недохода инструмента, устанавливаемый на некотором расстоянии от поверхности детали. До этого уровня инструмент по командам подпрограммы опускается на ускоренном ходу. Обычно он задается параметром P1 (рис. 9.18, *б*) или адресом R и указывает координату по оси *Z* (по оси инструмента) в заданной для данной подпрограммы системе координат. В отдельных подпрограммах относительно безопасного уровня может быть задано рабочее перемещение (рабочая глубина) — параметр P2 или адрес Z (на рис. 9.18, *а* в квадратных скобках).

Рабочий уровень (AE) — уровень работы инструмента по заданному циклу.

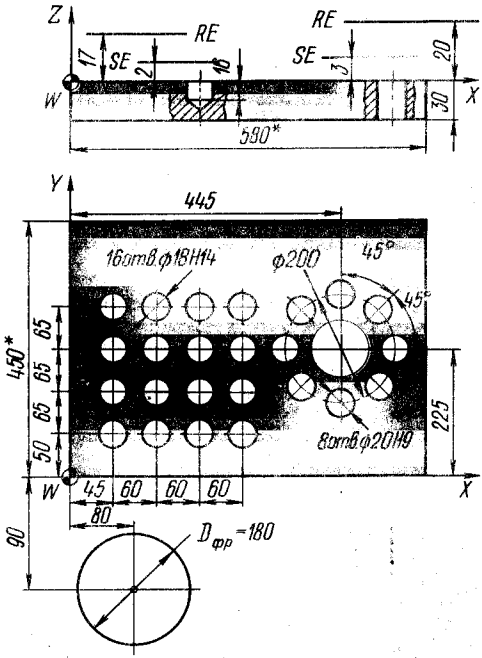


Рис. 9.19. Схема для обработки детали на многоцелевом станке с использованием постоянных подпрограмм

Он может определяться положением инструмента в конце рабочего хода с рабочей подачей (рис. 9.18, *а*, *б*). При осевой обработке это уровень завершения рабочего движения сверла, зенкера, развертки, метчика, расточного резца и др. В таком случае положение рабочего уровня относительно безопасного определено рабочей глубиной — длиной обработки, включая размер (глубину) обрабатываемой поверхности, недоход и перебег инструмента. Если подпрограмма отрабатывается в плоскости (фрезерование, подрезка торцов и др.), рабочий уровень определяет исходное для обработки положение инструмента (рис. 9.18, *в*). Это положение задается с учетом глубины резания на данном проходе, положения фрезы при контурной обработке и т. п.

Уровень AE задается параметром P2 или координатой Z (Z_{AE}) относительно базовой плоскости.

RE — *уровень возврата инструмента* после завершения цикла обработки. Он может быть определен координатой Z (Z_{RE}) или параметром P3 относительно базовой плоскости.

Используя постоянные подпрограммы, достаточно просто составить общую УП для обработки детали.

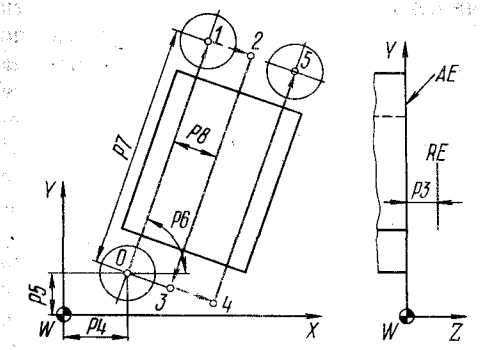


Рис. 9.20. Схема к подпрограмме L50 для фрезерования плоскости

Пример 6. *Составление общей УП с использованием постоянных подпрограмм.* Пусть необходимо отфрезеровать плоскость детали и просверлить несколько отверстий, располагаемых в ряд и по окружности (рис. 9.19). Для составления общей УП можно использовать три постоянные подпрограммы, выраженные в формальных параметрах.

Подпрограмма L50 *для фрезерования плоскости* (рис. 9.20) обеспечивает выполнение операции в соответствии с траекторией, заданной различными параметрами. По команде подпрограммы фреза позиционируется в исходную точку *0*, заданную координатами P4 и P5. При этом первая линия продольного хода инструмента может быть расположена под углом P6. Длина продольного хода определяется параметром P7, а расстояние между линиями продольного хода — параметром P8. Параметр P66 задает подачу инструмента, параметр P71 указывает номер корректора, параметр P76 — характер перемещения по дорожкам (код 2 — перемещение по часовой стрелке, код 3 — перемещение против часовой стрелки), параметр P50 определяет количество дорожек (продольных ходов). В конце подпрограммы инструмент будет находиться в конечной точке последней дорожки (точка *5* на рис. 9.20).

Подпрограмму L94, *для сверления отверстий, расположенных на одной прямой* (рис. 9.21), можно использовать и для других видов обработки отверстий: зенкерования, развертывания, растачивания, нарезания резьбы. Для этого необходимо указать параметром P20 вид постоянного цикла осевой обработки (81 — сверление; 84 — резьбонарезание; 85 — растачивание и т. д.). Как и в предыдущем случае, все размеры постоянной подпрограммы L94 выражены формальными параметрами. Параметр P51 указывает коли-

чество отверстий в строке (по оси X), а параметр P52 — количество строк (по оси Y). Осевая коррекция задается параметром P71.

Подпрограмма L95 *для сверления отверстий* (рис. 9.22) обеспечивает выполнение операции при размещении отверстий *по окружности* радиуса P14. Первое отверстие расположено под углом P15 к оси X, угловое расстояние между отверстиями — P16.

Общая УП для обработки детали, показанной на рис. 9.19, может быть записана следующим образом:

```
% LF
N10 G90 T0111 LF
N20      S1200 M06 LF
N30 L50 P2,0 P4,80 P5,-90 P6,90
        P7,650 P8,160 P50,3 P66,140
        P71,11 P76,2 P3,18 LF
N40 G90 T0201 LF
N50      S450 F45. M06 LF
N60 L94 P1,2 P2,-16 P3,17 P4,45 P5,50
        P10,60 P11,65 P51,4 P52,4
        P71,1 LF
N70 L95 P1,3 P2,-34 P3,20 P4,445
        P5,225 P14,100 P15,45 P16,45
        P51,8 P71,1 LF
N80 G90 T0302 LF
N90      S400 F60. M06 LF
N100 G20 P70 Q70 R1 LF
N110      M02 LF
```

Первыми кадрами вызывается фреза диаметром 180 мм (код T01, корректор 11) и задается частота вращения шпинделя 1200 об/мин.

Кадром N30 вызывается постоянная подпрограмма L50 и указываются значения ее формальных параметров.

Кадрами N40 и N50 вызывается сверло диаметром 18 мм (код T02, корректор 01), задаются режимы сверления: частота вращения шпинделя 450 об/мин; подача 45 мм/мин.

Кадром N60 вызывается подпрограмма L94 для сверления параллельных отверстий и указываются значения ее формальных параметров.

Кадром N70 по подпрограмме L95 осуществляется сверление отверстий на диаметре 200 мм сверлом диаметром 18 мм.

Кадрами N80 и N90 вызывается зенкер диаметром 20 мм (код T03, корректор 02) и задаются режимы зенкерования.

В кадре N100 указано (команда R1), что кадр N70 повторяется один раз. Фрагмент программы, вызываемый на повтор, задается номерами кадров. Номер начального кадра

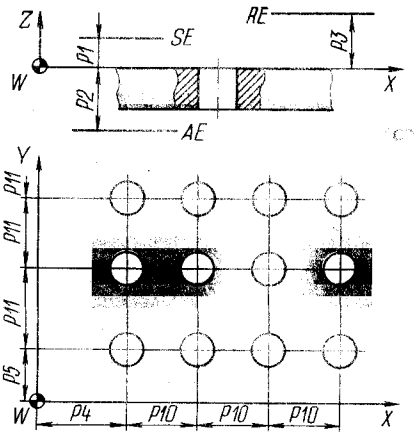


Рис. 9.21. Схема к подпрограмме L94 для обработки отверстий, расположенных на прямой

фрагмента УП записывается по адресу P, а конечного — по адресу Q. Поскольку в данном случае вызывается один кадр (N70), то в кадре N100 по адресам P и Q будет одно и то же число — 70.

По команде G20 кадр N70 вызывается из памяти УЧПУ и отрабатывается. Поскольку в кадре N70 была записана подпрограмма L95, то она и будет отработана зенкером. Кадр N110 завершает УП.

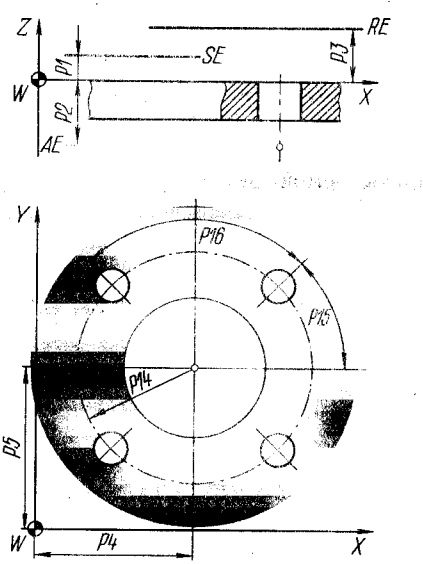


Рис. 9.22. Схема к подпрограмме L95 для обработки отверстий, расположенных по окружности

9.3. ДИАЛОГОВЫЕ МЕТОДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА УЧПУ К МНОГОЦЕЛЕВЫМ СТАНКАМ

Современные модели УЧПУ повышенного класса позволяют вести оперативное программирование путем ввода информации непосредственно с пульта УЧПУ. Работа ведется в диалоговом режиме с отображением данных на экране дисплея, совмещающего алфавитно-цифровую и графическую информацию. По команде на экран дисплея может быть вызвана любая из имеющихся в памяти УЧПУ подпрограмм. При этом траектория инструмента (в разных плоскостях) по вызванной подпрограмме высвечивается на экране дисплея. Здесь же указываются все формальные параметры, которые необходимы для задания подпрограммы, формируемые кадры УП (последовательным нажатием клавиш пульта УЧПУ) высвечиваются на экране дисплея. Они достаточно просто могут быть отредактированы.

При необходимости на экран дисплея можно вызвать информацию о режущем инструменте, имеющемся в магазине станка. Графически могут быть представлены на экране дисплея схема инструмента, его данные, включая размеры, код, номер корректора, материал режущей части и др. Естественно, что данные инструмента должны быть заранее введены в память УЧПУ при наладке станка, при загрузке инструментального магазина. По данным инструмента, материалу обрабатываемой детали, виду обработки тут же с пульта УЧПУ можно, указав ЭВМ устройства соответствующую подпрограмму, определить режимы обработки заданным инструментом и задать эти режимы в кадрах формируемой УП.

Последовательный ввод подпрограмм, данных инструмента и его режимов и другой информации позволяет полностью сформировать УП непосредственно по чертежу обрабатываемой детали. Эта программа может быть введена в память УЧПУ и отрабатываться; при необходимости УП может быть выведена на перфоратор и оформлена в виде перфоленты или записана на магнитный диск.

Все микропроцессорные УЧПУ допускают различные методы подготовки и ввода УП: с перфоленты, с магнитной ленты мини-кассеты, с гибкого магнитного диска, из электронной памяти внешней ЭВМ, а также ручным способом с клавиатуры пульта УЧПУ.

Ручной ввод УП (оперативное программирование) используют по-разному. При программировании обработки сравнительно несложных деталей ручным вводом формируется вся УП целиком. Для обработки сложных деталей характерен другой метод. Сначала в УЧПУ с внешнего устройства вводят базовую УП. Такую программу готовят отдельно от УЧПУ станка и записывают на какой-либо внешний носитель (перфоленту, магнитную пленку, магнитный диск). Введенная в память УЧПУ базовая УП дорабатывается и редактируется путем ручного ввода дополнительных данных с пульта УЧПУ. При групповой обработке деталей базовой УП является так называемая лидер-программа, обеспечивающая обработку групповой (комплексной) детали. Работой с пульта в режиме редактирования лидер-программа превращается в УП для данной детали.

Во всех современных УЧПУ высокого класса ручной ввод УП осуществляется обычно в режиме диалога оператор — ЭВМ УЧПУ.

В настоящее время диалоговый режим в наибольшей степени позволяет обеспечить гибкость и оперативность процесса автоматизированной подготовки ТП и УП при требуемом их качестве. Однако реализация диалогового режима подготовки требует четкого установления видов так называемых диалоговых прерываний (ДП) и определенной методики их отработки.

Диалоговыми прерываниями называются действия технолога в процессе сеанса диалога: в определенном месте программы расчета вычисления прерываются и информация выводится на алфавитно-цифровой или графический дисплей.

Режим алфавитно-цифрового диалога. Возможны следующие виды ДП:

1) указание; 2) ввод данных; 3) ввод команд; 4) оценка; 5) корректировка.

Указание применяется технологом в процессе подготовки УП в том случае, если при расчете ЭВМ выдает на дисплей несколько вариантов полученных результатов. Тогда технологу предлагается ввести в ЭВМ указание того варианта, который необходимо выбрать в качестве исходного для дальнейших вычислений.

Ввод данных применяется при нехватке информации для решения рассматриваемой задачи. ЭВМ выдает технологу сообщение-вопрос о недостающей информации, которое отображается на рабочем поле дисплея в зоне вопросов. Технолог вводит необходимые данные с помощью клавиатуры дисплея.

Ввод команд позволяет технологу в широких пределах управлять ходом процесса подготовки УП в целом и при выполнении ее отдельных этапов. Например, если в процессе расчета некоторого этапа подготовки УП по заданной схеме получается неудовлетворительный результат, то технолог формирует и вводит команду на расчет этого этапа по другой схеме. Если же и в этом случае получается неудовлетворительный результат, то технолог повторно вводит команду на переход к следующей схеме расчета и так до тех пор, пока не будет получено и оценено приемлемое решение. Таким образом, основная функция ДП в виде ввода команд позволяет осуществлять переходы в логической структуре взаимодействия технолога и ЭВМ и управлять процессом решения рассматриваемой задачи.

Оценке подвергаются промежуточные результаты, получаемые на ЭВМ. Технолог анализирует полученные данные, которые отображаются на рабочем поле экрана дисплея, и в случае нахождения их удовлетворительными дает команду на выполнение дальнейших расчетных действий. Если же оценка оказывается неудовлетворительной, то вступает в силу следующее ДП в виде корректировки. Оценка промежуточных результатов, как правило, осуществляется на тех стадиях расчета, результат выполнения которых оказывает значительное влияние на дальнейший ход вычислительного процесса с точки зрения получения удовлетворительного решения и минимальных затрат на исправление допущенных ошибок. Так, обязательной оценке подлежат конечные результаты расчета любого этапа процесса подготовки УП.

Корректировка различного рода алфавитно-цифровой информации — один из наиболее распространенных видов ДП. Она применяется, как правило, в совокупности с выше рассмотренными ДП: оценка — корректировка; ввод данных — корректировка. Так, при выборе типа режущего инструмента (РИ) часто встречающейся ошибкой является неверно введенный технологом код РИ. ЭВМ на это реагирует путем отображения соответствующей информации в зоне ошибок на рабочем поле экрана дисплея. Технолог исправляет (корректирует) код РИ, после чего ЭВМ, проанализировав вновь введенный код и признав его приемлемым, убирает сообщение из зоны ошибок. Однако корректировка как вид ДП может иметь место и отдельно. Это происходит, например, в том случае, если для оценки результатов расчета какого-либо этапа существует программный оценочный модуль, который при обнаружении ошибки прерывает вычисления и выводит ее на экран дисплея.

Рассмотренные выше виды ДП позволяют осуществлять диалог, инициируемый как ЭВМ, так и технологом. Подготовка УП происходит как под управлением ЭВМ, так и под управлением технолога. При этом ДП видов «указание», «ввод данных», «оценка» и «корректировка» имеют место при диалоге, вызываемом (инициируемом) ЭВМ, прерывание же вида «ввод команд» — при диалоге, вызываемом технологом.

Следует отметить, что диалог, вызываемый ЭВМ, ограничивает свободу действий технолога, заставляет его отвлекаться от решения творческих задач, задач синтеза и анализа решений, а также немедленно реагировать на прерывания. Поэтому необходимо стремиться к максимальному использованию диалога, инициируемого технологом, который он может начать в удобное для себя время. Для этого технологу в первую очередь

необходимо располагать командами, позволяющими в любой момент времени выводить интересующую его процедуру расчета на экран дисплея и осуществлять с ней требуемые манипуляции. Следует использовать такой вариант взаимодействия, когда технолог не немедленно реагирует на какой-либо вид ДП, а предварительно помещает прерывания в очередь. Помещать прерывания в очередь можно специальной программой. В этом случае технолог оказывается как бы защищенным от приема сообщения в тот момент, когда он к этому не готов, а ЭВМ продолжает расчеты других этапов процесса подготовки УП, которые должны выполняться в автоматическом режиме. Когда технолог оказывается свободным к приему сообщения, он вводит команду на извлечение начального элемента (прерывания) очереди и начинает его отработку. Такой подход, конечно же, более эффективен по сравнению с подходом, когда ЭВМ после выдачи сообщения технологу приостанавливает вычисление программы до тех пор, пока не будет реализовано ДП указанного ею вида.

Режим графического диалога. Некоторые этапы процесса подготовки УП для станков с ЧПУ, например формирование, отображение и коррекция операционного эскиза и др., выполняются в режиме графического диалога, предметом которого является представление и преобразование графической информации с помощью ЭВМ.

Можно выделить три основных принципа действия средств вычислительной техники, предназначенных для выполнения различного рода графических работ: 1) изобразительная машинная графика; 2) анализ изображений; 3) перцептивная графика (анализ сцен).

Графические задачи процесса подготовки УП можно отнести к области изобразительной машинной графики, которая имеет дело с искусственно созданными графическими изображениями, состоящими обычно из линий. К основным задачам, решаемым в изобразительной графике процесса подготовки УП, относятся следующие:

1) построение модели изображаемых элементов и генерация изображения;

2) преобразования модели и изображения;

3) идентификация изображения и извлечение информации.

Под моделью понимается формализованное описание графического изображения, которое может быть принято ЭВМ и преобразовано в соответствующее изображение на рабочем поле графического дисплея или графопостроителя. Например, моделью операционного эскиза детали служит информационный массив координат геометрических точек сопрягаемых элементов поверхности детали с указанием признака яркости этих элементов. Этот информационный массив представляется далее в виде дисплейного списка, на основании которого осуществляется генерация изображения. Использование в процессе подготовки УП графических дисплеев позволяет не только отображать информацию в графическом виде, но и непосредственно преобразовывать ее и манипулировать ею.

Основой графического диалога в процессе подготовки УП служит визуальная обратная связь. Она состоит в том, что в процессе подготовки УП ЭВМ представляет на экран графического дисплея информацию, например траектории перемещения режущих инструментов, а технолог может при необходимости путем активизирования (включения) некоторых устройств ввода (световое перо, функциональные кнопки и др.) реагировать на нее, передавая, таким образом, сообщение ЭВМ.

Так же как и в случае алфавитно-цифрового диалога, при решении технологических задач реакция технолога может быть или ответом на запрос ЭВМ (графический диалог, инициируемый ЭВМ), или его произвольным действием (графический диалог, инициируемый технологом), последствия которого немедленно отображаются на экране дисплея.

При графическом диалоге установлены следующие виды ДП: 1) указание геометрического элемента изображения на рабочем поле экрана дисплея; 2) позиционирование геометрического элемента или элементов изображения и их сово-

купностей на рабочем поле экрана дисплея; 3) рисование отдельных элементов изображения и их совокупности на экране дисплея; 4) ввод команд; 5) ввод данных.

Указание геометрических элементов изображения на рабочем поле экрана дисплея осуществляется с помощью светового пера. Световое перо может быть использовано только совместно с дисплеями, которые регенерируют изображения (в противоположность дисплеям на запоминающих электронно-лучевых трубках), так как это заложено в самом принципе, который позволяет световому перу «видеть» объекты на экране. Световое перо — средство, которое позволяет непосредственно указывать геометрический элемент изображения на экране и тем самым идентифицировать его для ЭВМ, давая возможность оценить, например, численное значение координат геометрических точек операционного эскиза детали.

Позиционирование геометрических элементов изображения на экране дисплея заключается в следующем. На экран выводится курсор. К нему подводят световое перо и нажимают его переключатель. Происходит «прицепление» курсора к световому перу. Затем он вместе со световым пером перемещается по экрану и позиционируется в любой заданной точке. После вывода курсора в требуемое положение переключатель освобождается, и курсор «отцепляется» от пера. Теперь его центр указывает координаты точки, которую технолог хочет определить. Перемещать курсор по экрану можно и другими устройствами, например специальным рычагом, устройством «мышь» и т. д.

Рисование геометрических элементов графических изображений на экране дисплея является одним из широко используемых ДП. Суть его состоит в следующем. Пусть, например, необходимо прочертить отрезок прямой линии, соединяющий две геометрические точки. Для этого позиционированием задаются координаты этих крайних геометрических точек отрезка прямой линии, затем с помощью соответствующей команды вызывается процедура для генерации линии, т. е. технолог сначала указывает начальную геометрическую точку вектора с помощью светового пера. После этого указанная точка высвечивается на экране. Далее указывается конечная геометрическая точка вектора, которая также высвечивается. Затем технолог вводит процедуру «начертить отрезок прямой». ЭВМ, выполняя эту команду, генерирует и выводит на экран дисплея вектор, соединяющий две указанные геометрические точки. Вычерчивание дуги осуществляется путем задания (указания) трех геометрических точек (центра окружности, начальной точки и конечной дуги) и ввода команды «вычертить дугу».

Ввод команд в процессе подготовки УП при решении графических задач может осуществляться как с помощью функциональных кнопок, так и с помощью светового пера. Функция каждой управляющей кнопки определяется заранее в прикладной программе, т. е. вопрос о том, какое конкретное действие будет выполняться при нажатии функциональной кнопки, должен решаться в пределах этой программы. При использовании светового пера технологу на рабочем поле экрана дисплея высвечивается совокупность ключевых слов для соответствующих команд. Например, совокупность команд для преобразования графических изображений операционного эскиза детали и траектории перемещения режущих инструментов имеет вид следующего списка: перенести вниз, перенести вверх, перенести влево, перенести вправо, уменьшить, увеличить, повернуть влево, повернуть вправо.

Ввод данных, как и при алфавитно-цифровом диалоге, осуществляется с помощью клавиатуры дисплея. Однако можно вводить данные и путем перемещения курсора по экрану с высвечиванием координат его центра. Этот способ ввода данных является трудоемким, и его применение, как показала практика решения графических задач процесса подготовки УП, следует ограничивать.

Таким образом, для отработки диалоговых прерываний при решении любой графической задачи можно применять три следующие устройства ввода: световое перо (или рычаг — для дисплея с запоминающей электронно-лучевой

трубкой), алфавитно-цифровую клавиатуру, функциональные кнопки. Все они обеспечивают простоту взаимодействия технолога и ЭВМ и вместе с тем всю полноту охвата перерабатываемой информации, а также полную реализацию установленных видов ДП.

Реализация режима диалога. Режим диалога при вводе УП удобен в случаях, когда для кодирования информации требуется введение в ЭВМ большого количества данных, когда необходим особенно строгий контроль за соблюдением ряда ограничений, накладываемых на получаемые результаты конкретной СЧПУ. Вариант реализации режима покажем на примере.

Пример. *Вариант реализации диалогового режима программирования.* После запуска системы на экране дисплея появляется сообщение ВВЕДИ ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ. Далее на экране высвечиваются в определенном порядке те данные, которые следует ввести в ЭВМ с пульта, например:

ПРОГРАММА №
ДЕТАЛЬ №
СТАНОК, КОД
ТИП УЧПУ, КОД
РАЗРАБОТЧИК, ФАМИЛИЯ

Введенная с пульта информация в соответствии с перечнем, предложенным ЭВМ, высвечивается на экране дисплея и тут же может быть проверена и при необходимости исправлена.

Следующий запрос ЭВМ: БУДУТ ИЗМЕНЕНИЯ? И тут же высвечиваются возможные ответы.

НЕТ — ВВЕДИ КОД 1238 [1] NN [1]
ДА — ВВЕДИ КОД РС — РЕДАКТИРОВАНИЕ

При ответе оператора НЕТ на экран выдается следующий запрос или серия запросов, например:

ВВЕДИ ДАННЫЕ ДЕТАЛИ:
МАТЕРИАЛ, КОД
ТВЕРДОСТЬ, КОД

После ответа на данные запросы на экране высвечивается:

ВВЕДИ КООРДИНАТЫ ИСХОДНОЙ ТОЧКИ: XY
ВВЕДИ НОМЕР ИНСТРУМЕНТА И ЧАСТОТУ ВРАЩЕНИЯ

При этом на экране высвечиваются символы T и S. Получив ответ, ЭВМ формирует стандартный блок начала УП с технологическими командами на установку заданного инструмента и включения заданной частоты вращения шпинделя. Затем на дисплей выдается запрос:

ВВЕДИ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И СКОРОСТИ ПОДАЧИ
ВВЕДИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНУЮ ФУНКЦИЮ

Последнее подтверждается высвечиванием на экране адреса подготовительной функции G.

По получении ответа на экран дисплея выдаются заданные оператором запрошенные величины для визуального контроля по запросу ЭВМ: ПРАВИЛЬНО? При отрицательном ответе (НЕТ) запрос на ввод повторяется. В случае получения утвердительного ответа (ДА) на экран поступает запрос о необходимости ввода коррекции: НУЖНА КОРРЕКЦИЯ? Если ДА, то на экране высвечивается ВВЕДИ НОМЕР КОРРЕКТОРА. Далее в ЭВМ формируется последовательность кадров УП, определяющих заданное перемещение с указанной скоростью подачи. При этом автоматически выделяются участки разгона, торможения и равномерного движения, осуществляется перевод их в импульсы, рассчитываются коды частоты, коды времени обработки участков разгона и торможения, удовлетворяющие всем ограничениям. В этот период, который определяется быстродействием ЭВМ, возможно высвечивание на экране дисплея текста, например ОШИБКА 8181. Согласно кодовым таблицам, имеющимся при данной системе, код ошибки 8181 означает, например, «перемещение по координате X больше допустимого на станке». В некоторых комплексах ошибка на экране дисплея высвечивается полным текстом.

Работа оператора возобновляется после получения от ЭВМ запроса БУДУТ ИЗМЕНЕНИЯ?, причем далее идет перечень вопросов, на которые требуется отвечать:

НЕОБХОДИМА СМЕНА ИНСТРУМЕНТА?

Если ответ ДА, то на экран дисплея выдается следующий запрос:

ВВЕСТИ НОМЕР ИНСТРУМЕНТА и т. д.

Если ответ НЕТ, то далее следуют запросы:

НЕОБХОДИМА ЛИ СМЕНА ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ?
НУЖЕН ЛИ УСЛОВНЫЙ ОСТАНОВ?
НУЖНА ЛИ ОХЛАЖДАЮЩАЯСЯ ЖИДКОСТЬ?
НУЖНА ЛИ ОТМЕНА КОРРЕКЦИИ?
ВВЕДИ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПО ОСЯМ
. . .
КОНЕЦ ПРОГРАММЫ?

[1] Номера кодов в примере даны условно.

После получения ответа ДА на последний запрос ЭВМ на экране дисплея высвечиваются завершающие запросы:

ВЫВОД УП НА ПЕРФОРАТОР?

ВЫВОД УП НА ПЕЧАТАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО?

ВЫВОД УП НА ГРАФОПОСТРОИТЕЛЬ?

ВЫВОД УП НА ГРА[illegible]НИЙ ДИСПЛЕЙ?

ВВОД ПРОГРАММЫ В РАБОЧУЮ ПАМЯТЬ ЭВМ?

По каждому запросу на экране высвечиваются коды, обозначающие ДА, НЕТ. Например, после запроса ВЫВОД УП НА ПЕРФОРАТОР? тут же на экране высвечивается ДА — D4 или НЕТ — NN 00.

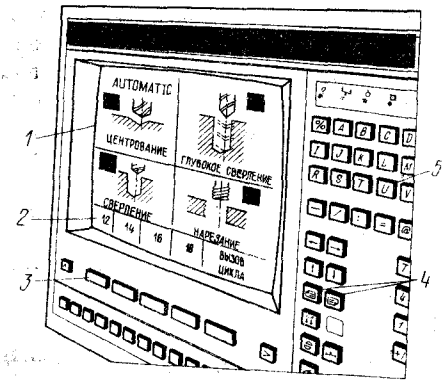


Рис. 9.23. Схема пульта УЧПУ модели SINUMERIK (класс CNC):

1 — дисплей; *2* — поле дисплея для функциональных клавиш; *3* — многофункциональные (виртуальные) клавиши; *4* — кнопки смены страниц меню; *5* — клавиатура системы ввода

Режим диалога по принципу «меню». Режим диалога по принципу «меню» предполагает широкое использование при подготовке (отладке) УП стандартных (типовых) подпрограмм, находящихся в памяти УЧПУ. При выборе в рассматриваемом режиме кнопкой «меню» (MENU) на пульте УЧПУ (рис. 9.23) на экран дисплея вызывается определенная страница, например типовых схем обработки отверстий. При этом на поле дисплея внизу над функциональными клавишами загораются номера вызванных подпрограмм (рис. 9.24).

В зависимости от требований обрабатываемой детали оператор выбирает схему, например схему обработки отверстий по линии под углом (подпрограмма 02 на рис. 9.24, *а*). Для вызова этой подпрограммы (на экран дисплея) следует нажать на ту функциональную кла-

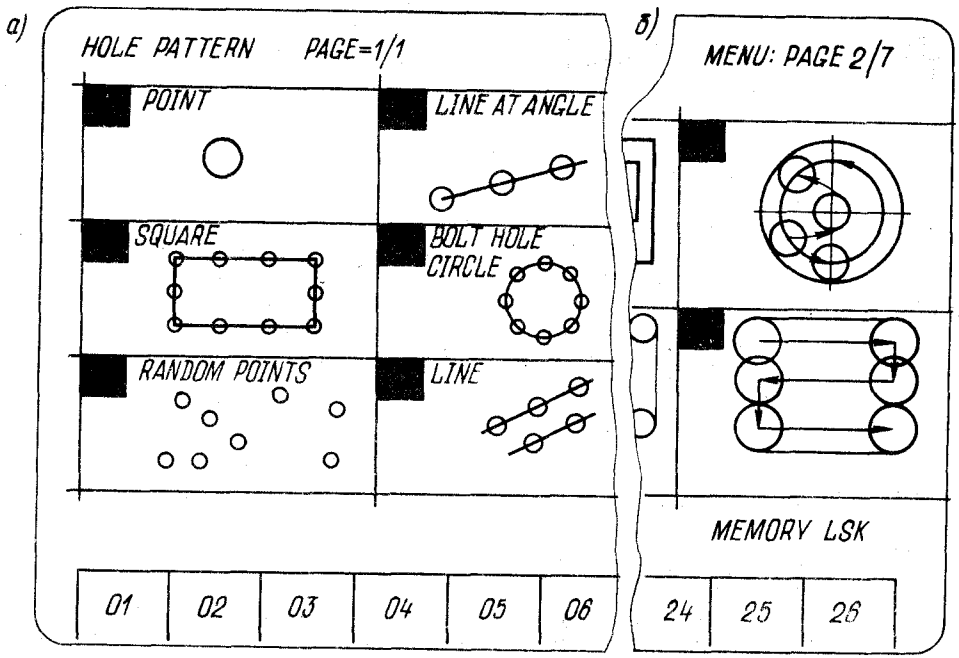


Рис. 9.24. Вид экрана дисплея со схемным набором подпрограмм («меню»): *а* **— операций обработки отверстий;** *б* **— фрезерных операций**

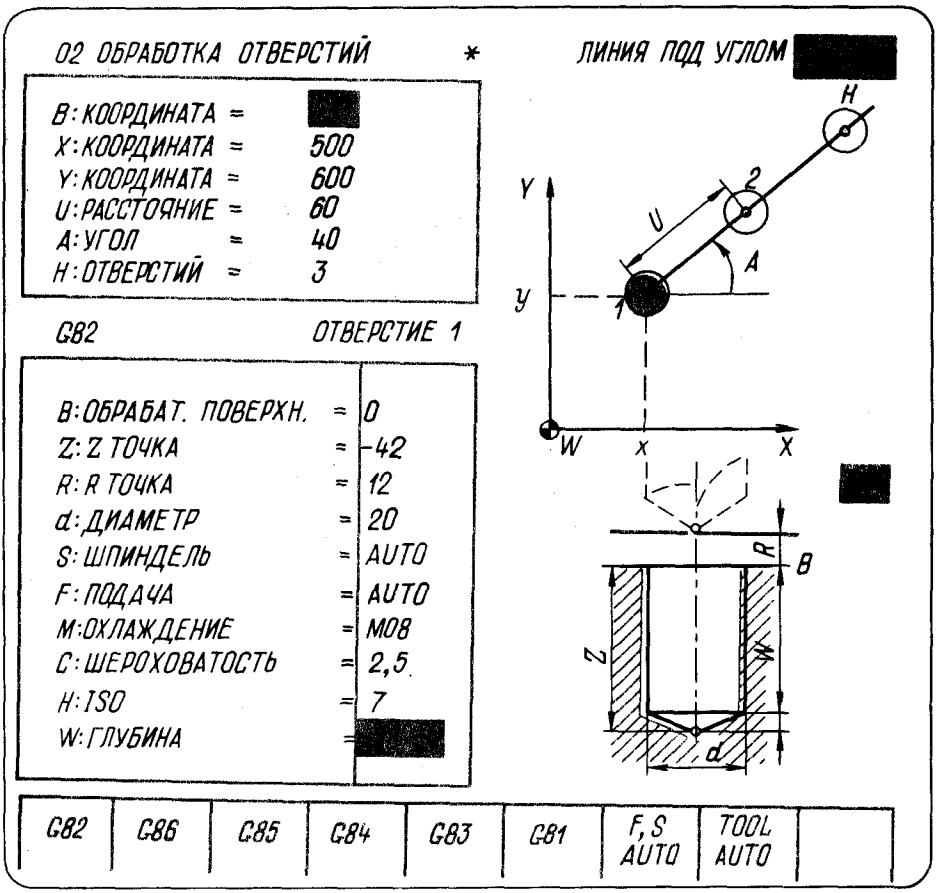


Рис. 9.25. Вид экрана дисплея с подпрограммой

вишу под экраном дисплея, над которой высвечивается цифра 02. Нажатие клавиши приведет к тому, что на экран дисплея будет выведена подпрограмма 02 (рис. 9.25) со всеми данными, которые необходимы, чтобы ввести ее в составляемую УП. Перечень данных высвечивается в левом верхнем углу экрана дисплея, а схема обработки — в центре или справа. Взятая для примера схема предполагает ввод координат начальной точки 1 (X, Y) в системе координат детали, угла A, расстояния между отверстиями U и количества отверстий H. Все эти данные, т. е. адрес и число, вводятся с клавиатуры пульта (см. рис. 9.23). Например, набрав цифры 02: 2000 — шифр подпрограммы, далее вводят кнопками X500, Y600, U60, A40, H5. Все эти данные выводятся на экран дисплея после знаков = (равенство) в перечне ввода. Ошибки при введении могут быть тотчас же исправлены.

После ввода данных по схеме обработки на экран дисплея вызывается схема постоянного цикла, например G82. Вызов осуществляется соответствующей функциональной клавишей. Вызванный на экран цикл представляется схемой и перечнем данных для его реализации: B (положение плоскости XY), R (недоход инструмента), Z (глубина рабочего хода), d (диаметр отверстия). Могут быть указаны код материала (MC), шероховатость поверхности (C), точность отверстия (H : ISO) и др.

После ввода всех необходимых данных нажатием клавиш AUTO (автомат) системе дается задание на автоматизированный подбор инструмента (инстру-

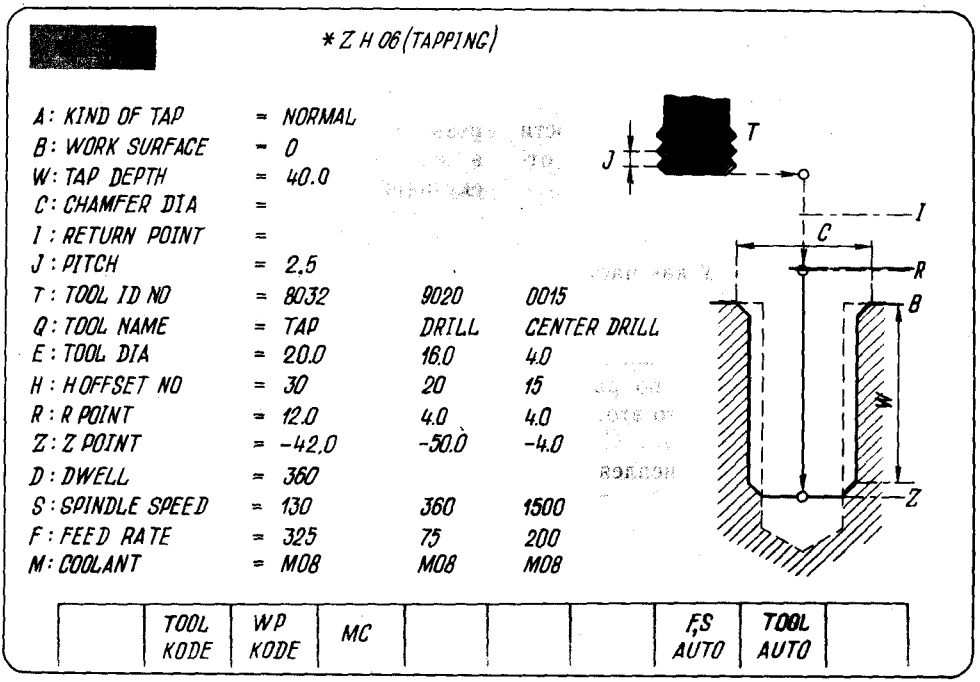


Рис. 9.26. Вид экрана дисплея с данными инструмента и режимов резания

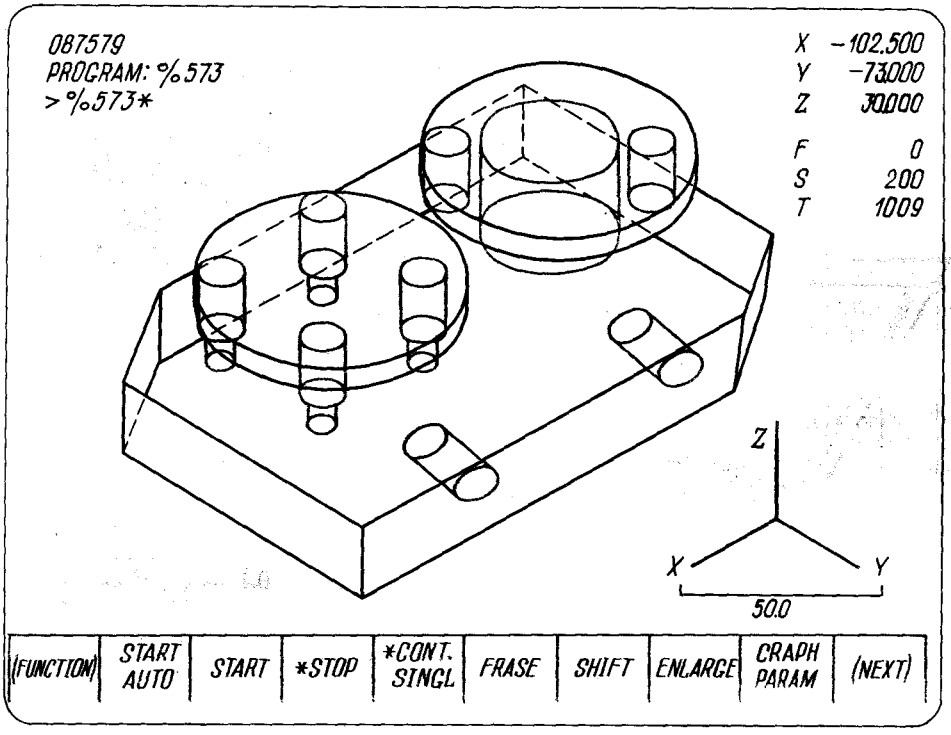


Рис. 9.27. Аксонометрическая (синтезированная) схема обрабатываемой детали

ментов) и режимов их работы. При желании оператор может проверить назначенную системой группу инструментов и режимы их работы, вызвав на экран дисплея (рис. 9.26). При необходимости все выведенные данные могут быть откорректированы.

При согласии оператора намеченная схема обработки отверстия 1 (см. рис. 9.25) вводится в память УЧПУ как часть УП. Далее решается аналогично цикл обработки отверстий 2, 3 и т. д. Если обработка всех отверстий осуществляется по единому циклу (например, по рассмотренному для отверстия 1), то это указывается (вводится) в УП.

Аналогично на экран дисплея могут быть вызваны схемы (подпрограммы) фрезерных операций (см. рис. 9.24, *б*), расточных и т. п. Работая в режиме диалога с выбором схем по «меню», можно запрограммировать обработку достаточно сложной детали. Некоторые УЧПУ в процессе программирования позволяют осуществлять графический синтез общей детали по отдельным вводимым схемам и циклам, накладывая эти схемы и циклы друг на друга в соответствующих плоскостях.

Например, типовые схемы обработки отверстий могут быть размещены (в соответствующем масштабе) на обрабатываемой плоскости с заданным контуром. Таких плоских схем можно синтезировать по количеству обрабатываемых у реальной детали. Далее система УЧПУ позволяет объединить все плоские схемы в единую объемную — аксонометрическую (рис. 9.27), по которой можно проверить правильность синтеза и похожести сформированного на экране дисплея рисунка реальному чертежу (детали). При графическом синтезе схемы и рисунки особенно четко просматриваются и хорошо контролируются, если графика и буквенно-числовая информация выводятся на экран дисплея в разноцветном изображении.

Возможности УЧПУ в отражении графической части программы часто используют в процессе работы станка. Устройству ЧПУ задают режим воспроизведения на экране дисплея плоского или трехмерного изображения реальной траектории движения центра инструмента, т. е. в процессе обработки детали по программе на дисплее непрерывно «рисуется» траектория центра инструмента по действительным данным его положения относительно элементов станка и детали. Все это позволяет вести непрерывный контроль процесса обработки детали.

ГЛАВА 10

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

10.1. ПОСТРОЕНИЕ САП

Применение ЭВМ для автоматизации программирования обработки на станках с ЧПУ требует разработки специального программно-математического обеспечения (ПМО), реализующего комплекс алгоритмов для решения геометрических и технологических задач подготовки УП и проблемно-ориентированный язык для записи и ввода в ЭВМ исходной информации. Это ПМО принято называть системой автоматизации программирования (САП) для станков с ЧПУ. Схема построения САП показана на рис. 10.1.

Классификация САП. Системы автоматизации программирования различны по назначению, области применения, уровню автоматизации, форме записи исходной информации, параметрам используемых ЭВМ и режимов их работы

при подготовке УП. Их можно классифицировать по разным признакам.

По *наличию в системе средств и возможностей автоматизации подготовки ТП*: с автоматизацией технологии; без автоматизации технологии.

По *назначению*: специализированные; универсальные, комплексные. Специализированные САП разрабатывают для отдельных классов деталей, уникальных станков или автоматизированных участков. Универсальные САП предназначены для различных деталей, изготовляемых на станках с ЧПУ отдельных технологических групп. Комплексные САП объединяют ряд специализированных и универсальных систем для различных технологических групп станков с ЧПУ на базе единого входного языка и общих блоков САП для решения идентичных задач.

По *области применения*: для обработки плоскостей, параллельных координатным плоскостям; 2,5-координатные для фрезерной обработки; для обработки на электроэрозионных станках и газорезательных машинах; для обработки контуров и поверхностей на многокоординатных фрезерных станках; для обработки тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилями на токарных станках; для обработки отверстий на сверлильных станках с позиционным управлением; для комплексной обработки корпусных деталей на сверлильно-расточных станках и многоцелевых станках.

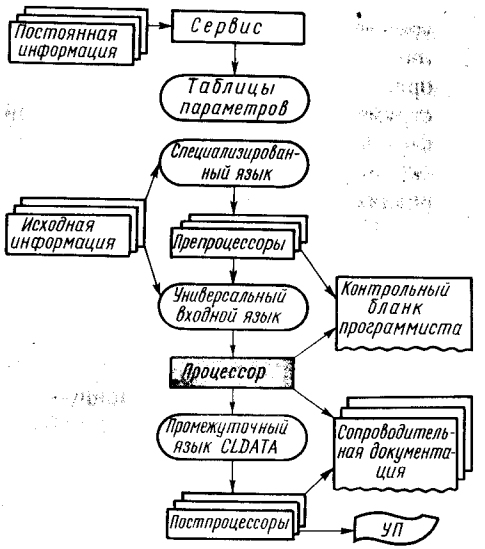


Рис. 10.1. Типовая структурная схема САП

По *уровню автоматизации*: САП низкого, среднего и высокого уровней. Уровень автоматизации САП характеризуется решаемыми на ЭВМ задачами подготовки УП (рис. 10.2). САП низкого

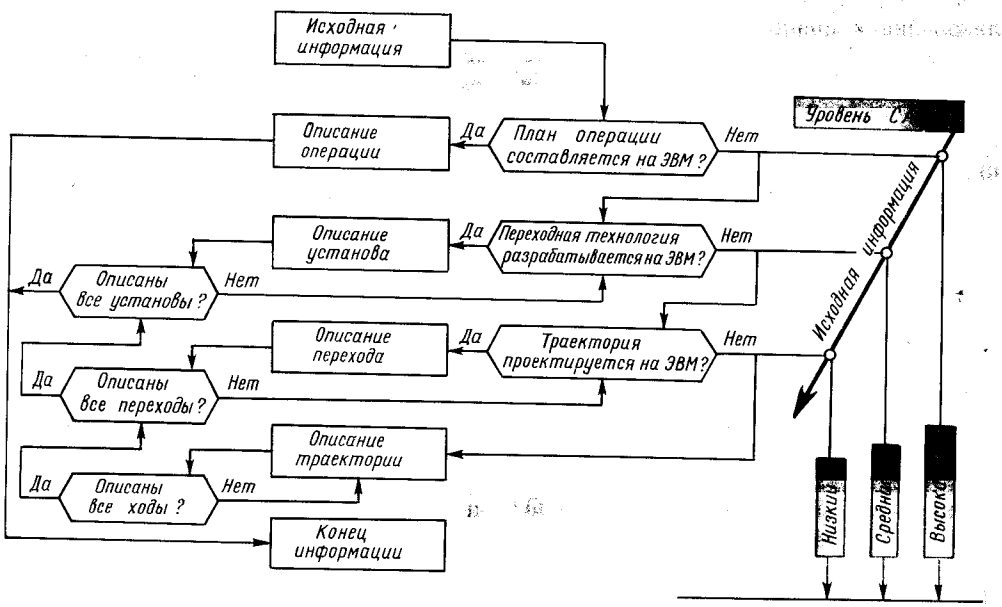


Рис. 10.2. Уровни САП

уровня решают на ЭВМ в основном геометрические задачи (определение координат опорных точек траектории инструмента по заданным в исходной информации построительным геометрическим характеристикам ее участков) и реализуют подробные указания о составе УП. САП среднего уровня позволяют решать на ЭВМ технологические задачи выбора последовательности проходов по заданным обобщенным технологическим схемам обработки отдельных участков заготовки. В САП высокого уровня предусматривается проектирование на ЭВМ плана операции, инструментальной наладки и последовательности переходов по описанию детали и условий ее изготовления.

По *форме записи исходной информации*: с табличным входом; языковые. Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки, при оценке которых необходимо учитывать трудоемкость подготовки исходной информации, назначение и область применения САП, а также сложность разработки транслятора — блока вычислительных программ для преобразования записанной на входном языке САП исходной информации в канонический вид, удобный для переработки информации в ЭВМ.

Табличная запись данных весьма лаконична и при использовании специальных бланков довольно наглядна. Эта форма записи принята в основном в специализированных САП, узкая ориентация которых позволяет использовать при задании исходной информации характерные особенности конфигурации деталей конкретных классов.

Словарная запись данных свободным текстом служит для задания групп параметров обработки и указаний ЭВМ в виде произвольной последовательности фраз, структура которых подчиняется синтаксису принятого проблемно-ориентированного входного языка. Эта форма записи исходной информации позволяет оперировать широким набором понятий, используемых в универсальных САП. Недостатками записи свободным текстом являются большое число правил, которые необходимо усвоить технологу-программисту для записи различных по структуре фраз, громоздкость записи и сложность транслятора для переработки текста исходной информации. Для уменьшения объема записи применяют аббревиатуры и сокращенные обозначения, которые часто превращают текст исходной информации в трудно воспринимаемую зрительно последовательность букв, знаков и чисел, что усложняет ее контроль. Для сокращения объема записи в ряде случаев гораздо эффективнее применять специальные бланки, графы которых отображают структуру фраз данного входного языка. Применение таких бланков позволяет исключить в тексте названия наиболее часто используемых параметров и упорядочить запись. Упорядоченная словарная запись короче и нагляднее свободного текста и уменьшает вероятность пропуска необходимых данных в процессе подготовки исходной информации.

Краткая характеристика ЭВМ, используемых для САП. Параметры ЭВМ (быстродействие, объем оперативной памяти и состав внешних устройств) существенно влияют на технико-экономические показатели разработки и промышленного применения САП. Разработка САП велась применительно ко всем поколениям ЭВМ, различающимся как указанными параметрами, так и элементной базой. Широкие технические возможности и развитое ПМО современных вычислительных комплексов обеспечили дальнейшее совершенствование САП.

Для целей программирования особенно удобны автоматизированные рабочие места (АРМ), построенные на базе СМ ЭВМ (см. гл. 11). Снабженные определенным набором периферийных устройств (таких, как дисплей, графический интеллектуальный терминал, планшетный графопостроитель, планшетное устройство ввода графической информации, печатающее устройство, перфоратор, фотосчитыватель для перфолент, накопители на магнитных дисках), АРМ позволяют решать сложные задачи подготовки УП на базе САП высокого уровня. В ряде случаев эти задачи могут быть четко согласованы с комплексом задач, решаемых в единой автоматизированной системе ТПП предприятия.

Наряду с большими универсальными ЭВМ, на которых ведется промышленная эксплуатация САП, получают распространение малые ЭВМ с редакциями САП для подготовки и редактирования УП непосредственно на участках станков с ЧПУ. Оснащение станка индивидуальной ЭВМ позволяет усложнить функции УЧПУ, обеспечив диагностику станка, редактирование УП и программирование циклов обработки непосредственно на рабочем месте. Подобные УЧПУ, ЭВМ которых снабжены накопителями на магнитных дисках и другими внешними устройствами, обеспечивают все возможности специализированной САП, приспособленной для ведения обработки деталей на данном конкретном станке. В памяти ЭВМ УЧПУ создается определенная база технологических данных, позволяющих учитывать в наибольшем объеме как технологические возможности, так и особенности применения каждого станка, использовать введенные в память ЭВМ параметры инструментов и крепежных приспособлений, библиотеку типовых схем обработки и постоянные характеристики станка, необходимые для расчета оптимальных траекторий инструментов и режимов резания, корректировки процесса и т. д.

Автоматизированное программирование непосредственно на станке изменяет и содержание УП. Программой будет служить набор (с клавиатуры дисплея УЧПУ) обобщенных инструкций по обработке участков заготовки или синтезированный на экране дисплея УЧПУ операционный чертеж изготовляемой детали.

Режимы подготовки УП. Автоматизированную подготовку УП можно проводить в различных режимах в зависимости от организации работы ЭВМ, состава внешних устройств и возможностей конкретной САП.

Организация работы ЭВМ с помощью операционной системы сводится к двум основным режимам: групповому и диалоговому. Групповой режим предусматривает последовательное выполнение на ЭВМ группы заданий по мере того, как высвобождаются ее ресурсы. Диалоговый режим обеспечивает непрерывную эффективную связь с ЭВМ одного или нескольких пользователей, каждый запрос которых немедленно вызывает ее ответное действие.

Этапы процесса подготовки УП на ЭВМ в *групповом режиме* показаны на рис. 10.3, *а*. На первых трех этапах этого процесса уточняют условия обработки, на чертеже детали обозначают геометрические элементы (I), исходную информацию записывают в бланки на входном языке САП (II) и переносят на перфоленту, перфокарту (III) или вводят непосредственно с экрана дисплея. Из исходной информации, подготовленной для программирования изготовления нескольких деталей, комплектуют задание ЭВМ. В процессе расчета управляющей программы на ЭВМ (IV) работает диагностическая программа САП, которая при обнаружении ошибок печатает сообщение о характере и месте нахождения их в тексте исходной информации. Если ошибок нет, то текущая УП рассчитывается до конца и выдается на перфоленте с сопроводительной документацией. После этого, как и после распечатки ошибок, начинается расчет следующей УП по исходной информации из комплекта задания ЭВМ. При наличии подключенного к ЭВМ графопостроителя в состав сопроводительной документации входит график траектории вершины инструмента в системе координат детали. Этот график более удобен для контроля траектории (V), чем график, воспроизводящий на автономном графопостроителе закодированные в УП движения рабочих органов станка. Для исправления ошибок, обнаруженных на этапах расчета УП и контроля траектории, технолог-программист корректирует исходную информацию (VI) с помощью программы системного редактора и организует повторный расчет УП на ЭВМ. Последующий контроль УП на станке (VII) также может привести к необходимости корректировки исходной информации и повторному расчету УП на ЭВМ, если редактирование УП на станке с ЧПУ невозможно или менее эффективно, чем с помощью САП.

Подготовка УП на ЭВМ в *диалоговом режиме* может происходить по различ-

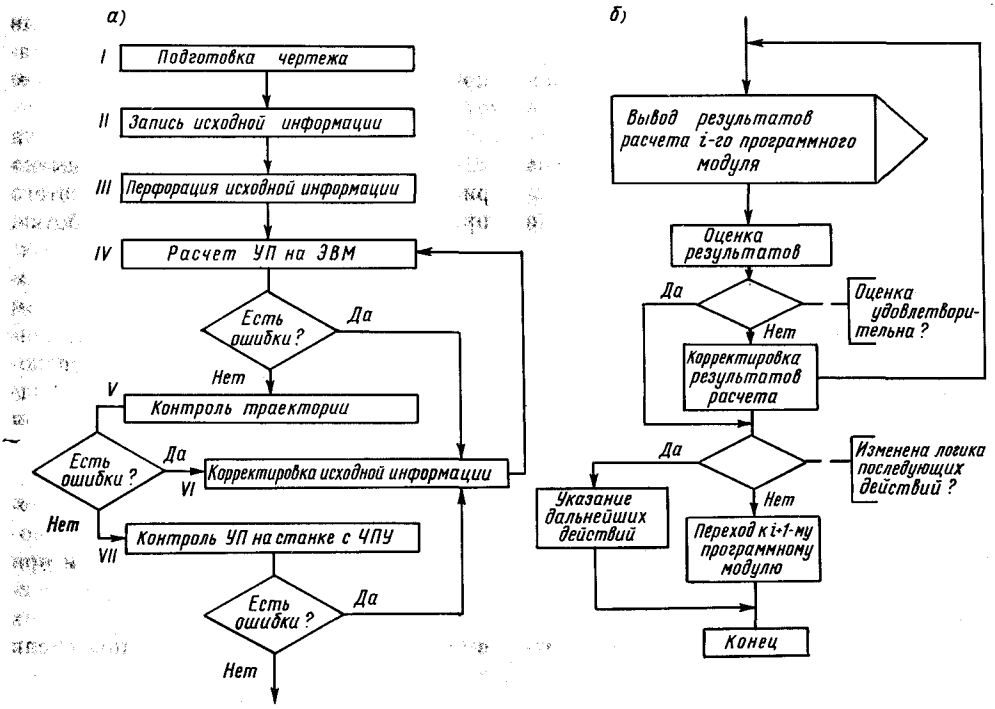


Рис. 10.3. Схемы подготовки УП на ЭВМ: *а* — **в групповом режиме;** *б* — **в диалоговом режиме с использованием диалоговых прерываний видов «оценка» и «корректировка»**

ным схемам, что во многом определяется возможностями САП и составом внешних устройств ЭВМ.

Удобно применять в диалоговом режиме дисплеи, позволяющие вводить графическую и текстовую информацию с помощью клавиатуры и светового пера. При этом отсутствует четкое разграничение между рассмотренными этапами процесса подготовки УП, отпадает необходимость в записи исходной информации на бланки и ее перфорации. Для того чтобы запрограммировать изготовление детали, технолог-программист, пользуясь функциональной клавиатурой графического дисплея (и его световым пером) строит на экране контур детали, оперативно исправляя все допущенные ошибки. Далее, задавая технологические инструкции, он получает на экране график рассчитанной на ЭВМ траектории инструмента, что дает возможность визуально проконтролировать расчет и при необходимости внести в ранее заданные инструкции соответствующие коррективы.

Удобен и успешно применяется вариант диалогового режима с использованием алфавитно-цифровых дисплеев и внешних графопостроителей и графических дисплеев, а также дисплеев в совмещенной алфавитно-цифровой и графической индикацией. В таком режиме технолог-программист по запросам ЭВМ набирает на клавиатуре дисплея или электрической пишущей машинке (ЭПМ) текст исходной информации на языке САП и параллельно с вводом информации визуально контролирует высвеченные на экране или вычерченные графопостроителем контур детали и траектории инструмента, оперативно исправляя ошибочные участки текста. Схема отработки информации может быть осуществлена в режиме диалоговых прерываний видов «оценка» и «корректировка» (рис. 10.3, *б*).

Структура и основные блоки САП. С определенной точки зрения формирование УП системой автоматизации программирования можно рассматривать как процесс переработки информации.

При этом исходная программа обработки детали является для САП входной, а УП — выходной информацией.

Обычно УП в САП формируется в два этапа. На первом этапе процессор ЭВМ перерабатывает введенную информацию с помощью программного блока САП, представляющего собой элемент ПМО. Этот программный блок, так же как и вычислительный блок ЭВМ, называется процессором. Он позволяет выполнять на ЭВМ комплекс геометрических, а в некоторых системах и технологических расчетов, решая задачу безотносительно к конкретному сочетанию система управления — станок.

Результатом работы процессора является полностью рассчитанная траектория движения инструмента. Эти данные вместе со сведениями о технологических режимах обработки процессор выводит на внешний носитель ЭВМ — диск или магнитную ленту.

Логическая и физическая структура таких данных, называемых промежуточными, может быть различна для разных САП и ЭВМ. Существуют, однако, рекомендации ИСО по логической структуре представления промежуточных данных. Эта форма представления данных носит название CLDATA (от английского выражения CATTER Location Data — данные о положении инструмента) и представляет собой определенный вид промежуточной информации «процессор — постпроцессор» на определенном промежуточном языке.

В общем случае процессор САП состоит из трех последовательно работающих частей: блока трансляции, геометрического блока и блока формирования CLDATA.

Процессор системы, в функции которой входит автоматизация построения технологического процесса обработки детали, содержит также технологический блок.

Блок трансляции, называемый часто также препроцессором или блоком ввода и декодирования, выполняет следующие функции:

1) считывание исходной программы обработки детали с внешнего носителя: перфоленты или перфокарты; возможен ввод информации и с клавиатуры дисплея;

2) вывод введенной программы обработки детали на печать или на экран дисплея;

3) синтаксический анализ операторов входного языка исходной программы и вывод (печать) сообщений об ошибках (при их наличии);

4) преобразование информации, записанной в исходной программе, из символьной формы во внутримашинное представление. Числа переводятся из символьной в действительную или целую форму, ключевые слова заменяются соответствующими кодами, данные о геометрических элементах контура и о направлении движения инструмента организуются в специальные массивы. Целью этих действий является подготовка данных для работы других блоков процессора.

Геометрический блок процессора решает разнообразный круг задач, связанных с построением траектории движения инструмента:

1) приведение описания всех заданных геометрических элементов к канонической форме;

2) нахождение точек и линий пересечения различных геометрических элементов;

3) аппроксимация различных кривых с заданным допуском;

4) аппроксимация таблично заданных функций;

5) диагностика геометрических ошибок (пример такой ошибки — попытка определить точку, являющуюся результатом касания прямой и окружности, которые не имеют общих точек);

6) построение эквидистантного контура с учетом заданного направления и радиуса инструмента.

Технологический блок (при его наличии) наиболее зависим от области применения САП, так как различные классы деталей и разные виды обработки требуют своей технологии. В общем случае технологический блок автоматически разделяет область, которая должна быть обработана, на ряд последовательных проходов, определяет последовательность отдельных переходов, рас-

считывает оптимальные режимы резания. При этом учитывается ряд ограничений, связанных со стойкостью инструмента, характеристиками обрабатываемого материала, мощностью привода шпинделя станка, процессом образования стружки и т. д. Результатом оптимизации обычно являются вычисленные значения подач и скоростей резания, глубина обработки, а в ряде случаев и оптимальные углы заточки инструмента.

Блок формирования CLDATA использует информацию, подготовленную к моменту начала его работы другими блоками процессора, и формирует данные для работы постпроцессора. Данные CLDATA, выведенные на внешний носитель ЭВМ, оттуда впоследствии считываются постпроцессором. При наличии специального запроса в тексте исходной программы данные CLDATA выводятся или на печать, или на экран дисплея.

Результаты работы процессора обрабатываются другим программным блоком САП — постпроцессором, который непосредственно формирует УП. Постпроцессор реализует второй этап переработки информации и ориентирован, в отличие от процессора, на конкретное сочетание система управления — станок. Вызов того или иного постпроцессора осуществляется автоматически по указанию, данному технологом-программистом в тексте исходной программы. Обычно САП содержат набор постпроцессоров, которые обеспечивают формирование УП для определенного парка оборудования с ЧПУ.

Преимущества двухэтапного построения работы САП очевидны. Технолог-программист на базе одной и той же исходной информации на одном конкретном языке САП, имея данные CLDATA и используя различные постпроцессоры, может получить УП для различных станков и моделей УЧПУ. Кроме того, для включения в состав оборудования, обслуживаемого на базе САП, нового сочетания система управления — станок не требуется исправлять какие-либо блоки САП. Достаточно разработать постпроцессор и подключить его к САП.

Функции, выполняемые постпроцессором, весьма многообразны и выходят далеко за рамки простого кодирования информации. К типовым функциям постпроцессора можно отнести следующие:

1) считывание данных, подготовленных процессором;

2) перевод их в систему координат станка;

3) проверка по ограничениям станка;

4) формирование команд на перемещение с учетом цены импульса СЧПУ;

5) формирование команд, обеспечивающих цикл смены инструмента;

6) кодирование и выдача в кадр значений подач и скоростей шпинделя;

7) выдача команд на включение охлаждения, команд зажимов-разжимов и др.;

8) назначение подач с учетом ограничений, связанных с характером движения, допустимым диапазоном подач станка, особенностями реализации режимов разгона-торможения в УЧПУ;

9) формирование команд, обеспечивающих коррекцию с помощью корректоров системы ЧПУ;

10) развертывание операторов ЦИКЛ;

11) выдача управляющей перфоленты и листинга (распечатки) управляющей программы;

12) диагностика ошибок;

13) выполнение ряда сервисных функций: вывод траектории движения инструмента на графопостроитель или графический дисплей; подсчет времени обработки детали на станке, длины перфоленты, продолжительности работы отдельных инструментов и другие сведения, необходимые для нормирования и организации работы станка с ЧПУ.

В некоторых случаях совместно с постпроцессором организуется работа с программным блоком «редактор», позволяющим редактировать УП, выведенную на экран дисплея.

Типовая структурная схема САП показана на рис. 10.1. Наряду с препроцессорами, процессором и постпроцессорами она содержит блок «сервис», перерабатывающий постоянную информацию о станках, инструментах и материалах. Постоянная информация подготовляется в анкетных формах и вводится в ЭВМ. Блок «сервис» систематизи-

рует и записывает эту информацию в долговременную память ЭВМ в виде таблиц параметров, обращение к которым ведется по указываемым в исходной информации названиям станков, инструментов и материалов заготовки.

10.2. ЯЗЫКИ САП

Исходная информация для большинства САП записывается на проблемно-ориентированных машинных языках. Отдельные подсистемы комплексных САП используют подмножества единых языков.

Машинный язык должен удовлетворять ряду требований. Одно из главных — простота записи. Данные с чертежей и другой технологической документации должны переноситься в текст исходной информации без существенных пересчетов размеров и изменения обозначений. Язык должен быть таким, чтобы технолог-программист мог использовать ЭВМ при ограниченном объеме специальных значений в области вычислительной техники. К языку предъявляется и чисто техническое требование: информация должна записываться символами, кодирование которых предусмотрено стандартными устройствами подготовки данных и клавиатурой терминальных устройств ЭВМ.

Содержание исходной информации зависит от уровня автоматизации программирования (см. рис. 10.2). При программировании на высоком уровне на ЭВМ составляется план операции и разрабатывается попереходная технология. Для этого в исходной информации описывается вся деталь или ее участки, обрабатываемые в отдельных установках, и условия обработки. На среднем уровне автоматизации на ЭВМ по описанию переходов и заданным обобщенным схемам обработки определяются последовательности проходов. На низком уровне на основании подробно описанных проходов на ЭВМ рассчитываются траектории инструментов. Состав исходной информации определяет технолог-программист исходя из возможностей конкретной САП. При этом для программирования изготовления одной детали могут быть реализованы различные уровни автоматизации программирования.

Входной язык, промежуточный язык «процессор — простпроцессор» и язык кодирования УП являются исходной, промежуточной и выходной формами представления информации при ее переработке в САП. Эти языки находятся на различных стадиях унификации. Так, язык кодирования УП — код ИСО — широко распространен и принят в качестве единого кода для отечественных станков с ЧПУ. Промежуточный язык «процессор — постпроцессор» используется в большинстве зарубежных и отечественных САП в редакции, рекомендованной ИСО. Комитет ИСО подготовил предложения и по входному языку процессора, в котором обобщен опыт разработки входных языков многих САП.

Входной язык

Запись на входном языке ИСО ведется аббревиатурами понятий на английском языке. Входной язык ИСО ориентирован на средний и низкий уровни автоматизации программирования, причем запись исходной информации на низком уровне ведется в терминах промежуточного языка «процессор — постпроцессор».

Входной язык ИСО с некоторыми изменениями и дополнениями принят в качестве входного универсального языка единой системы машинного программирования, разрабатываемой странами — членами СЭВ. В частности, входной язык этой системы предусматривает словарь понятий на английском и русском языках.

Входные языки большинства уже разработанных зарубежных и отечественных САП имеют много общего с языком ИСО в синтаксисе и семантике. Различаются входные языки в основном наборами и обозначениями используемых понятий,

что обусловлено решаемыми задачами и рациональными базами языков.

Синтаксис и семантика входного языка. Синтаксис входного языка определяет формальные правила записи исходной информации, а семантика — смысловое значение его элементов. Элементами входного языка являются фразы, слова и символы.

Фразой записываются определение, указание, арифметическое выражение и обозначение части текста. Правила записи фраз должны обеспечивать однозначность их толкования. Фраза состоит из последовательности слов и знаков.

Словами обозначаются понятия и задаются значения параметров. Различают главные слова, модификаторы, нормализованные обозначения, идентификаторы, маркеры, литералы и числа.

Главные слова определяют типы фраз или команды для выполнения функций, записываемых в виде указаний.

Модификаторы задают типы параметров или признаки для выбора одного из нескольких возможных решений.

Главные слова и модификаторы образуют словарь понятий языка.

Нормализованные обозначения — это сокращения (от одной до шести букв) наиболее часто встречающихся понятий языка. Нормализованные обозначения могут входить непосредственно в словарь понятий языка или определяться в тексте исходной информации как синонимы словарных понятий.

Идентификаторы представляют собой уникальные имена, используемые для обозначения частей текста при ссылках на них во фразах.

Идентификаторы, образованные из нормализованных обозначений и номеров, принято называть маркерами.

Литералами считаются любые текстовые конструкции из произвольных комбинаций символов (литер). Литеры служат для записи различных наименований и примечаний, которые переносятся в сопроводительную документацию УП без переработки их в процессоре.

Значения параметров записываются положительными, отрицательными, целыми и дробными *числами* десятичной системы счисления. При записи дробей целая часть отделяется от дробной десятичной точкой. Числа без знака считаются положительными. Для удобства записи значений некоторых параметров (диаметров, углов и т. п.) применяют так называемые именованные числа, представляющие собой комбинации букв и цифр.

Символы для записи текста исходной информации — буквы, цифры и знаки — выбираются из набора, предусмотренного для представления алфавитно-цифровой информации на входах ЭВМ. Во входных языках используются прописные буквы русского и латинского алфавитов, арабские цифры и знаки — точка, запятая, двоеточие, плюс, минус, черта дроби, равно, левая и правая круглые скобки, звездочка, точка с запятой, кавычки, апостроф, знак денежной единицы, стрелка вверх и пробел.

Структура фраз входного языка ИСО построена по принципу: ГЛАВНОЕ СЛОВО/ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ. В частном случае фраза может состоять из одного главного слова. Вспомогательная часть фразы содержит или комбинацию нормализованных обозначений, модификаторов и значений параметров, или литералы.

Фраза указанного типа может быть обозначена идентификатором: ИДЕНТИФИКАТОР=ГЛАВНОЕ СЛОВО/ВСПОМОГАТЕЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

Основные правила записи входного языка:

1) главное слово отделяется от вспомогательной части фразы наклонной чертой;

2) идентификатор отделяется от обозначаемой им фразы знаком равенства;

3) слова во вспомогательной части фразы разделяются запятыми;

4) значения параметров обозначаются строчными латинскими буквами;

5) нормализованные обозначения, модификаторы и значения параметров, которые могут отсутствовать во вспомогательной части фразы, заключаются в квадратные скобки;

6) однотипные повторяющиеся параметры заключаются в квадратные скобки с указанием минимального и макси-

мального числа повторений снизу и сверху перед открывающейся скобкой;

7) варианты последовательностей параметров указываются один под другим или (для большей наглядности) перечисляются с повторением главного слова.

Содержание исходной информации. Записываемый на входном языке текст исходной информации содержит заголовок, общие данные, геометрические определения, технологические описания и примечания.

В *заголовке* указываются наименования детали, номер УП, заказчик, исполнитель и дата. Эта информация обычно записывается литералами полным текстом и после ввода в ЭВМ воспроизводится в сопроводительной документации для идентификации УП.

В *общих данных* записываются модель станка с ЧПУ, крепежная и инструментальная оснастка, материал заготовки и другие сведения об условиях обработки, используемые в конкретной САП. Для большинства общих данных существуют общепринятые в машиностроении обозначения, которые вносятся в словарь понятий входного языка САП при переработке соответствующих анкет.

Геометрические определения служат для описания элементов контуров и поверхностей детали, заготовки и зон обработки, а также траектории инструмента.

Геометрические определения — информация для геометрического расчета: в различных САП они задаются в соответствии с правилами языка данной САП. В менее современных САП (например, САП-2) геометрические определения выделяются в отдельный массив входной информации. В современных САП геометрические определения, как правило, могут находиться в любом месте входной информации САП.

Описание геометрических элементов. Основными геометрическими элементами при описании двухкоординатной фрезерной и токарной обработки являются точки, прямые, окружности и образованные ими линии. Реже линии контуров деталей включают участки эллипсов, гипербол и других кривых второго порядка, а также таблично заданные кривые. При описании многокоординатной фрезерной обработки к геометрическим элементам помимо перечисленных относятся плоскости, сферы, цилиндры, конусы и другие поверхности второго порядка, а также таблично заданные поверхности. При программировании сверлильно-расточных операций геометрическими элементами служат отдельные точки и системы точек, определяющие положение центров обрабатываемых отверстий на плоскости.

Геометрические элементы задаются в исходной информации построительными геометрическими определениями (типами элементов и параметрами), аналитически (коэффициентами уравнений, описывающих эти элементы) и в табличной форме (координатами точек).

Язык САП позволяет записывать различные преобразования линий, например такие, как смещение, поворот, зеркальное отображение, изменение масштаба. Обычно эти преобразования указываются с помощью фраз, определяющих систему координат.

Принципиальных отличий в определении геометрических элементов для различных САП практически нет. Главные из них — внешние отличия в обозначениях и форме записи. В ряде САП для записи и обозначения элементов используют слова и аббревиатуры английского языка, а в ряде САП — слова и аббревиатуры русского языка. Поэтому в некоторых САП одинакового уровня перевод информации из одной системы в другую может состоять лишь из замены русского текста английским или, наоборот, английского русским.

Рассмотрим некоторые геометрические определения и их запись на языках различных САП (табл. 10.1 и 10.2). Например, определение точки декартовыми координатами:

на входном языке ИСО (САП АРТ)

```
P1=POINT/X1,Y1
```

или

```
P2=POINT/65.3,54.
```

на языке САПС

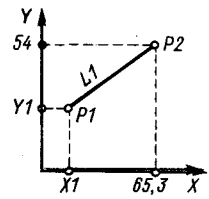
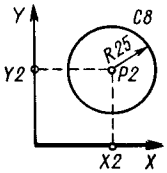
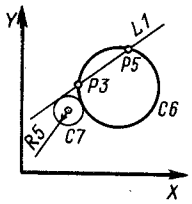
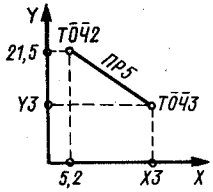
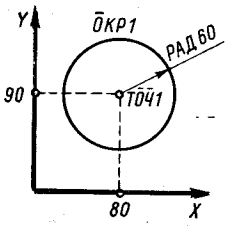
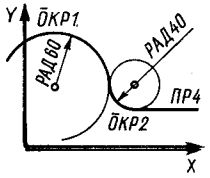
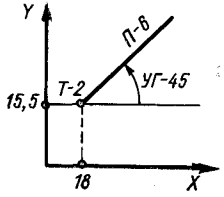
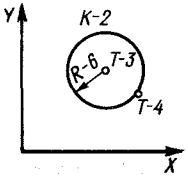
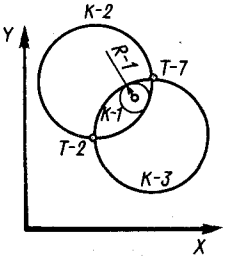
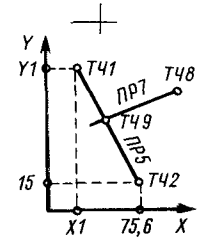
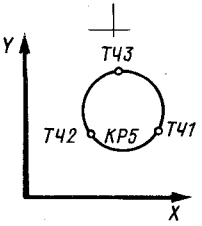
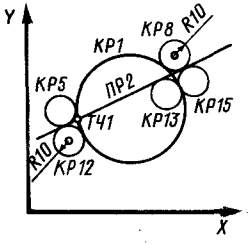
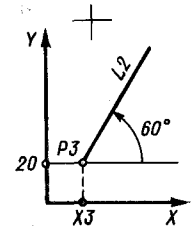
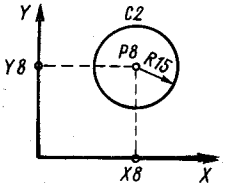
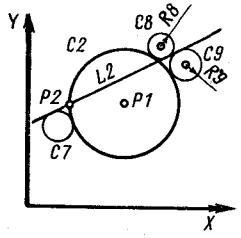
```
ТОЧ2:5.2,21.5
```

или

```
ТОЧ3:X3,Y3.     T-2(18/15.5)
```

и т. д.

Таблица 10.1. Геометрические элементы, подлежащие описанию на языках САП

САП	Геометрические элементы		
	Точки, прямые	Окружность	Пересечение окружностей и прямых, касание элементов
СПД ЧПУ (АРТ)			
САПС			
ТЕХНОЛОГ			
ТЕХТРАН			
СПД ЧПУ (АРТ)			

Все САП позволяют и косвенное задание геометрических элементов, например, точки, как пересечение прямых, окружностей, касание прямых и окружностей и т. д. (см. табл. 10.1). При косвенном задании используются различные модификаторы, но чаще всего модификаторы ХБ (XLARGE — X больше), УБ (У больше), ХМ (XSMALL — X меньше), УМ (У меньше), определяющие относительное положение того или иного элемента в системе координат. Так, точки пересечения прямой и окружности, окружности и окружности могут быть указаны в виде:

```
P5=POINT/XLARGE,INTOF,L1,C6
P3=POINT/YSMALL,INTOF,L1,C6
```

Или

```
ТЧ1=ПЕРЕСЕЧ,ПР2,КР1,ХМ.
```

и т. д.

Двойное касание окружностей (с окружностями или прямыми) задаются с использованием модификаторов «больше», «меньше», «справа», «слева», «вне», «внутри» и др. Например, в САП СПД ЧПУ определение окружности С9 имеет вид

```
C9=CIRCLE/YSMALL,L2,YLARGE,OUT,C2,
   RADIUS,9
```

Здесь модификатор YSMALL определяет положение окружности С9 относительно прямой L2, модификатор YLARGE положение С9 относительно окружности С2 и вне ее.

В САП ТЕХТРАН положение КР8 с радиусом 10 мм определяется записью

```
КР8=УБ,ПР2,ХБ,ВНЕ КР1,10.
```

Здесь запись УБ, ПР2 означает, что КР8 расположена выше ПР2; модификатор ХБ указывает на правое верхнее положение КР8 вдоль ПР2; модификатор ВНЕ уточняет положение КР8 относительно КР1. Цифра 10 означает радиус КР8 в мм.

Подобные записи возможны и во всех других САП (см. табл. 10.1).

Как видно из примеров, различия в записи геометрической информации носят в основном формальный характер и касаются лишь общей формы представлении данных для ЭВМ. Это и естественно, поскольку геометрические определения имеют единую математическую базу.

Определенным образом на языках САП могут быть записаны эллипсы, гипербо́лы, системы точек, а также сферы, векторы, цилиндры, конуса, аналитически и таблично заданные поверхности и т. д.

Описание геометрических элементов ведется с использованием целого ряда ключевых слов (табл. 10.3).

Языком САП может быть описан не только отдельный геометрический элемент, но и определенный контур или зона обработки. Линии контуров детали и зон определяются последовательностью геометрических элементов с указанием признаков, исключающих неоднозначность выбора точек пересечения соседних элементов. При этом определенный контур может быть выделен и замаркирован как отдельный (сложный) геометрический элемент. При записи начало и конец контура ограничивают точками. Направление контура задают понятиями «вперед», «назад», «влево», «вправо» и т. д. Например, линия замкнутого наружного контура детали в направлении его обхода против часовой стрелки, начиная от точки начала системы координат детали, описывается ранее определенными геометрическими элементами этой детали как единое целое. В дальнейшей информации на заданный контур можно ссылаться как на отдельный элемент при указании его идентификатора (маркера).

Так, в САП ТЕХТРАН замкнутый контур под условным номером КОН2 с началом в точке ТЧ1 может быть описан следующим образом (рис. 10.4):

```
КОНТУР КОН2=ИЗ ТЧ1,ХБ
ВПЕРЕД ПР1
ВПЕРЕД КР1
ВПЕРЕД ПР2
ВПЕРЕД КР2
ВПЕРЕД ПР3
ВПЕРЕД КР3
ВПЕРЕД ПР4
ВПЕРЕД КР4
ВПЕРЕД ПР1;КОНКОН
```

Таблица 10.2. Форма записи некоторых геометрических элементов на языках САП (см. табл. 10.1)

Геометрический элемент	Язык
	САПС
Точка на прямой в декартовой системе координат	ТОЧ2: 5.2, 21.5; ТОЧ3:X3,Y3
Точка пересечения двух прямых	ТОЧ9:ПРС,ПР5, ПР7
Точка пересечения прямой и окружности	ТОЧ3: ПРС,ПР1,ОКР6,УМ; ТОЧ5: ПРС,ПР1,ОКР6,УБ; ТОЧ1: ПРС,ПР2,ОКР1,ХМ; ТОЧ2: ПРС,ПР2,ОКР2,ХМ
Точка пересечения двух окружностей	ТОЧ2:ПРС,ОКР2,ОКР3,ХМ
Точка как центр окружности	ТОЧ1:ЦТР,ОКР1
Прямая, заданная двумя точками	ПР5: ЧЕРЕЗ,ТОЧ2,ТОЧ3
Прямая, заданная точкой и углом к оси X	ПР6: ЧЕРЕЗ,ТОЧ2,УГ,45
Прямая, заданная двумя касательными окружностями	ПР2: КАС,ОКР7,ОКР8,ХМ,ХБ; ПР2: КАС,ОКР7,ОКР9,ХМ,УБ
Окружность, заданная центром и радиусом	ОКР1:80,90,60; ОКР1:ЦТР,ТОЧ1,РАД,60
Окружность, заданная радиусом, касательными прямой и окружностью	ОКР2:КАС,ПР4,ОКР1,РАД,40, УБ,НАР,ХБ
Окружность, заданная радиусом и двумя касательными окружностями	—
Окружность, заданная центром и касательной окружностью	—
Окружность, заданная тремя точками	ОКР5: =ЧЕРЕЗ, ТОЧ1, ТОЧ2,ТОЧ3;

Как видно из записи, указаны исходная точка контура (ТЧ1) и направление начала движения (ХБ) в заданной системе координат. Далее модификатор ВПЕРЕД определяет движение. Он не меняется, так как взаимное сопряжение элементов (прямых и окружностей) происходит по касательной. КОНКОН означает «конец контура». В дальнейшей программе ссылка на описанный контур осуществляется по его идентификатору (имени) — в данном примере КОН2.

Таким образом, обрабатываемая деталь для программирования ее в САП должна быть представлена в системе ко-

ТЕХНОЛОГ	ТЕХТРАН	СПД ЧПУ (АРТ)
Т—2: (18/15.5)	ТЧ1=X1,Y1; ТЧ1=75.6,15	P3=POINT/X3,20; P1=POINT/X1,Y1; P2=POINT/65.3,54
Т—9:П—5, П—7	ТЧ9=ПЕРЕСЕЧ,ПР5,ПР7; ТЧ9=ПР5, ПР7	P9=POINT/INTOF, L5,L7
Т—3:МУП—1,К—6;	ТЧ3=ПЕРЕСЕЧ,ПР1,КР6, УМ;	P3=POINT/YSMALL,INTOF,L1, C6;
Т—5:БУП—1,К—6;	ТЧ5=ПЕРЕСЕЧ,ПР1,КР6, УБ; ТЧ5=ПР1, КР6,УБ;	P5=POINT/YLARGE,INTOF,L1, C6; P1=POINT/XSMALL,INTOF,L2, C1;
Т—2:МХП—2,К—2 Т—1:МХП—2,К—1;	ТЧ1=ПР2,КР1,ХМ; ТЧ2=ПР2,КР2,ХМ	P2=POINT/XSMALL,INTOF,L2, C2
Т—2:МХК—2,К—3	ТЧ2=ПЕРЕСЕЧ,КР2,КР3, ХМ; ТЧ2=КР2,КР3,ХМ	P2=POINT/XSMALL,INTOF,C2, C3
Т3:ЦЕНТР␣К—1	ТЧ3 = ЦЕНТР,КР1	P3=POINT/CENTER,C1; P2=POINT/CENTER,C8
П—5: Т—2, Т—3	ПР5=ТЧ1,ТЧ2	L1=LINE/P3,P5; L1=LINE/P1,P2
—	ПР6=ТЧ2,УГОЛ,45;	L2=LINE/P3, ATANGL,60; L6=LINE/P2, ATANGL,45
П—2:МХ␣К—7,БХ␣К—8; П—2:МХ␣К—7,БУ␣К—9	ПР2=СПРАВА,КАСАТ,КР5, СПРАВА,КАСАТ,КР8; ПР2=СЛЕВА,КР12,СЛЕВА, КР15; ПР2=СПРАВА,КР5,СЛЕВА, КР15	L2=LINE/LEFT,TANTO,C7, LEFT,TANTO,C9; L2=LINE/LEFT,TANTO,C7, RIGHT,TANTO,C8
К—1: (80/90/60)	КР1=80,90,60; КР2=ЦЕНТР,ТЧ3,РАДИУС, R6; КР1=ЦЕНТР,ТЧ1,60	C2=CIRCLE/CENTER,P8, RADIUS,15; C8=CIRCE/X2,Y2,25
К—12:МХВНЕШК—1, МУП—2,R(10)	КР8=УБ,ПР2,ХБ,ВНЕ,КР1,10	C9=CIRCLE/YSMALL,L2, YLARGE,OUT,C2,RADIUS,9 C7=CIRCLE/YSMALL,L1, XSMALL,OUT,C6,RADIUS,5
К—1:БХВНУТК—2, ВНУТК—3,R—1	КР12=УМ,ВНЕ,КР5,ВНЕ, КР1,10 КР8=УБ,ВНЕ,КР15,ВНЕ, КР1,10	C8=CIRCLE/YLARGE,OUT,C2, OUT,C9,RADIUS,8; C9=CIRCLE/XLARGE,OUT,C2, OUT,C8,RADIUS,9
К—2:Т—1,ВНЕШК—8	КР2=ЦЕНТР,ТЧ1,МЕНШ, КАС,КР8; КР2=ЦЕНТР,ТЧ1,МЕНШ, КР8	C2=CIRCLE/CENTER,P1, SMALL,TANTO,C8
К—5:Т—1,Т—2,Т—3	КР5=ТЧ1, ТЧ2, ТЧ3	C5=CIRCLE/P1,P2,P3

ординат детали с вспомогательными траекториями, т. е. как состоящая из маркированных прямых, точек, дуг и т. д.

Входной язык САП позволяет записывать и математические выражения, включая тригонометрические, логарифмические и другие функции. Арифметические выражения записываются в одной строке со знаками +, —, *, / и ** соответственно для операций сложения, вычитания, умножения, деления и возведения в степень. Например, выражение $A=[(15{,}7+8)^3-2{,}3\cdot 6]/2$ записывается на входном языке в виде

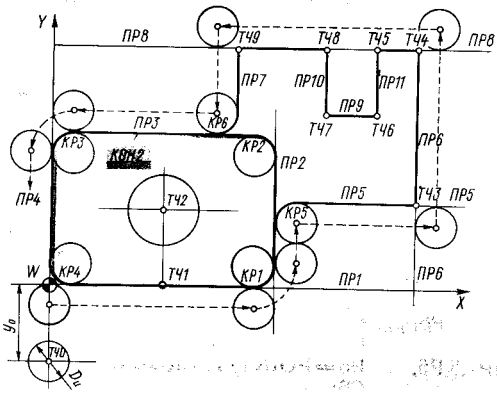


Рис. 10.4. Контур в САП ТЕХТРАН

```
A=((15,7+8)**3-2,3*6)/2
```

Описание траектории инструмента. Траектория инструмента на входном языке САП описывается командами движения и указаниями о положении инструмента относительно ранее определенных геометрических элементов.

Исходное положение инструмента задается точкой, в которой находится его вершина:

```
FROM/POINT ...
ОТ ТЧ ...
ИЗ ТЧ ...
```

Команды движения при позиционном управлении перемещениями от точки к точке определяются последовательностью положений вершины инструмента в абсолютной или относительной системе координат.

Абсолютное перемещение задается фразой

```
GOTO/x,y,[z]
ИДДО/x,y,[z]
```

```
ИДИ ВТОЧКУ ТЧ1
```

В ряде САП возможно указание сразу координат точки в операторах движения, например:

```
GOTO/18,20,38
```

или

```
ИДИ ВТОЧКУ 4.5,12,28
```

Фраза для задания относительных перемещений определяет дальнейшее движение инструмента относительно достигнутого положения, т. е. в приращениях:

```
GODLTA/[Δx,Δy],Δz
ИДПРИР/[Δx,Δy],Δz
ПРИРАЩ Δ z
```

Таблица 10.3. Ключевые слова языка САП (рекомендации ИСО) и синонимы на базе русского языка

Понятие	Ключевое слово по ИСО	Синоним
Точка	POINT	Т
Прямая	LINE	П
Горизонталь	XPAR	Г
Вертикаль	YPAR	В
Ось *X*	XAXIS	ОХ
Ось *Y*	YAXIS	OY
Ось *Z*	ZAXIS	OZ
Окружность	CIRCLE	К
Эллипс	ELLIPS	Э
Гипербола	HIPERB	ГИП
Аналитически заданная кривая	GCONIC	АЗК
Таблично заданная кривая	LCONIC	ТЗК
Система точек	PATERN	СТ
Плоскость	PLANE	ПЛ
Плоскость *XY*	XYPLAN	ХУПЛ
Плоскость *YZ*	YZPLAN	YZПЛ
Плоскость *ZX*	ZXPLAN	ZXПЛ
Плоскость, параллельная *XY*	ZSURF	ZПЛ
Сфера	SPHERE	СФ
Цилиндр	CYLNDR	ЦИЛ
Конус	CONE	КОН

Продолжение табл. 10.3

Понятие	Ключевое слово по ИСО	Синоним
Таблично заданная поверхность	TABCYL	ТЗП
Вектор	VECTOR	ВЕК
Система координат	MATRIX	СК
Припуск	THICK	ПРИП
Центр	CENTER	Ц
Радиус	RADIUS	Р
Угол	ATANGL	УГ
Шаг	AT	Ш
Рама	—	РАМА
Решетка	GRID	РЕШ
Пересечение	INTOF	ПЕР
Смещение	TRANSL	СМ
Изменение масштаба	SCALE	ШК
Касательная	TANTO	КАС
Параллельно	PARLEL	ПАР
Зеркально	MIRROR	ЗЕР
По часовой стрелке	CLW	ПОЧ
Против часовой стрелки	CCLW	ПРЧ
Слева	LEFT	СЛ
Аналитически заданная поверхность	QADRIC	АЗП
Больше	LARGE	Б
Меньше	SMALL	М
X больше	XLARGE	ХБ
X меньше	XSMALL	ХМ
Y больше	YLARGE	УБ
Y меньше	YSMALL	УМ
Z больше	ZLARGE	ZБ
Z меньше	ZSMALL	ZМ
Влево	LFT	ВЛ
Вправо	RGT	ВПР
Вперед	FWD	ВП
Назад	BACK	НАЗ
Вверх	UP	ВВ
Вниз	DOWN	ВН
До	TO	ДО
На	ON	НА
За	PAST	ЗА
Исходное положение вершины	FROM	ОТ
Обрабатываемая поверхность	PS	ОП
Направляющая поверхность	DS	НП
Ограничивающая поверхность	CS	ГП
Справа	RIGHT	СПР
Внутри	IN	ВНТ
Снаружи	OUT	СН
Инструмент слева	TLLFT	ИНСЛ
Инструмент справа	TLRGT	ИНСПР
Инструмент лежит на ОП	TLONPS	ИННАОП
Инструмент касается ОП	TLOFPS	ИНПООП
Иди	GO	ИД
Иди до	GOTO	ИДДО
Приращение	GODLTA	ПРИР
Иди влево	GOLFT	ИДВЛ
Иди вправо	GORGT	ИДВПР
Иди вперед	GOFWD	ИДВП
Иди назад	GOBACK	ИДНАЗ
Иди вверх	GOUP	ИДВВ
Иди вниз	GODOWN	ИДВН
Поворот вокруг оси *Z*	XYROT	ХУПОВ
Поворот вокруг оси *Y*	ZXROT	ZХПОВ
Поворот вокруг оси *X*	YZROT	YZПОВ
Фреза	CUTTER	ФРЕЗА

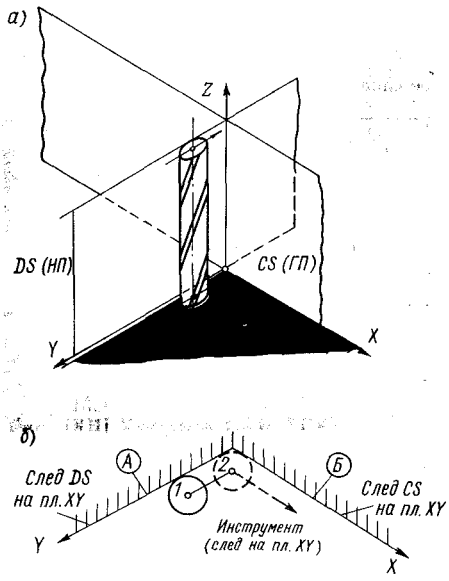


Рис. 10.5. Поверхности, определяющие непрерывное движение

Естественно, что после оператора указывают численные значения приращений. Следует отметить, что оператором ПРИРАЩЕНИЕ в большинстве САП пользуются только для задания перемещения по оси *Z*.

При непрерывном управлении обработкой контуров и поверхностей участки траектории инструмента задаются командами начала и продолжения движения с указанием расположения относительно обрабатываемой PS (ОП), направляющей DS (НП) и ограничивающей CS (ГП) поверхностей (рис. 10.5, *а*). В общем случае принимается, что на каждом участке траектории инструмент движется по PS (ОП) вдоль DS (НП) до CS (ГП). Если принять обрабатываемую плоскость в качестве заданной, то на виде сверху (рис. 10.5, *б*) плоскости DS и CS определятся следами их пересечения с обрабатываемой плоскостью. Следует указать на условность определения плоскостей, особенно направляющих (DS) и ограничивающих (CS). Так, при движении инструмента от точки *1* до точки *2* (рис. 10.5, *б*) след плоскости *А* будет направляющим для инструмента, а след плоскости *Б* — ограничивающим. После изменения направления движения в точке *2* для инструмента направляющим будет уже след плоскости *Б*, а ограничит движение инструмента уже какая-то другая плоскость. Условность наименования плоскостей очевидна. Съем металла — обработка — может осуществляться со всех плоскостей одновременно.

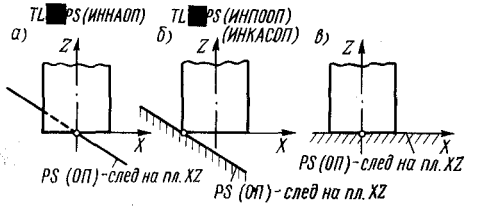


Рис. 10.6. Положения инструмента относительно обрабатываемой поверхности PS(ОП)

Непрерывное движение должно указываться оператором GO (ИД, ИДИ), который выводит инструмент в рабочее положение относительно управляющих поверхностей. В этом операторе могут быть указаны одна, две или три поверхности. Положение инструмента относительно каждой из них указывается модификаторами TO, ON, PAST (ДО, НА, ЗА), а также TLLFT (ИНСЛ) — инструмент слева, TLRGT (ИНСПР) — инструмент справа, TLONPS (ИННАОП) — инструмент на PS (ОП), TLOFPS (ИНПООП) — инструмент касается PS (ОП), TLOFCS (ИНКАСГП) — инструмент касается CS или TLTANTOCS и т. д.

Положение инструмента относительно обрабатываемой поверхности обычно указывают при объемной обработке фрезерованием, когда размещение торца инструмента относительно этой поверхности играет формообразующую роль. При этом положение инструмента относительно обрабатываемой поверхности может быть задано ON (НА) — рис. 10.6, *а* или OF (касается этой поверхности) — рис. 10.6, *б*.

Поскольку большинство САП решают задачи плоского формообразования, то для них характерно положение инструмента, когда его ось перпендикулярна к обрабатываемой поверхности (рис. 10.6, *в*) и положение инструмента относительно PS (ОП) задается его позиционированием вдоль оси Z.

Задание положения инструмента относительно направляющей DS (НП) и

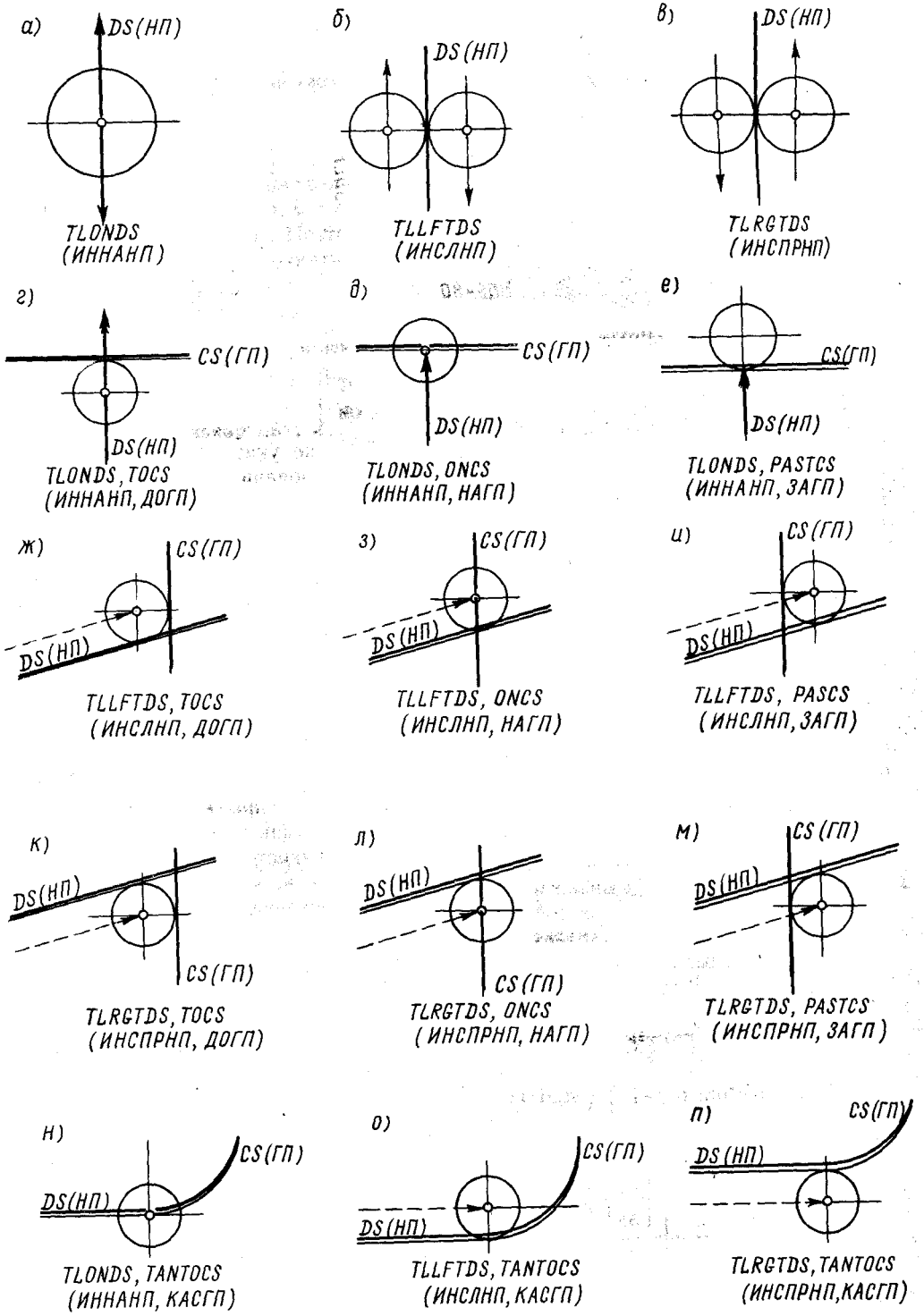


Рис. 10.7. Положения инструмента относительно направляющей DS(НП) и ограничивающей CS(ГП) поверхностей

Рис. 10.8. Задание направления движения инструмента

ограничивающей CS (ГП) поверхностей характерно для плоского формообразования, когда траектория перемещения инструмента строится в одной плоскости (в двух осях). На рис. 10.7 показаны возможные положения инструмента (фрезы) относительно DS (НП) и CS (ГП). Следует иметь в виду условность модификаторов «инструмент слева» и «инструмент справа», поскольку это определяется относительно заданного направления движения инструмента (рис. 10.7, *а — в*). Инструмент и поверхности на рисунке показаны следами на пл. *XY*.

В общем случае ограничения в движении инструмента могут быть записаны в соответствии со следующим форматом:

```
GO/TO                    [TO
GO/ON   <маркерDS>       [ON <маркерPS>
GO/PAST                  [PAST

        [TO
        [ON <маркер CS>
        [PAST
```

или

```
ИДИ {ДО}, напр.  [{ДО}, обрабат.
    {НА}  пов.   [{НА}  пов.
    {ЗА}         [{ЗА}

        [{ДО
        [{НА  ,огран.
        [{ЗА   пов.
        [{КАС
```

Как уже указывалось, при плоском формообразовании положение инструмента относительно обрабатываемой поверхности при организации его движения обычно в общем формате не указывают.

В табл. 10.4 приведено несколько примеров организации начала движения инструмента в различных САП в соответствии с рассмотренными выше правилами. Схемы 1—4 обычно используют для организации начала движения инструмента из исходной точки до выхода на контур детали. Далее движение инструмента организуется как продолжение непрерывного, при котором последовательно указывают несколько направляющих поверхностей, а ограничивающие поверхности не указывают.

Продолжение движения инструмента организуют обычно с учетом уже полученного им направления. Если, приходя из ТЧ0 в ТЧ1 (рис. 10.8, *а*), инструмент имеет движение ВПЕРЕД, то он сохраняет его в пределах угла $\pm 88°$ относительно этого направления. Если этот угол не выдерживается, то модификаторами LFT (ВЛЕВО), RGT (ВПРАВО), BACK (НАЗАД) указывается его дальнейшее направление с обозначением направляющей поверхности и положения инструмента (ИН НА, ИН СПРАВА, ИН СЛЕВА) относительно этой поверхности. Например, движение инструмента программируется по схемам 5 и 6 (см. табл. 10.4).

Подобная схема построения программы сохраняется, если перед смеще-

нием в назначенную точку движение инструмента было определено как ВЛЕВО или ВПРАВО. В этом случае также действует правило углов (рис. 10.8, *б*). Примером может служить схема 7 или 8 в табл. 10.4.

Поверхности, указываемые в операторах непрерывного движения, могут пересекаться более одного раза. Поэтому необходимо в программе уточнить точки пересечения направляющей поверхности с ограничивающей. Для этого следует использовать формат

```
        { FWD  }     {  TO  }
GO      { BACK } /   {  NO  }  <маркер LS>,
        { LFT  }     { PAST }
        { RGT  }     { TANTO}

номер
<пересечения>, INTOF ],<маркер CS>
```

Используя этот формат, можно запрограммировать, например, перемещение инструмента из ТЧ0 в ТЧ3 (схемы 9 и 10 в табл. 10.4).

На входном языке САП инструмент обычно задается фразой, учитывающей параметры инструмента. Для фрез (рис. 10.9) основными параметрами являются диаметр *d* и радиус закругления кромки *r*. Данные фрезы могут быть заданы фразой

```
CUTTER/d[,r[e,f,a,b,h]]
```

или

```
фреза/d[,r[e,f,a,b,h]]
```

Возможно задание инструмента по номеру: TOOLNO/e, f, где e, f — номера инструмента и гнезда его крепления в револьверной головке.

Технологические команды, включая режимы обработки, описываются в исходной программе САП в разном объеме, зависящем от возможного для данной САП уровня автоматизации программирования.

При задании технологической информации на входном языке САП высокого уровня указывают класс детали, материал заготовки, крепежную оснастку и при необходимости инструментальную наладку. По этим данным в препроцессоре решаются задачи проектирования

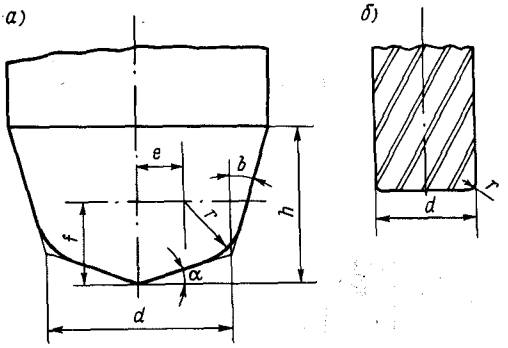


Рис. 10.9. Параметры фрез, задаваемые при описании инструмента на входном языке САП: *а* **— фасонная фреза;** *б* **— концевая фреза**

операционной технологии и на процессор выдается последовательность переходов с указанием обобщенных схем обработки. На среднем уровне автоматизации программирования САП в исходной информации задают сведения об установах и технологические указания о проведении отдельных переходов: типы зон и схемы их обработки, инструменты и (если требуется) режимы резания. Эта информация перерабатывается процессором в последовательность подробных указаний, выдаваемых на постпроцессор. В состав исходной информации на низком уровне автоматизации программирования могут быть включены подробные указания об условиях выполнения рабочих и вспомогательных ходов и отдельные команды исполнительным механизмам станка, которые без качественной их переработки в процессоре выдаются на постпроцессор на промежуточном языке.

Припуск на обработку при описании траектории инструмента можно записать определенной фразой, например

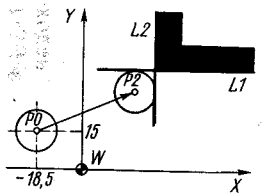
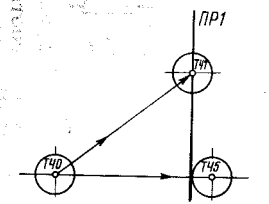
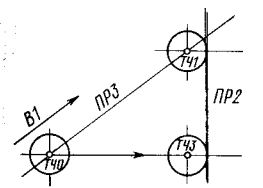
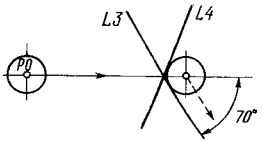
$$\text{THICK}\,/\,{}_{1}^{3}\;[<\text{число}>]$$

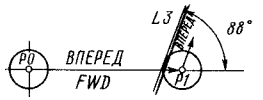
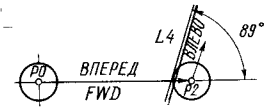
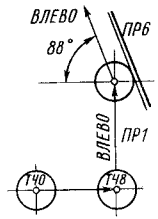
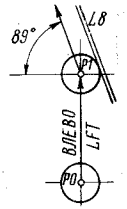
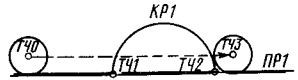
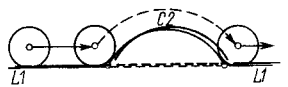
или

$$\text{ПРИП}\,/\,{}_{1}^{3}\;[<\text{число}>].$$

Если заданы три числа, то они указывают значения недоходов инструмента соответственно до PS (ОП), DS (НП) и CS (ГП). Если заданы два числа, то первое относится к PS (ОП), а второе — к DS (НП) и CS (ГП). Если задано одно

Таблица 10.4. Примеры организации начала движения инструмента в различных САП

Номер схемы	Графическое задание движения инструмента	Программное описание движения инструмента	Комментарий
1		FROM/POINT (—18.5, 15) GOTO/P2 или FROM/P0 GO/TO L2, TO L1	По этой команде инструмент из точки P0 переходит в точку P2 Вариант программы, при котором фиксируется положение инструмента по двум прямым. Инструмент выходит из точки P0 до касания с двумя прямыми L1 и L2
2		ИЗ ТЧ0 ИДИ ЗА ПР1 ИЗ ТЧ0 НАПРТ ТЧ1 ИДИ НА ПР1	По этой команде инструмент по кратчайшему расстоянию из точки ТЧ0 перемещается в точку ТЧ5 за прямой ПР1 В точке ТЧ1 перемещение инструмента программируется. Здесь оператором НАПРТ указывается направление на точку
3		ИЗ ТЧ0 ИДИ НА ПР3, ДО ПР2 ИЗ ТЧ0 ИДИ ДО ПР2 ИЗ ТЧ0 НАПР В В1 ИДИ ДО ПР2	По этой команде инструмент перемещается из ТЧ0 в ТЧ1 до ПР2 по прямой ПР3 По этой команде инструмент из ТЧ0 перемещается в ТЧ3, т. е. по кратчайшему расстоянию Запись программы при наличии заданного вектора В1. Здесь оператор НАПР В предполагает указание вектора направления движения
4		FROM/P0 GO/PAST L3, PAST L4	По этой программе инструмент перемещается за прямые L3 и L4

5		FROM/P0 GO/PAST L3 TLRGT,GOFWD/L3	ИЗ Р0 ИДИ/ЗА ПР3 СПРАВА,ИДИ ВПЕРЕД СПРАВА ПР3
6		FROM/P0 GO/PAST L4 TLRGT,GOLFT/L4	ИЗ ТЧ0 ИДИ/ЗА ПР4 СПРАВА,ИДИ ВЛЕВО ПР4
7		FROM/P0 GO/ON,L1 GOLFT/L1,GO/TO,L6 TLLFT GOLFT/L6	ИЗ ТЧ0 ИДИ НА ПР1 ВЛЕВО ПР1 ДО ПР6 ИНСТЛВ ИДИ ВЛЕВО ПР6
8		FROM/P0 GO/TO,L8 TLLFT,GOFWD/L8	ИЗ ТЧ0 ИДИ ДО ПР8 ИНСТЛВ,ИДИ ВПЕРЕД ПР8
9		ВПЕРЕД ПР1 ЗА 2 ПЕРЕСЕЧ КР1	—
10		GOFWD/L1,TO C2 GOLFT/C2,PAST,2,INTOF,L1	—

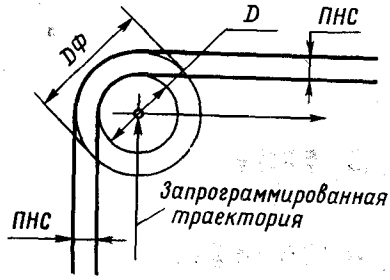


Рис. 10.10. Формирование припуска при использовании фиктивного диаметра инструмента

число, то оно относится ко всем трем поверхностям.

Учитывать припуск на обработку при программировании на языке САП можно введением в программу фиктивного значения размера инструмента, например диаметра фрезы. Например (рис. 10.10), если рассчитать траекторию инструмента по диаметру $ДФ = D + 2ПНС$, то после прохода фрезы диаметром D останется припуск ПНС (припуск на сторону). При программировании чистового прохода достаточно принять $ДФ = D$ и повторить ранее разработанную программу для чернового прохода.

Пример. *Представление программы на языке САП ТЕХТРАН* (см. рис. 10.4)

Первая версия:

```
ДЕТАЛЬ'ПРИМЕР'
СТАНОК'6Р13Ф3'
ИЗ ТЧ0
ШПИНДЛ ВКЛ
ПОДАЧА ПРАБ ММИН
ИДИ ДО ПР1
ВПРАВО ПР1 КАС КР1
ВПЕРЕД КР1 КАС ПР2
ВПЕРЕД ПР2 ДО ПР5
ВПРАВО ПР5 ЗА ПР6
ВЛЕВО ПР6 ЗА ПР8
ВЛЕВО ПР8 ЗА ПР7
ВЛЕВО ПР7 ДО ПР3
ВПРАВО ПР3 КАС КР3
ВПЕРЕД КР3 КАС ПР4
ВПЕРЕД ПР4 ЗА ПР1
БЫСТРО
ВТОЧКУ ТЧ0
ШПИНДЛ ВЫКЛ
КОНЕЦ
```

Вторая версия:

```
ДЕТАЛЬ'ПРИМЕР'
СТАНОК'6Р13Ф3'
ИЗ ТЧ0
ШПИНДЛ ВКЛ
ПОДАЧА ПРАБ ММИН
ИДИ ДО ПР1
ИНСТПР
ВПРАВО ПР1
ВПЕРЕД КР1:ПР2 ДО ПР5
ВПРАВО ПР5
ВВОД ВЛЕВО ПР6:ПР8:ПР7 ДО ПР3
ВПРАВО ПР3
ВПЕРЕД КР3:ПР4 ЗА ПР1
БЫСТРО
ВТОЧКУ ТЧ0
ШПИНДЛ ВЫКЛ
КОНЕЦ
ШПИНДЛ ВЫКЛ
КОНЕЦ
```

Промежуточный язык процессор — постпроцессор

В целом ряде САП технологические указания в исходной программе формируются и задаются на промежуточном языке. Эти указания процессором передаются на постпроцессор.

Унификация разработки постпроцессоров и их стыка с различными САП требует принятия единого промежуточного языка процессор — постпроцессор. Наибольшее распространение получил промежуточный язык, рекомендованный комитетом ИСО. Руководящие технические материалы РТМ 2-Н00-11—79 устанавливают для отечественных САП базовое подмножество этого языка, в котором исключено большинство дублирующих друг друга понятий, а единицы физических величин приведены в соответствии с системой СИ.

Записанный на промежуточном языке текст передаваемой из процессора на постпроцессор информации (CLDATA) состоит из отдельных записей, обозначающих законченные по смыслу определения или указания.

Таблица 10.5. Словарь главных слов CLDATA

Главное слово	Значение
CARDNO	Номер указания
CIRCLE	Окружность
CLAMP	Зажим
CLEARP	Безопасная плоскость
COOLNT	Охлаждение
COUPLE	Связь
CUTCOM	Компенсация инструмента
CYCLE	Цикл
DELAY	Выдержка
DRESS	Правка
END	Конец
FEDRAT	Подача
FINI	Конечная запись
FROM	Исходное положение
GOHOME	Возврат
GOTO	Перемещение
HEAD	Головка
INSERT	Вставка
LOADTL	Загрузка инструмента
MACHIN	Станок
MCHTOL	Точность обработки
MODE	Режим
MULTAX	Многокоординатная обработка
OPSKIP	Условный пропуск
OPSTOP	Дополнительный останов
ORIGIN	Начало
PARTNO	Номер детали
PITCH	Шаг
PPRINT	Печать постпроцессора
RAPID	Быстрый ход
RETRGT	Отвод
REWIND	Перемотка
ROTABL	Поворот стола
SAFPOS	Безопасная позиция
SELCTL	Выбор инструмента
SPINDL	Шпиндель
STOP	Останов
THREAD	Резьба

Таблица 10.6. Словарь вспомогательных слов

Вспомогательное слово	Значение
BORE	Расточка
BOTH	Оба
BRKCHP	Ломка стружки
CCLW	Против часовой стрелки
CLW	По часовой стрелке
CUTANG	Угол резания
CUTS	Проход
DEEP	Глубокое сверление
DEPTH	Глубина
DIAMETR	Диаметр
DRILL	Сверление
DWELL	Выстой
FACE	Цекование
FINCUT	Окончательный проход
INCR	Приращение
INVERS	Обратная ориентация
LEFT	Слева
LENGHT	Длина
MANUAL	Вручную
MMPM	Мм/мин
MMPR	Мм/об
MULTRD	Многозаходная резьба
OFF	Включение
ON	Выключение
ORIENT	Ориентация
OSETND	Номер корректора
RANGE	Диапазон
RAPTO	Подвод на быстром ходу
REV	Частота вращения
RIGHT	Справа
SETOOL	Положение настроечной точки
SMM	Скорость в м/мин
TAP	Нарезание резьбы
THRU	Чередование рабочего и быстрого ходов
TOOL	Инструмент
XCOORD	Координата x
XYPLAN	Плоскость XY
YCOORD	Координата y
YZPLAN	Плоскость YZ
ZCOORD	Координата z
ZXPLAN	Плоскость ZX

В общем случае запись состоит из главной и вспомогательной частей. Главная часть определяет название записи, а во вспомогательной части задаются параметры. Некоторые записи содержат только главную часть.

Запись представляет собой последовательность от 1 до 245 логических слов, разделенных знаками. Логические слова, обозначающие названия записей (главные слова) и параметров (вспомогательные слова), образованы сокращениями слов и аббревиатурами понятий на английском языке, включающими до шести

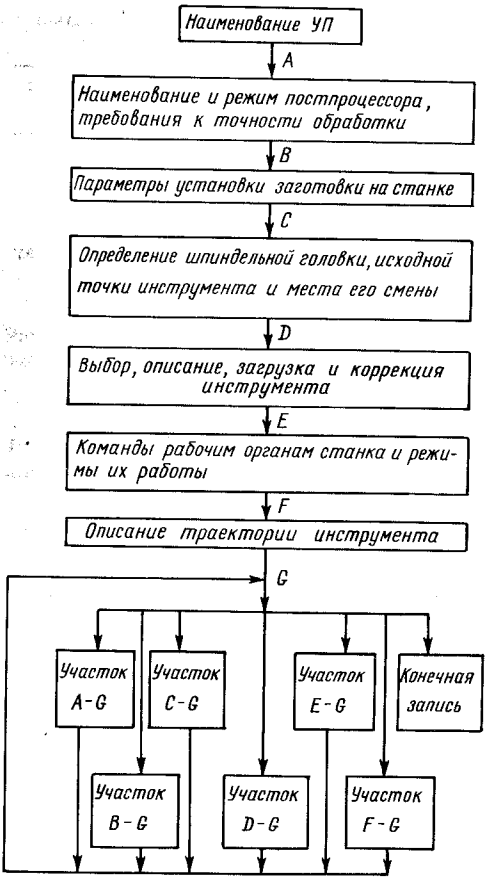


Рис. 10.11. Вертикальная структура промежуточного языка процессор — постпроцессор

буквенно-цифровых символов. Словари главных и вспомогательных слов базового подмножества промежуточного языка приведены в табл. 10.5 и 10.6. В ЭВМ эти слова распознаются по их кодам.

К логическим словам кроме указанных относятся целые и дробные десятичные числа для записи значений параметров и произвольные сочетания буквенно-цифровых символов, с помощью которых задаются наименования детали и станка с ЧПУ, режимы работы постпроцессора, идентификаторы геометрических элементов и участки текста сопроводительной документации.

Возможную последовательность записей в тексте CLDATA определяет вертикальная структура, а порядок следования логических слов в записях — горизонтальная структура промежуточного языка.

В тексте CLDATA можно выделить участки, описывающие самостоятельные по значению группы данных. Их последовательность показана на рис. 10.11. Границы участков на этом рисунке обозначены буквами от A до G.

Текст CLDATA начинается записью (PARTNO), присваивающей название УП. Записи группы данных A — B определяют постпроцессор (MACHIN), режим его работы (MODE) и требования к точности отработки перемещений (MCHTOL). Записи группы данных B — C задают параметры установки заготовки на станке (CLAMP или ORIGIN), связывающие системы координат детали и станка. Записи группы данных C — D определяют шпиндельную головку (HEAD), исходную точку инструмента (FROM), место его смены (SAFPOS) и плоскость (CLEARP), в которой безопасно быстрое перемещение инструмента. Записи группы данных D — E связаны с выбором (SELCTL), описанием и установом инструмента в рабочую позицию (LOADTL), а также его коррекцией (CUTCOM). Записи группы данных E — F содержат команды рабочим органам станка (COOLNT, DRESS, ROTABL) и режимы их работы (SPINDL, FEDRAT, RAPID, STOP, OPSTOP, OPSKIP, DELAY, PITCH, COUPLE). Наконец, записи группы данных F — G определяют траекторию инструмента (GOTO, CIRCLE, MULTAX, CYCLE, THREAD, GOHOME, RETRCT). Кроме перечисленных записей в тексте CLDATA используются записи для обозначения конца участка обработки (END), вставки кадров программы (INSERT), перемотки перфоленты (REWIND), печати выходных документов (PPRINT), идентификации текста исходных данных с записями CLDATA (GARDNO) и конца текста CLDATA (FINI).

Если после границы, обозначенной на рис. 10.11 буквой G, следует участок A — G, то изготовление детали будет продолжено на другом станке. Повторение участка B — G вызывается переустановом заготовки. Появление нового участка C — G означает обработку с

использованием другой шпиндельной головки или другого суппорта, станка. Участок D — G повторяется при смене инструмента, а участок E — G — при изменении режима резания. Каждый из участков F — G описывает отдельный элемент траектории инструмента.

Горизонтальная структура промежуточного языка представлена ниже перечнем записей с указанием их назначения и синтаксиса. Синтаксис промежуточного языка отвечает тем же правилам, что и синтаксис входного языка САП.

PARTNO * (номер детали). Запись задает наименование и номер детали для идентификации УП:

```
PARTNO / n   [ символ ]
       / 1
```

MACHIN (станок). Запись задает наименование (имя) и номер (a) постпроцессора для конкретного станка с ЧПУ, а также предусматривает задание символов, слов или параметров (b) для его вызова:

```
                    n  [ ,символ ]
MACHIN / имя [,a]      [ ,слово ]
                    0  [ ,b      ]
```

MODE * (режим). Запись задает символы слова или параметры (a) режима работы постпроцессора:

```
                    n  [ ,символ ]
MODE / символ          [ ,слово ]
     / слово           [ ,a     ]
     / a            0
```

MCHTOL * (точность обработки). При программировании позиционных систем управления запись определяет режим позиционирования, а при контурном управлении задает наибольшее отклонение от траектории при резком изменении направления движения инструмента (a) или допустимые ошибки перебега (b) и недохода (c):

```
MCHTOL / a
       / b,c
```

CLAMP * (зажим). Запись определяет расположение детали в системе координат станка путем задания расстояния между базовой плоскостью патрона и началом системы координат детали (a) и прямую или обратную (INVERS) ориентацию детали по отношению к ее положению на чертеже:

```
CLAMP/a[INVERS]
```

ORIGIN * (начало). Запись задает координаты x, y (a, b) и другие координаты (c) начала системы координат станка в системе координат детали:

```
                n
ORIGIN/a,b      [,c]
                0
```

HEAD * (головка). Запись задает номер требуемой головки (a) или одновременную работу двух головок (BOTH):

```
HEAD / a
     / BOTH
```

FROM* (исходное положение). Запись определяет координаты x, y и z (a, b, c) исходного положения вершины инструмента в системе координат детали как частный случай записи параметров линейного перемещения:

```
FROM/ ... a,b,c
```

SAFPOS * (безопасная позиция). Запись определяет координаты x, y и z (b, c, a) точки (в системе координат детали), в которую приводится вершина инструмента для его смены:

```
SAFPOS / a
       / b,c[,a]
```

CLEARP * (безопасная плоскость). Запись определяет плоскость, по которой безопасно быстрое перемещение вершины инструмента. Плоскость задается координатами x, y и z (b, c, d) нормального единичного вектора и расстоянием (e) до этой плоскости от начала системы координат детали или как плоскость XY (XYPLAN) с координатой Z (f):

```
CLEARP / b,c,d,e
       / [XYPLAN,]f
```

SELCTL (выбор инструмента). Запись задает идентификационный номер

инструмента или его позицию в инструментальном магазине (b):

```
SELCTL/b
```

LOADTL (загрузка инструмента). Запись задает смену инструмента, определяет его символику (TOOL, символ, a), идентификационный номер или позицию в магазине (b), длину (LENGTH, c), координаты *x*, *y*, *z* настроечной точки в системе координат инструмента (SETOOL, d, e, f), диаметр (DIAMETR, j), номер корректора (OSETNO, k) или номера корректоров для двух координат (OSETNO, k, l) и указывает, устанавливается ли инструмент вручную (MANUAL) или автоматически:

```
LOADTL/[TOOL,символ,a,b,[,LENGTH,
c]{],SETOOL,d,e,f][,DIAMETR,j]
[,k[,l][MANUAL]}
```

CUTCOM * (компенсация инструмента). Запись определяет номера корректоров для компенсации длины (LENGTH, a) или радиуса инструмента (RADIUS, f), плоскость компенсации *XY* (XYPLAN), *YZ* (YZPLAN) или *ZX* (ZXPLAN) и номер корректора (e), номера корректоров по осям *X* (XCOORD, b), *Y* (YCOORD, c) и *Z* (ZCOORD, d), задает включение (ON) или выключение (OFF) корректора, а также определяет положение инструмента справа (RIGHT) или слева (LEFT) относительно направления его движения вдоль контура:

```
CUTCOM / ON  [,LENGTH[,a]]
       \ OFF

CUTCOM / ON
       | OFF
       | RIGHT  [,RADIUS,f]
       \ LEFT

CUTCOM / ON
       \ OFF  [,XCOORD,b]
  [,YCOORD,c][,ZCOORD,d]

CUTCOM / ON  [ ,XYPLAN ]
       |     [ ,YZPLAN ]  [,e]
       \ OFF [ ,ZXPLAN ]
```

COOLNT (охлаждение). Запись задает включение (ON) или выключение (OFF) подачи охлаждения и определяет номер трубопровода (a):

```
COOLNT / ON
       |        n
       \ OFF    0 [,a]
```

DRESS (правка). Запись задает команду на автоматическую правку шлифовального круга:

```
DRESS
```

ROTABL (поворот стола). Запись задает угол поворота стола в градусах (a) или приращение этого угла (INCR, b) и направление вращения (CLW — по часовой стрелке; CCLW — против часовой стрелки):

```
ROTABL / a       [ ,CLW  ]
       \ INCR,b  [ ,CCLW ]
```

SPINDL (шпиндель). Запись определяет номер диапазона частот вращения шпинделя (RANGE, c), частоту его вращения в об/мин (a) или скорость резания в м/мин (SMM, b), направление вращения (CLW — по часовой стрелке; CCLW — против часовой стрелки), а также задает выключение (OFF), включение с восстановлением предыдущей частоты вращения (ON) или поворот шпинделя до фиксированного положения (ORIENT, 0) и его зажим:

```
SPINDL / a      { [ ,CLW  ]  [,RANGE,c] }
       \ SMM,b  { [ ,CCLW ]             }

SPINDL / ON
       | OFF
       \ ORIENT[,0]
```

FEDRAT * (подача). Запись задает значение в мм/мин (MMPM, c) или в мм/об (MMPR, f) и номер диапазона подач (RANGE, k):

```
FEDRAT / MMPM,c  [,RANGE,k]
       \ MMPR,f
```

RAPID * (быстрый ход). Запись определяет, что последующие перемещения

производятся на быстром ходу:

```
RAPID
```

STOP (останов). Запись задает команду на останов станка и считывающего устройства:

```
STOP
```

OPSTOP (дополнительный останов). Запись задает команду на останов станка. Действие этой команды может быть отменено оператором станка путем переключения соответствующего тумблера на пульте управления:

```
OPSTOP
```

OPSKIP (условный пропуск). Запись задает начало (ON) или конец (OFF) участка программы, который может быть пропущен оператором станка путем переключения соответствующего тумблера на пульте управления:

```
OPSKIP / ON
       / OFF
```

DELAY (выдержка). Запись задает время выстоя в с (a) или число оборотов шпинделя (REV, b):

```
DELAY / a
      / REV,b
```

PITCH (шаг). Запись задает шаг (a) и число ниток многозаходной резьбы (MULTRD, d):

```
PITCH / a[MULTRD,d]
```

COUPLE * (связь). Запись задает начало (ON) или конец (OFF) синхронизации вращения шпинделя и подачи для обработки винтовых поверхностей:

```
COUPLE / ON
       / OFF
```

MULTAX * (многокоординатная обработка). Запись задает начало (ON) или конец (OFF) участка траектории инструмента при многокоординатной обработке:

```
MULTAX / ON
       / OFF
```

CYCLE (цикл). Запись определяет операцию, глубину прохода, подачу, недоход и модификатор типовой схемы обработки отверстия, а также отменяет цикл (OFF) или восстанавливает ранее отмененный цикл (ON) либо указывает, что элементы цикла предусмотрено выполнить вручную (MANUAL). Операция характеризует вид обработки: сверление в цикле типа G81 (DRILL), цекование в цикле типа G82 (FACE), глубокое сверление в цикле типа G83 с отводами сверла для ломки стружки (BRKCHP) или с полным выводом сверла из отверстия для ее удаления (DEEP), нарезание резьбы метчиком в цикле типа G84 (TAP), расточку в циклах типов G85 — G89 (BORE5 — BORE9) и сверление в разных станках (THRU). Глубина прохода в мм (a) задается вдоль оси отверстия от его центра на плоскости. Подача задается в мм/мин (MMPM, d) или в мм/об (MMPR, e). Недоход определяет расстояние в мм (f), на которое не доходит инструмент до плоскости на быстром ходу. Модификаторы задают величину дополнительного быстрого ввода инструмента в предварительно обработанное отверстие (RAPTO, g) выстой инструмента в с (DWELL, c) и останов шпинделя в фиксированном угловом положении (ORIENT, 0):

```
CYCLE / ON
      / OFF
      / MANUAL

CYCLE / DRILL
      / FACE
      / TAP
      / BORE5
      / BORE6   ,a,  MMPM,d
      / BORE7        MMPR,e  ,f[RAPTO,g]
      / BORE8
      / BORE9   [,DWELL[,c][,ORIENT[,0]

CYCLE / DEEP    n [                    ]
      /           [ n        MMPM,d    ]
      /           [ ,1[a,]   MMPR ,e   ] [
      / BRKCHP  1 [                    ]
      / [,f],h][,RAPTO,g][,DWELL[,c]]

CYCLE / THRU,  n [a]  MMPM,d [,f][
      / ,PARTO,g][,DWELL[,c]]
```

THREAD (резьба). Запись задает параметры режима нарезания резьбы резцом, определяющим подачу в мм/об (MMPR, d), число ниток многозаходной резьбы (MULTRD, e), общую глубину резьбы (DEPTH, f), общее число проходов (CUTS, g) или число проходов (h) с заданной глубиной резания (l), число зачистных проходов (FINCUT, j), угол врезания (CUTANG, k) и номера двух корректоров (OSENTO, l, m), которые включаются попеременно в каждом проходе резьбы:

```
THREAD/{[MMPR,d][MULTRD,e,][
        DEPTH,f,] CUTS,g,  [FINCUT,j,]
                  CUTS,h,l
        [CUTANG,K][OSENTO,h,m]}
```

GOHOME (возврат). Запись задает команду на возврат рабочих органов станка в исходное положение:

```
GOHOME
```

RETRCT (отвод). Запись задает команду на отвод инструмента в безопасную плоскость:

```
RETRCT
```

END (конец). Запись означает конец участка обработки:

```
END
```

INSERT (вставка). Запись задает вывод символов, образующих команды для ЧПУ, непосредственно на программоноситель:

INSERT/ $\begin{matrix}n\\1\end{matrix}$ [символ]

REWIND (перемотка). Запись задает команду на перемотку программоносителя до начала программы:

```
REWIND
```

PPRINT (печать постпроцессора). Запись задает символы для печати сопроводительной документации:

PPRINT/ $\begin{matrix}n\\1\end{matrix}$ [символ]

CARDNO (номер указания). Запись задает порядковый номер (a) и текст указания исходных данных, являющийся источником последующих записей:

CARDNO/a $\begin{matrix}n\\1\end{matrix}$ [,символ]

FINI (конечная запись). Запись завершает текст CLDATA:

```
FINI
```

Записи, отмеченные звездочкой (*), являются модальными, т. е. они действуют до отмены или появления новой записи.

В соответствии с общим форматом каждая запись содержит: нулевое слово, определяющее число слов в записи; первое слово, указывающее порядковый номер записи в тексте CLDATA; последовательность логических слов, оговоренную синтаксисом данной записи.

Набор записей из базового подмножества промежуточного языка, используемый в конкретной САП, выбирают исходя из ее назначения и технических характеристик.

Напомним, что форма представления информации, характерная для промежуточного языка процессор — постпроцессор, в ряде САП используется для задания исходных технологических параметров обработки наряду с основным языком САП. Естественно, это относится к тем САП, которые преимущественно решают геометрические задачи, а условия обработки назначает технолог-программист в процессе разработки и записи исходных данных.

10.3. ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ САП

К настоящему времени в нашей стране и за рубежом разработано более ста САП, если учитывать их модификации и версии для различных ЭВМ [3].

Отечественные САП

САП СППС, САП-2, СПТС. Системы являются первыми отечественными САП, созданными в начале 1960-х гг.

СППС разработана для программирования 2,5-координатной обработки контуров, состоящих из отрезков прямых, дуг окружностей и участков таблично заданных кривых, а также плоскостей, которые могут включать замкнутые необрабатываемые области. Входной язык СППС — табличный; геометрические и технологические данные заносятся в два бланка.

САП-2 была предназначена для программирования обработки контуров в плоскостях, параллельных координатным плоскостям. На базе САП-2 разработано семейство САП для программирования трех-, четырех- и пятикоординатной фрезерной обработки: САП-3, САП-4, САП-5.

СПТС — первая САП высокого уровня, служащая для программирования на ЭВМ процесса изготовления деталей типа валов на токарных станках. Геометрические определения элементов детали записываются в табличном бланке, учитывающем особенность конфигурации валов. В САП разделение обрабатываемого участка на переходы и выбор траектории инструмента осуществляет ЭВМ. Кроме того, определение последовательности проходов и расчет режимов резания оптимизируются.

САП СПС-Т, САПС, СПС-К, СПС-ТАУ. САП СПС-Т создана на основе САП СПТС и является универсальной САП для программирования обработки различных деталей на станках с ЧПУ токарной группы, в первую очередь деталей с криволинейным профилем. Базовым для нее является средний уровень автоматизации, реализующий обобщенные технологические схемы обработки и расчет на ЭВМ режимов резания.

САПС построена на основе входного языка АРТ и алгоритмического языка Алгол-60 для программирования 2,5-координатной обработки. К достоинствам САПС следует отнести разветвленную диагностику исходных данных, сведения об ошибках в которых выводятся на печать вместе с указанием способа их устранения. Современными вариантами САПС являются АПТ-ЕС и АПТ-СМ, ориентированные на ЕС ЭВМ и малые ЭВМ серии СМ.

СПС-К — универсальная САП для программирования обработки на станках с позиционными УЧПУ. Она известна в двух модификациях: СПС-КС с высоким уровнем автоматизации программирования для сверлильно-расточных и многоцелевых станков. Текст исходной информации в СПС-К записывается на бланках.

СПС-ТАУ разработана на базе СПС-Т, являясь ее модификацией.

САП ЕСПС-ТАУ, «Технолог», САП-ЕС (СМ). Современные отечественные САП ЕСПС-ТАУ и «Технолог» имеют модульную структуру, которая позволяет расширить возможности САП без существенного изменения основного ПМО.

ЕСПС-ТАУ создана с учетом опыта разработки СППС, СПС-К и СПС-ТАУ. В ее состав входят следующие базовые модификации САП: ТАУ-Ф (для программирования операций 2,5-координатной фрезерной обработки), ТАУ-Т (токарной обработки), ТАУ-С (сверлильной обработки) и ТАУ-СРФ (сверлильно-расточно-фрезерной обработки). Эти САП объединяют: общность структуры препроцессор — процессор — постпроцессор; универсальный входной язык, предусматривающий как свободную, так и упорядоченную словарную запись текста исходной информации; единый промежуточный язык процессор-постпроцессор, установленный РТМ 2-Н00-11—79; единая база данных о станках с ЧПУ, инструментах и обрабатываемых материалах; единое ПМО, модульный принцип построения которого позволяет использовать общие блоки для переработки анкет постоянной информации, решения идентичных задач программирования для различных технологических групп станков, формирования сопроводительной документации с учетом требований различных потребителей САП; единая организация вычислительного процесса на ЕС ЭВМ.

ТАУ-С характеризуется высоким уровнем автоматизации программирования обработки отверстий. Она выполнена в виде препроцессора универсальной САП ТАУ-СРФ, в котором решаются задачи выбора последовательности операций, инструментов и режимов резания

по описанию форм отверстий. В ТАУ-С осуществляются контроль исходной информации, заданной в словарно-табличной форме, ее переработка с использованием технологической базы данных и передачи результатов на универсальном входном языке в процессор для дальнейшего расчета УП.

ТАУ-СРФ предусматривает средний и низкий уровни автоматизации программирования сверлильных, расточных и фрезерных операций обработки отверстий и 2,5-координатной фрезерной обработки контуров и плоскостей. Исходная информация для этой САП записывается на универсальном входном языке в бланке комплекса ЕСПС-ТАУ.

ТАУ-Т предназначена для программирования переходов и отдельных перемещений инструмента при изготовлении деталей типа тел вращения на станках с ЧПУ токарной группы. Препроцессоры этой САП разрабатываются для автоматизации проектирования операционного технологического процесса изготовления деталей отдельных групп и классов. В ТАУ-Т используется развитый банк технологической информации, подготовляемый с помощью подробных анкет параметров станков с ЧПУ, инструментов и обрабатываемых материалов. В базовой модификации ТАУ-Т исходная информация записывается на универсальном входном языке в общем для ЕСПС-ТАУ бланке.

Промышленная эксплуатация комплекса САП ЕСПС-ТАУ ведется на ЭВМ серии ЕС.

«Технолог» — современная САП для фрезерных, токарных, сверлильно-расточных и многоцелевых станков. Она создана на базе опыта разработки и промышленной эксплуатации семейства САП-2, САП-3, САП-4 и САП-5.

В этой САП предусмотрены различные уровни автоматизации программирования. В простейшем случае УП можно подготавливать на низком уровне методами, применяемыми в САП-2. При отсутствии в банке постоянной информации о параметрах обрабатываемых материалов и режущих инструментов используются методы, аналогичные принятым в САП-3, где в исходной информации задаются геометрические параметры инструмента, режимы обработки участков заготовки. Наконец, с использованием необходимых каталогов банка постоянной информации могут применяться методы автоматизации технологического проектирования переходов обработки с расчетом режимов резания. Зарезервирована возможность перехода и на более высокий пооперационный уровень технологического проектирования, когда в исходной информации достаточно закодировать данные чертежей детали и заготовки, а также указать тип используемого для обработки оборудования. Модульная структура ПМО САП «Технолог» позволяет использовать его в различной комплектации в зависимости от требуемого состава задач, решаемых в конкретных производственных условиях. Одна из основных его функций — математическое обеспечение систем группового управления станками от ЭВМ.

САП-ЕС (СМ) является результатом дальнейшего развития системы САП-М32 на ЕС ЭВМ. С ее помощью подготавливают управляющие программы для одно- и многоинструментальных станков с ЧПУ фрезерной, токарной, расточной, карусельной, сверлильной и электроискровой групп. САП-ЕС — 2,5-координатная система с ограниченными возможностями объемной обработки, ее можно эксплуатировать на любой модели ЕС ЭВМ или другой ЭВМ, программно совместимой с ЕС ЭВМ.

Язык САП-ЕС основан на языке САП-М32 и отличается более высоким уровнем автоматизации программирования. Программы, написанные на языке САП-М32, могут быть отработаны транслятором САП-ЕС.

Логическим развитием САП-ЕС является САП-СМ, применяемая с СМ ЭВМ. В новейшей модификации САП АВТО информация вводится последовательным описанием технологических переходов в технологических терминах ТП. Это резко упрощает язык САП, приближая его к текстовому языку записи технологических переходов и операций.

САП СПД ЧПУ. Система подготовки данных для станков с числовым программным управлением (СПД ЧПУ) наи-

более успешно используется с АСПДЛ на базе ЭВМ СМ-3 (СМ-4). Она осуществляет хранение УП, их редактирование, трансляцию, визуальную отладку на графопостроителе и дисплее и т. д.

Характер отработки информации в СПД ЧПУ в принципе такой же, как и в ряде других САП.

Входной язык СПД ЧПУ содержит набор изобразительных средств, достаточных для программирования 2,5-координатной обработки на фрезерных и сверлильных станках с ЧПУ. Основная семантика языка отвечает рекомендациям ИСО. К особенностям этого языка относится возможность описывать геометрию и технологию детали в естественных конструкциях без учета специфики станка, на котором должна изготовляться деталь.

Подробно эта система рассмотрена в п. 10.4.

САП ТЕХТРАН. ТЕХТРАН — 2,5-координатная автоматизированная система подготовки УП для станков с ЧПУ среднего уровня. Она эксплуатируется на ЕС ЭВМ в режиме ОС и на СМ ЭВМ в режиме ОСРВ. Структура входного языка близка к структуре языка, рекомендованного ИСО, но использует русский текст и аббревиатуру. При помощи этого языка можно описывать любые плоские контуры, состоящие из отрезков прямых, дуг окружностей, таблично заданных кривых. Язык позволяет использовать арифметические и логические выражения, одномерные и двумерные массивы чисел и геометрических объектов. Для написания программы со сложной логикой в языке предусмотрены операторы передачи управления, условные операторы и операторы цикла, аналогичные операторам языка Фортран. При программировании можно использовать макропроцедуры (МАКРОСЫ), которые могут определяться непосредственно в программе или вызываться из библиотеки. Библиотека МАКРОСОВ позволяет наращивать возможности системы без разработки модификаций программ.

В системе посредством операторов постпроцессора можно описывать практически любые технологические операции, которые в настоящее время способно реализовать оборудование с ЧПУ.

Система подготовки программ СПП МИКРОАПТ. Система предназначена для автоматизации процессов подготовки, контроля и редактирования программ для металлорежущих станков с ЧПУ.

Система использует язык МИКРОАПТ для описания различных видов плоскопараллельной обработки на фрезерных, токарных, расточных, сверлильных, электроэрозионных и других станках. Допускается диалоговый режим общения с оператором. Язык имеет обобщенные технологические инструкции и широкий набор средств управления программой, организации подпрограмм и циклов. Это дает возможность параметрического задания размеров и технологических режимов, а также вычисления и переопределения параметров и геометрических элементов в процессе работы программы.

СПП МИКРОАПТ рассчитана на эксплуатацию программистом-технологом, выполняющим функции оператора при отладке программы и диалоговом режиме.

СПП МИКРОАПТ состоит из процессора и набора постпроцессоров, разрабатываемых для конкретных сочетаний станок — УЧПУ. Система рассчитана на комплект технических средств, в состав которых входят:

1) специализированное управляющее вычислительное устройство «Электроника Д3-28»;
2) пишущая машинка «Консул 260.1»;
3) перфоратор ПЛ-150;
4) фотосчитыватель СП3;
5) контроллер ПЛ-150-СП3;
6) графопостроитель И5М3.895.003.

Минимально допустимый состав комплекта — «Электроника-Д3-28» и «Консул 260.1». Комплект может быть размещен на площади 2—2,5 м^2.

Единая система автоматизированной подготовки управляющих программ (ЕСПП). Система предназначена для станков с ЧПУ фрезерной, сверлильной, токарной групп и др. Входным языком системы, построенной на базе ЕС ЭВМ, служит алгоритмический язык с проблемной ориентацией, согласованный в

рамках стран — членов СЭВ. Язык включает стандартные формы описания основных геометрических элементов чертежа, технологических параметров обработки, операторов движения и т. д. [3].

Диалоговая система автоматизированной подготовки программ (ДСАП). Система реализована на базе ЭВМ «Искра-226» и ориентирована на диалоговый режим работы. Достигается это тем, что вместо классической схемы транслятор — процессор используется интерпретатор операторов входного языка [3].

ДСАП включает диалоговый процедурный язык ДСАП-1 для расчета и подготовки управляющей информации, диалоговый проблемно-ориентированный язык ДСАП-2, библиотеку постпроцессоров и библиотеку макросредств, составленных для типовых технологических операций.

САП для автоматизированных участков. Развитие ГАП требует расширения функциональных возможностей САП, более высокой степени автоматизации программирования.

САП СТПВ — система технологической подготовки производства деталей типа тел вращения, в которой для унифицированного оборудования участка (станков, крепежной и инструментальной оснастки) типизированы схемы обработки отдельных групп деталей, благодаря чему реализован высокий уровень автоматизации программирования. В СТПВ по одноразовому описанию детали и заготовки проектируется серия установок и рассчитывается соответствующий им набор УП с учетом распределения операций между станками участка. Объем технологических данных минимален: задают в основном код типовой технологической схемы обработки на участке, определяющий, например, число черновых и окончательных операций, а также нетиповые технологические требования к операциям. На ЭВМ решаются следующие задачи: разделение на установы с выбором ориентации детали и построением операционного контура для каждого установа, выбор оснастки для закрепления заготовки, выбор необходимых инструментов и последовательности их работы, распределение корректоров и определение схем коррекции, расчет траектории инструмента и режимов резания, формирование УП и сопроводительной документации. В состав документации входят карты наладки станков и инструментов, карта операционных размеров для операций предварительной обработки, распечатка кадров УП и данные для системы планирования работы участка. Метод задания исходной информации — табличный. Он предусматривает перенос данных с исходных документов в банк по функциональным разделам практически без пересчетов и перекодирования. Алгоритмический контроль исходной информации и промежуточных результатов проектирования операций обеспечивает выявление на ЭВМ всех ошибок, приводящих к аварийным ситуациям, что позволяет исключить этап контроля и отладки УП на станках участков. СТПВ реализована на большой ЭВМ и используется для участков типа АСВ.

САП СПУП-АСК осуществляет автоматизацию подготовки УП для изготовления корпусных деталей на участке типа АСК. Программирование в этой САП ведется в диалоговом режиме с ЭВМ, которая входит в состав средств ВТ участка и решает задачи технологической подготовки производства, планирования и диспетчирования. В основу СПУП-АСК положена конструктивно-технологическая классификация элементов общемашиностроительных корпусных деталей. Для обработки типовых элементов деталей этого класса предложены типовые технологические переходы, реализованные в виде простых, групповых, комбинированных и сложных технологических циклов. При задании исходной информации технолог-программист использует чертеж детали, маршрутную карту, схему зажима заготовки в приспособлении и каталог типовых технологических циклов.

Входной язык СПУП-АСК — специализированный, данные записываются в табличной или канонической формах, между которыми имеется однозначное соответствие.

СПУТ-АСК построена по блочно-модульному принципу (структура: препроцессор — процессор — постпроцес-

сор) и имеет внутренний промежуточный язык обмена информацией между модулями. Особенностью СПУП-АСК является возможность отображения исходных, промежуточных и выходных данных на экране дисплея и исправления их в режиме диалога, а также проверки и редактирования УП на станке с использованием выносного пульта связи с ЭВМ. Выходная документация приспособлена к условиям работы автоматизированного участка.

В заключение рассмотрим несколько примеров программ на языках различных САП.

Пример 1. *Программа на языке САП ТЕХТРАН (первая версия, рис. 10.12):*

```
1  ДЕТАЛЬ  ПРИМЕР
2  ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ
3  СТАНОК 6Р13Ф3,301
4  МЕТОД ЛИНКРУГ
5  ЧЕРТЕЖ ВКЛ,ХУПЛ
6  ОПИСАНИЕ ГЕОМЕТРИИ ДЕТАЛИ
7  ТЧИ=-25,10,52
8  ТЧ0=0,0
9  ТЧ1=-10,-10
10 ТЧ2=0,40
11 ПР1=ТЧ0,УГОЛ,90
12 ПР2= ТЧ2,УГОЛ,63.5
13 ПР3=ПАРЛЕЛ,ПР6,70,УБ
14 ПР4=ПАРЛЕЛ,ПР6,40,УБ
15 ПР5=ПАРЛЕЛ,ПР1,170,ХБ
16 ПР6=ТЧ0,УГОЛ,0
17 КР1=70,40,40
18 КР2=УБ,ПР4,ХБ,ВНЕ,КР1,РАДИУС,60
19 КОНТУР КОН1=ИЗ ТЧ0,ХБ,ВПЕРЕД ПР6,
   ВЛЕВО ПР5,ВЛЕВО ПР4 КАС КР2,ВПЕРЕД
   КР2 КАС КР1,ВПЕРЕД КР1 ДО2
   ПЕРЕСЕЧ ПР3,ВПЕРЕД ПР3,ПР2,ВПЕРЕД
   ПР1 ЗА ПР6,КОНКОН.
20         ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ
             ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ
21 ИЗ ТЧИ
22 ИНСТР 20
23 БЫСТРО
24 НАПРТ ТЧ1
25 ИДИ ЗА ПР6
26 ШПИНДЛ 400 ПО ЧС
27 КОРРЕК СПРАВА,РАДИУС,10
```

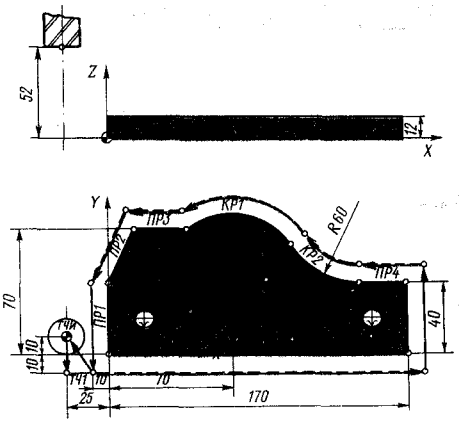


Рис. 10.12. РТК для программирования обработки в САП ТЕХТРАН

```
28 ПОДАЧА ММИН 800
29 ПРИРАЩ-54
30 ПОДАЧА ММИН 200
31 ИНСТР СПРАВА
32 ХБ ПО КОН1
33 КОРРЕК ВЫКЛ,РАДИУС,10
34 ШПИНДЛ ВЫКЛ
35 БЫСТРО
36 ПРИРАЩ 54
37 В ТОЧКУ ТЧИ
38 КОНЕЦ
```

Пояснения к программе

Строки 1—3 — входные данные. Шифром 301 указан постпроцессор УЧПУ модели Н33.

Строка 4 — указан метод линейно-круговой интерполяции.

Строка 5 — указание плоскости.

Строки 7—10 — в системе координат детали заданы точки контура детали координатами x и y. За начало координат детали принята точка ТЧ0.

Строки 11—16 — заданы прямые контура детали. Прямые ПР1, ПР2, ПР6 заданы точкой и углом; ПР3, ПР4, ПР5 заданы как параллельные соответствующим прямым на заданном расстоянии. Прямая ПР6 совпадает с осью X, а ПР1 — с осью Y.

Строка 17 — дуга КР1 задана координатами центра (70; 40 мм) и радиусом $R=40$ мм.

Строка 18 — дуга КР2 задана сопряженной с прямой ПР4 (выше прямой УБ), справа от дуги КР1 (ХБ) и ВНЕ этой дуги.

Строка 19 — описывается контур, определенный как КОН1. Описание контура начинается в точке ТЧ0 вдоль оси X (ХБ), по ПР6 и далее ВЛЕВО ПР5 и ПР4. Далее указывается ВПЕРЕД КР2 КАС КР1. По правилам

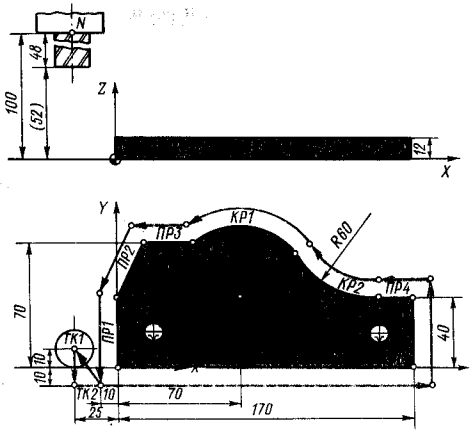


Рис. 10.13. РТК для программирования обработки в САП-ЕС

языка САП в случае касания элементов должен быть указан оператор ВПЕРЕД, хотя угол в точке перехода прямой ПР4 в другу КР2 равен нулю, т. е. направление ПР4 неизменно. Операторами ВПЕРЕД КР1 ДО 2 ПЕРЕСЕЧ ПР3 указывается вторая возможная точка пересечения ПР3 и КР1. Завершается контур за прямой ПР6.

Строка 21 — указана исходная точка начала движения инструмента. Эта точка определена как нуль программы.

Строка 22 — указан диаметр инструмента (фрезы), равный 20 мм.

Строка 23 — ускоренный ход.

Строки 24, 25 — указано направление перемещения центра инструмента (на точку ТЧ1) и место завершения перемещения (за ПР6).

Строка 26 — задана частота вращения шпинделя 400 об/мин, вращение по часовой стрелке. По этой же команде может быть включено вращение шпинделя.

Строка 27 — указано расположение инструмента относительно контура для расчета эквидистанты.

Строка 28 — задана подача инструмента по оси *Z*.

Строка 29 — указано перемещение инструмента по оси *Z* на величину 54 мм.

Строка 30 — задана подача для работы по контуру.

Строка 31 — указано положение инструмента относительно направления последующего его перемещения.

Строка 32 — задано перемещение инструмента по ранее определенному контуру. Модификатор ХБ указывает направление начала обихода контура КОН1.

Строка 33 — отключение коррекции, ранее введенной в п. 27.

Строка 34 — выключение шпинделя.

Строка 35 — быстрый ход.

Строка 36 — подъем инструмента (по оси *Z*).

Строка 37 — перемещение инструмента в исходную точку.

Пример 2. *Программа на языке САП ТЕХТРАН (вторая версия, рис. 10.12).* В ней отсутствует описание контура, обработка детали задается последовательно по элементам:

```
1  ДЕТАЛЬ ПРИМЕР
2  ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ
20 ИЗ ТЧИ
21 ИНСТР 20
22 БЫСТРО
23 НАПРТ ТЧ1
24 ИДИ ЗА ПР6
25 ШПИНДЛ 400 ПО ЧС
26 КОРРЕК СПРАВА,РАДИУС,10
27 ПОДАЧА ММИН 800
28 ПРИРАЩ-54
29 ПОДАЧА ММИН 200
30 ИНСТР СПРАВА
31 ВЛЕВО ПР6:ПР5
32 ВЛЕВО ПР4 КАС КР2
33 ВПЕРЕД КР2 КАС КР1
34 ВПЕРЕД КР1 ДО 2 ПЕРЕСЕЧ ПР3
35 ВПЕРЕД ПР3:ПР2
36 ВПЕРЕД ПР1 ЗА ПР6
37 КОРРЕК ВЫКЛ,РАДИУС,10
38 ШПИНДЛ ВЫКЛ
39 БЫСТРО
40 ПРИРАЩ 54
41 В ТОЧКУ ТЧИ
42 КОНЕЦ
```

Пример 3. *Программа на языке САП-ЕС (рис. 10.13).*

```
ПРОГРАММА=002
СТАНОК=6Р13Ф3,301
ДЕТАЛЬ КРЫШКА
НТК=-25,10,100;
ИН01=0001,0,0,48,10;
ТК0=0,0;
ТК1=-25,10;
ТК2=-10,-10;
ТК3=0,40
ПР1=Х/0;
ПР2=ТК3,Б/635000;
ПР3=У/70;
ПР4=У/40
ПР5=Х/170;
ПР6=У/0;
КР1=Х/70;У/40;R/40;
```

```
КР2=БХ+КР1,БУПР4,R60;
НП0;S/800;N/-400;ОТТК1;X/15;У/-20;
Z/-54;S/200;+НК01;ФР+;P/10;ПОПР6;
ПОПР5;ПОПР4;ПО-КР2;ПО+КР1;МХТК;
ПОПР3;ПОПР2;ПОПР1;ДОТК2;КК01;ФР0;
S/800;Z/54;X/-15;У/20;КП0!
```

Пояснения к программе

Оператор НТК определяет положение центра торца шпинделя (точка N) относительно системы координат детали.

Оператор ИН определяет положение инструмента (номер 01) относительно центра торца шпинделя: 0001 — код инструмента; 0, 0, 48 — значения вылета инструмента по осям X, Y, Z; 10 — радиус фрезы, мм.

Далее в программе идет определение геометрических элементов (точек, прямых, окружностей). После описания геометрии детали следует описание обработки.

Оператор НП0 — начало процедуры 0 (первая процедура в процессе обработки); $S/800$ — подача 800 мм/мин; $N/-400$ — обороты шпинделя в минуту, знак минус означает, что вращение по часовой стрелке. От точки ТК1 смещение инструмента по соответствующим осям (в приращениях). Оператор +НК01 — начало коррекции на инструмент 01. Оператор ФР+ — начало автоматического расчета эквидистанты справа от контура (знак плюс). $P/10$ — расстояние от центра фрезы до обрабатываемого контура, в рассматриваемом случае равен радиусу фрезы. Последующие перемещения фрезы производятся на рабочей подаче ($S/200$) вдоль прямых ПР6, ПР5, ПР4, окружностей КР2, КР1, прямых ПР3, ПР2, ПР1 до точки ТК2, где кончается коррекция инструмента (КК01), отменяется автоматический расчет эквидистанты, т. е. осуществляется сход на контур (ФР0). Из точки ТК2 на быстром ходу с одновременным поднятием фрезы по оси Z ее центр приводится в исходное положение — точку ТК1.

Дугу окружности КР2 фреза обходит по часовой стрелке (−КР2), а дугу окружности КР1 — против часовой стрелки (+КР1). При обходе окружности КР1 до прямой ПР3 двойственность решения исключается указанием меньшего значения x точки пересечения этих элементов (МХТК). КП0 — конец процедуры 0. Далее могут быть следующие процедуры, например 1, 2, 3, ... (до 9). Знак ! завершает программу.

Зарубежные САП

САП АРТ (США) является одной из первых САП, разработанных за рубежом. Она позволяет решать разнообразные геометрические задачи, возникающие при программировании многокоординатной фрезерной обработки. Главные достоинства АРТ — ее входной язык с удачно построенной семантикой и универсальная структура процессор — постпроцессор с промежуточным языком. Эти языки положены в основу соответствующих единых языков ИСО. На базе АРТ были сформированы ее модификации: ADAPT — для программирования 2,5-координатной фрезерной обработки и AUTOSPOT — для сверлильных операций. САП АРТ послужила также основой для создания за рубежом целой группы САП: EXAPT (ФРГ), NELNC (Великобритания), IFAPT (Франция), FAPT (Япония), MODAPT (Италия) и др. Эти САП, а также ряд других имеют определенные возможности и особенности [3, 15].

САП EXAPT-2. Используется для программирования токарной обработки. При подготовке информации обобщенные технологические указания записываются фразами промежуточного языка процессор — постпроцессор. Контуры описываются в направлении обхода по часовой стрелке так, что каждая новая фраза добавляет к ранее заданному участку контура новый элемент. Контуры при описании должны быть замкнуты. В силу симметрии тел вращения описывается половина их продольного сечения. Участки контура, являющиеся проекциями цилиндрических и торцовых поверхностей, задаются упрощенно с помощью модификаторов DIA, d и PLAN, z. Геометрические определения контуров располагаются между фразами CONTUR и TERMCO. Модификаторы BLANCO и PARTCO в слове CONTUR показывают, что описывается исходная заготовка или готовая деталь. Определение контуров ведется в системе координат детали. Связь систем координат детали и станка задается фразами, определяющими положение базы крепежного приспособления относительно начала системы координат станка

$$\text{CHUCK/n, l, } d_a, \ l_a, \ d_i, \ l_i$$

и положение системы координат детали относительно базы крепежного приспособления

$$\text{CLAMP/}l_s, \text{ INVERS.}$$

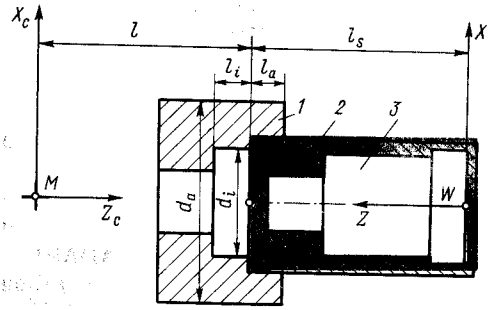


Рис. 10.14. Параметры установа, указываемые при программировании в САП EXAPT-2 для связи координат детали и станка

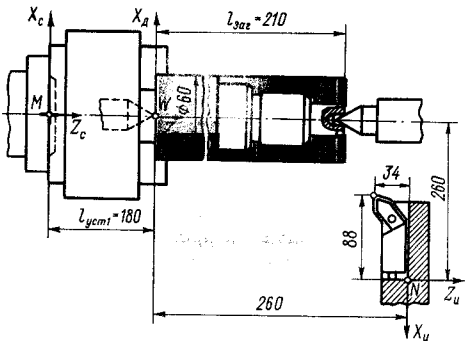


Рис. 10.15. Схема для программирования обработки в САП EXAPT-2

Обозначения параметров в этих фразах даны на рис. 10.14. В последней из фраз модификатор INVERS является признаком обратной ориентации детали *3* относительно ее расположения на чертеже детали при зажиме заготовки *2* в кулачках патрона *1*.

Назначение упомянутых и некоторых других понятий входного языка EXAPT-2 поясняет пример 1.

Пример 1. *Программирование токарной операции изготовления вала (рис. 10.15) на языке САП EXAPT-2.* Фрагменты текста исходной информации приведены по группам данных.

Общие данные:

```
1  PARTNO/WALSE
2  MACHIN/16K20F3-N221
3  PART/MATERL,4
```

Здесь так же как и в EXAPT-1, записано: 1 — Номер детали/Вал; 2 — Станок/16К20Ф3 Н221; 3 — Деталь/Материал, код 4.

Описание контура заготовки:

```
4  CONTUR/BLANCO
5  BEGIN/0,0,XLARGE,PLAN,0
6  RGT/DIA,60
7  RGT/PLAN,210
8  RGT,DIA,0
9  TERMCO
```

Здесь 4 — Контур/Контур заготовки; 5 — Начало/$x=0$, $z=0$, x больше, Вертикаль, $z=0$; 6 — Вправо/Диаметр 60 мм; 7 — Вправо/Вертикаль, $z=210$ мм; 8 — Вправо/Диаметр 0 (это фиктивный участок, замыкающий контур); 9 — Конец контура.

Описание контура детали (рис. 10.16):

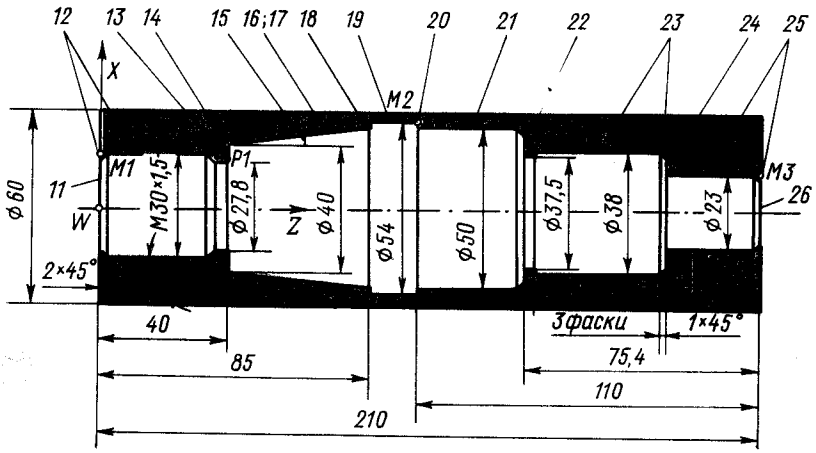


Рис. 10.16. Обозначения геометрических элементов для САП EXAPT-2

```
10 CONTUR/PARTCO
11 BEGIN/0,0,XLARGE,PLAN,0,BEVEL,2
12 M1,RGT/DIA,30
13 LFT/PLAN,40
14 P1=POINT/40,(40/2)
15 A=ATAN(1/10)
16 L1=LINE/P1,ATANGL,A
17 RGT/L1
18 LFT/PLAN,85
19 RGT/DIA,54
20 M2,RGT/PLAN
21 LFT/DIA,50,BEVEL,1
22 RGT/PLAN,(210-75.4)
23 LFT/DIA,38,BEVEL,1
24 RGT/PLAN,(210-30)
25 LFT/DIA,23,BEVEL,1
26 M3,RGT/PLAN,210
27 RGT/DIA,0
28 TERMCO
```

Здесь в строках 10 и 28 записаны фразы начала и конца описания контура. В строке 14 точка P1 определена координатами $z=40$ мм, $x=40/2$ мм. В строке 15 записано арифметическое определение A = arctg (1/10). В строке 16 прямая L1 задана точкой P1 и углом, величина которого определена в строке 15. В строках 11—13 и 17—27 даны геометрические определения элементов контура детали. Маркеры M1, M2 и M3 используются для последующих ссылок на ограниченные ими участки контура в инструкциях по выполнению технологических указаний.

Далее заданы:

безопасное расстояние

```
29 CLDIST/2,
```

на которое не доходит инструмент при быстром его подводе в зону резания:

безопасная позиция

```
30 SAFPOS/220,50,
```

в которой осуществляется смена инструмента;

припуск на обработку

```
31 OVSIZE/FIN,0.5,
```

определяющий границу зоны черновой обработки;

параметры крепежного приспособления (код 810006)

```
32 CHUCK/810006,180,100,30,40,30,
```

расположение заготовки при ее закреплении в первом установе

```
33 CLAMP/0,
```

устанавливающее связь между системами координат детали и станка.

Технологические указания записаны в строках:

```
34 A1=TURN/SO,LONG,TOOL,1,1,OSETNO,1,
   SETANG,90,ROUGH
35 A2=CONT/SO,TOOL,2,2,OSETNO,2,
   SETANG,90,FIN,
```

которые определяют: 34 — A1 = Точение/Одиночная операция, Направление подачи параллельно оси вращения, Инструмент номер 1 установлен в первой позиции резцедержателя, Корректор номер 1, Угол установки резца 90°, Черновая обработка; 35 — A2 = = Проход вдоль контура/Одиночная операция, Инструмент номер 2 установлен во второй позиции резцедержателя, Корректор номер 2, Угол установки резца 90°, Получистовая обработка.

Инструкции по выполнению технологических указаний заданы в строках:

```
36 CUTLOG/BEVORE
37 COOLNT/ON
38 WORK/A1,A2
39 CUT/M2,TO,M3
```

Здесь 36 — Расположение инструмента/Перед осью вращения (эта фраза определяет квадрант обработки); 37 — Охлаждение/Включить, 38 — Вызов операций/A1 и A2; 39 — Обработать/Участок контура от M2 до M3.

Аналогично записываются технологические указания и инструкции по их выполнению для обработки детали во втором установе.

САП GTL-T. Траектория инструмента в САП GTL-T определяется по заданным обобщенным схемам обработки участков заготовки, а в САП GTL-3 — по параметрам типовых форм отверстий и других участков, схемы обработки которых занесены в каталог постоянной технологической информации.

Исходная информация вводится с клавиатуры, построчно высвечивается на экране текстового дисплея для контроля и выводится на печать (см. пример 2).

Пример 2. *Исходная информация, при программировании в GTL-T токарной операции обработки вала (см. рис. 10.16) во втором установе.* На рис. 10.17 приведен эскиз детали с обозначениями геометрических элементов. Распечатка текста исходной информации:

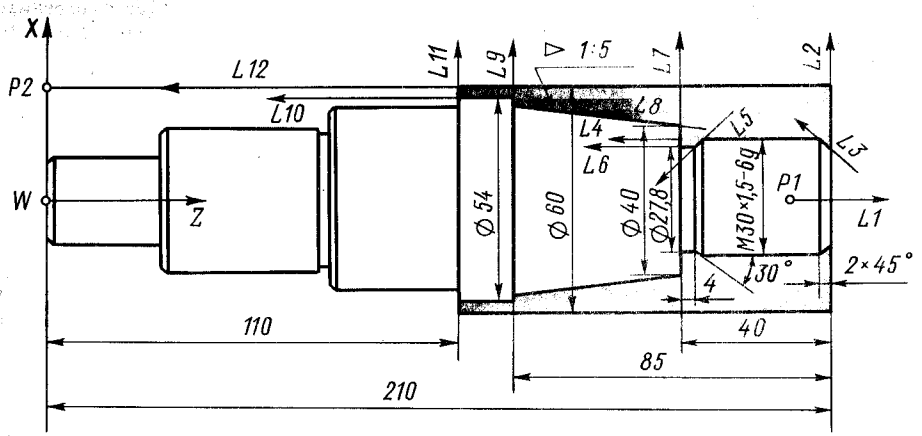


Рис. 10.17. Обозначение геометрических элементов для САП GTL-T

```
001 SVS/CPR,CC
002 P1=Z200/X0
003 P2=Z0,X60
004 L1=P1,A0
005 L2=LX,Z210
006 L3=Z210,X26,A135
007 L4=-LZ,X30
008 L5=Z174,X27.8,A-150
009 L6=-LZ,X27.8
010 L7=LX,Z170
011 L8=Z170,X40,Z70,X60
012 L9=LX,Z125
013 L10=-LZ,X54
014 L11=LX,Z110
015 L12=-LZ,X60
016 PF1=P1,L1,L2,L3,L4,L5,L6*
017 L7,L8,L9,L10,L11,L12,P2
018 PF2=P1 ,L1,L2,L12,P2
019 CTUR/Z260,X260
020 OUS.5/L4,L10
021 TL1/FA1,SD2,CLNT,CORR4
022 RUGH/L4,L10,PARA
023 TL2/FA2,SD2,CLNT,CORR5
024 FINI/L3,L10
025 TOOL4/CODE3,CS50,FR1.5,M4*
026 PZ-22,PX-88,ANG90,METR
027 TL4/FA4,SD3,CLNT,CORR6
028 THRD/Z210,X30,LENG-36*
029 NPASS5,WDCL4
030 PLOT/S.75,D100,L240,ALL
031 UST2**22/8/1988
032 END
```

Пояснения к программе

Строка 001 — указание системе (SVS) о выводе на печать результатов геометрических расчетов (CPR) и контроле коллизии (CC), т. е. о проверке отсутствия столкновений инструмента с заготовкой при его перемещениях на быстром ходу.

Строки 002, 003 — точки P1 и P2 заданы координатами z и x.

Строка 004 — прямая L1 задана точкой P1 и углом 0° (A0) с осью вращения (направление прямой определяется углом).

Строки 005, 010, 012 и 014 — прямые L2, L7, L9 и L11 параллельны оси X и заданы координатами z (направление прямой определяется осью координат со знаком).

Строки 006, 008 — прямые L3 и L5 заданы координатами z и x точек и углами (A).

Строки 007, 009, 013, 015 — прямые L4, L5, L10 и L12 параллельны оси Z и заданы координатами x.

Строка 011 — прямая L8 задана координатами z и x двух точек (направление прямой принимается от первой заданной точки ко второй).

Строки 016, 017 — контур PF1 (детали) задан от точки P1 последовательностью прямых L1 — L12 до точки P2.

Строка 018 — контур PF2 (заготовки) задан от точки P1 последовательностью прямых L1, L2 и L12 до точки P2.

Строка 019 — исходное положение резцедержателя (CTUR) задано координатами его базовой точки в системе координат детали: $z=260$ мм и $x=260$ мм.

Строка 020 — припуск на окончательную обработку (OUS) 0,5 мм задан для участка контура детали, определенного прямыми L4—L10.

Строки 021, 023, 027 — условия работы инструментов TL1, TL2 и TL4; номер позиции (FA); безопасное расстояние (SD); работа с охлаждением (CLNT); номер корректора (CORR).

Строка 022 — черновая обработка (RUGH) участка контура детали, определенного прямыми L4 — L10, проходами, параллельными оси вращения (PARA);

Строка 024 — окончательная обработка (FINI) участка контура детали, определенного прямыми L3 — L10.

Строки 025, 026 — параметры инструмента TL4: код (CODE) 3 (кодом обозначается назначение инструмента: 1 — черновая обработка; 2 — чистовая обработка; 3 — нарезание резьбы; 4 — проточка канавок и т. д.); скорость резания (CS) 50 м/мин, подача (FR) 1,5 мм/об; направление вращения шпинделя против часовой стрелки (указано вспомогательной функцией M4); координаты вершины инструмента в системе координат инструмента с началом в базовой точке резцедержателя: $z=-22$ мм и $x=-88$ мм; угол установа (ANG) 90°; тип резьбы — метрическая (METR).

Строки 028, 029 — нарезание резьбы (THRD) проходами от точки с координатами $z=210$ мм и $x=30$ мм влево на длину (LENG) 36 мм; число проходов (NPAS) 5; ширина канавки для выхода резьбового резца (WDCL) 4 мм.

Строка 030 — указание о вычерчивании (PLOT) в масштабе (S) 0,75; поле чертежа ограничено диаметром (D) 100 мм и длиной (L) 240 мм; прочертить контуры детали и заготовки, а также траектории инструментов во всех переходах (ALL).

Строка 031 — комментарий с наименованием УП и датой.

Строка 032 — конец текста (END).

В данном тексте описан только инструмент TL4, а остальные инструменты наладки определены при программировании токарной операции обработки этой детали в первом установе, и их параметры хранятся на магнитном диске.

В соответствии с указанием в строке 001 текста исходной информации печатается таблица параметров заданных геометрических элементов контура детали и заготовки, используемая для контроля. Далее по указанию в строке 030 в том же выходном документе прочерчиваются с помощью тепловой печати контуры детали и заготовки и траектории инструментов при черновой обработке, чистовой обработке и нарезании резьбы, а также печатается содержание кадров УП с указанием параметров инструментов, продолжительности их работы и общего времени работы станка по УП в автоматическом цикле.

10.4. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ СПД ЧПУ

В САП после ввода в ЭВМ файла исходных данных на базе процессора получают геометрическую и технологическую информацию о заготовке и траектории движения инструмента. Исходная программа обрабатывается процессором и преобразуется во внутренний формат, который содержит закодированную траекторию движения центра инструмента при обработке заготовки и заданные технологические параметры. Протокол трансляции, если он был заказан в программе, выдается на устройство широкой печати, куда выводятся диагностические сообщения об ошибках в исходной программе.

Оттранслированная без ошибок программа может быть отработана графическим постпроцессором для получения на графопостроителе копии изображения траектории инструмента в необходимом масштабе. Для визуальной оперативной отладки изображение можно высветить на экране графического дисплея.

Для получения управляющей перфоленты необходимо вызвать постпроцессор соответствующего станка через описание его в исходной программе или путем диалога после окончания расчета программы процессора.

Основные элементы языка СПД ЧПУ состоят из символом алфавита, арифметических операторов, ограничителей, идентификаторов, служебных слов, меток, скалярных и геометрических данных.

Символы алфавита можно разбить на три группы: прописные буквы латинского алфавита от A до Z; десятичные цифры от 0 до 9, специальные знаки.

Идентификатор используется для представления в исходной программе наименований скалярных и геометрических величин, наименований массивов, имен подпрограммы и т. д. В языке СПД идентификатор состоит из набора (от 1 до 5) алфавитно-цифровых символов, например: P1=POI NT/20.5,30.2, 44.5, где — P1 — идентификатор геометрической инструкции определений точки; DELTA=0.85, DELTA — идентификатор скалярной (переменной) величины.

Скалярные данные представлены скалярными константами и скалярными

переменными. Скалярные константы — значения, не изменяющиеся в процессе работы программы, скалярные переменные — идентификаторы, арифметические значения, изменяющиеся при выполнении программы.

Геометрические данные (точки, прямые, окружности, кривые второго порядка и др.) представлены идентификаторами, которые могут быть простыми или индексированными. Индексированные идентификаторы представляют собой массив элементов с индексом, заключенным в скобки. Индекс определяет порядковый номер элемента массива. В СПД ЧПУ используется одномерный массив данных, который определяется с помощью инструкции RESERV.

Программа, записанная на языке СПД, состоит из инструкций, которые по функциональному назначению можно разделить на следующие типы: рабочие, арифметические, геометрические, инструкции обработки, движения, особые и графические.

Рабочие инструкции обеспечивают основное управление при обработке программ процессора, геометрические инструкции позволяют определить геометрические элементы детали, арифметические — присвоить значения скалярным переменным, инструкции обработки — установить технологические условия обработки заготовки, инструкции движения — описать передвижение инструмента при обработке детали. Особые инструкции дают возможность упростить программирование обработки сложных заготовок путем применения различных циклов, подпрограмм, условных и безусловных переходов. Графические инструкции предназначены для описания способа изображения траектории обработки, указания графического устройства отображения.

Каждый тип инструкции имеет свой формат, или синтаксис написания. Основной формат включает главное слово, за которым следуют знак «/» и второстепенная часть, содержащая вспомогательные слова, модификаторы и численные значения параметров. Если параметр не является обязательным, при описании формата инструкции его заключают в квадратные скобки. Если предполагается выбор одного из возможных значений параметра, параметр заключают в фигурные скобки. Рассмотрим более подробно каждый из типов инструкций.

Рабочие инструкции

Первой рабочей инструкцией является инструкция *начала программы*, которая определяется главным словом PARTNO. Эта инструкция должна находиться в начале программы и использоваться только один раз. Произвольный текст (с применением как русского, так и латинского алфавитов) в инструкции появляется при распечатке программы и сохраняется для передачи постпроцессору.

Примеры написания инструкции начала программы:

```
PARTNO/Программа  205
PARTNO/текст-программа
PARTNO/PRN 500,dat:535 26 40
```

За инструкцией начала программы следует инструкция *управления распечаткой:* CLPRNT. Если эта инструкция задана в исходной программе, в процессе отработки программы осуществляется последовательная распечатка исходной программы, канонических форм, геометрических элементов и результатов рассчитываемой траектории.

Часто употребляемой рабочей инструкцией является инструкция *определения массива:* RESERV/идентификатор переменной, макс. знач. индекса, ... Эта инструкция позволяет установить массив через идентификатор массива и максимальное значение индекса, т. е. задать число элементов массива. Значение индекса должно быть целым положительным числом. С помощью одной инструкции можно определить до семи массивов. Чтобы найти большее число массивов применяют несколько инструкций определения массива. Инструкции RESERV должны находиться в исходной программе до первого появления индексированного идентификатора.

Например, если имеется массив точек с индексированным идентификатором от P(1) до P(50), массив прямых от L(1) до L(20), L2(1) до L2(60), массив окружностей от C1(1) до C1(30), то инструкция определения массива будет иметь следующий вид:

```
REZERV/P,50,L1,20,L2,60,C1,30
```

Обязательной является инструкция *вызова постпроцессора* MACHIN/..., позволяющая указать в программе имя постпроцессора, который должен быть вызван после отработки исходной программы процессором. Данную инструкцию можно не вводить в основную программу, тогда вызов того или иного постпроцессора будет выполняться в режиме диалога на пульте терминала (дисплея) после отработки программы процессора.

Последняя рабочая инструкция — инструкция *определения конца программы* FINI. Она указывает процессору на окончание всех инструкций, на необходимость печати результатов (если есть инструкция CLPRNT), и вызова постпроцессора (если есть инструкция MACHIN).

Арифметические инструкции

На языке СПД ЧПУ можно описывать различные вычислительные операции. Для вычислительной операции составляется арифметическое выражение, состоящее из скалярных констант, скалярных переменных и стандартных функций, объединенных арифметическими операторами.

О скалярных константах и скалярных переменных говорилось выше. Стандартные функции задаются идентификатором функции, определяемым служебным словом языка, и аргументом, находящимся за ним в скобках. Стандартные функции включают арифметические и геометрические функции: SINF — тригонометрический синус; COSF — тригонометрический косинус; TANF — тригонометрический тангенс; SQRTF — квадратный корень; ATANF — арктангенс; ABSF — абсолютная величина.

Аргументы тригонометрических функций должны выражаться в градусах, десятичным числом, содержащим целую и дробную части.

Так, запись B=20*SINF(30.5) означает, что скалярной переменной, обозначенной идентификатором B, присвоено значение, равное произведению числа 20 на синус угла 30°30′.

Аргументы функций могут быть заданы скалярными константами и скалярными переменными, значения которых определены предварительно, а также любым допустимым арифметическим выражением, например:

```
ALF=ATAN(45.3-20.8)*COSF(23.35)/
   28.44
DELT=56.8*SINF(ALF)
```

Здесь предварительно определено значение скалярной переменной ALF как значение арктангенса, аргументом которого является конкретное арифметическое выражение. Затем ALF используется как аргумент функции синуса в арифметическом выражении для определения скалярной переменной DELT.

Большое практическое значение имеют геометрические функции как функции извлечения канонических форм из ранее установленных геометрических элементов (особенно из предварительно найденных точек): XGEOF, YGEOF, ZGEOF. Точка определена, если известны ее координаты по всем осям, т. е. x, y, z.

Допустим, P15 — идентификатор ранее найденной точки. Тогда выражения

```
A=XGEOF(P15),B=YGEOF(P15),
   C=ZGEOF(P15)
```

свидетельствуют о том, что скалярной переменной, обозначенной идентификатором A, присваивается значение, равное по величине значению координаты x точки, обозначенной идентификатором P15. Аналогично определяются другие скалярные переменные (B, C), с той лишь разницей, что их значения будут равны соответствующим координатам точки P15 по осям Y и Z.

Отсюда видно, что аргументом геометрической функции может быть только идентификатор геометрической переменной.

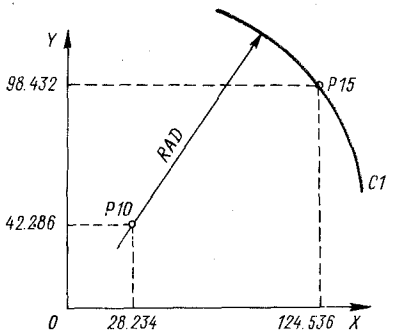


Рис. 10.18. Определение радиуса окружности

Пример. *Вариант практического использования геометрических функций.* Допустим, имеются две точки (рис. 10.18): P10 (28.234, 42.286) и P15 (124.536, 98.432). Необходимо провести окружность C1, центром которой будет точка P10, при этом окружность должна пройти через точку P15. Для определения окружности необходимо знать координаты центра и радиус. Координатами центра C1 являются координаты точки P10, радиус $R = (\Delta x^2 + \Delta y^2)^{1/2}$. В СПД радиус можно найти следующим образом:

```
RAD=SQRTF((XGEOF(P15)-XGEOF(P10)*
(XGEOF(P15)-XGEOF(P10))+(YGEOF(P15)-
YGEOF(P10))*(YGEOF(P15)-YGEOF(P10)))
C1=CIRCLE/CENTER,P10,RADIUS,RAD
```

Здесь RAD — идентификатор скалярной переменной, соответствующий радиусу окружности C1.

Из приведенного примера видно, что СПД ЧПУ обладает довольно широкими возможностями для выполнения различных вспомогательных расчетов, которые в других аналогичных системах автоматического программирования осуществляются вне вычислительного процесса на ЭВМ.

Геометрические инструкции

Геометрическими называются инструкции для определения геометрических элементов, используемых при описании траектории инструмента. Это наиболее обширная группа инструкций СПД ЧПУ, да и вообще всех систем автоматического программирования, поэтому их описанию необходимо уделить особое внимание.

Геометрическими элементами являются точки, прямые, окружности, кривые второго порядка и т. д. Идентификаторы геометрических переменных могут быть простыми или индексированными. Язык СПД ЧПУ не зависит от выбранной единицы длины. Однако для удобства линейные размеры задают в миллиметрах, углы — в градусах (десятичным числом). Угол считается положительным, если его отсчет рассматривается против часовой стрелки от положительного направления оси абсцисс (X). Все геометрические элементы программы задаются пользователем (программистом) в удобной для него системе координат, которая выбирается без какой-либо привязки к конкретному станку.

Прямые и окружности определяются в плоскости XOY. Для всех точек, если значение координат по оси Z не указывается, оно принимается равным нулю.

Геометрические инструкции начинаются главным словом, за которым стоит символ /. Второстепенная часть позволяет уточнить определение элемента, заданного главным словом. Общий вид геометрической инструкции:

$$A = B/C,$$

где A — идентификатор геометрической переменной (простой или индексированной); B — главное слово; C — второстепенная часть, уточняющая геометрический элемент.

Инструкции определения точек. Геометрические инструкции, определяемые главным словом POINT, позволяют найти точку одним из приведенных ниже способов.

1. Точка, определяемая прямоугольными координатами. На рис. 10.19, *а* показан пример определения точки по заданным координатам x, y, z. За главным словом POINT во второстепенной части инструкции не следуют никакие вспомогательные слова, уточняющие данную точку:

```
ТОЧКА=POINT/X,Y,[Z]
P1=POINT/50.24,63.8
P10=POINT/50.24,63.8,100
```

2. Точка, определяемая полярными координатами (рис. 10.19, *б*):

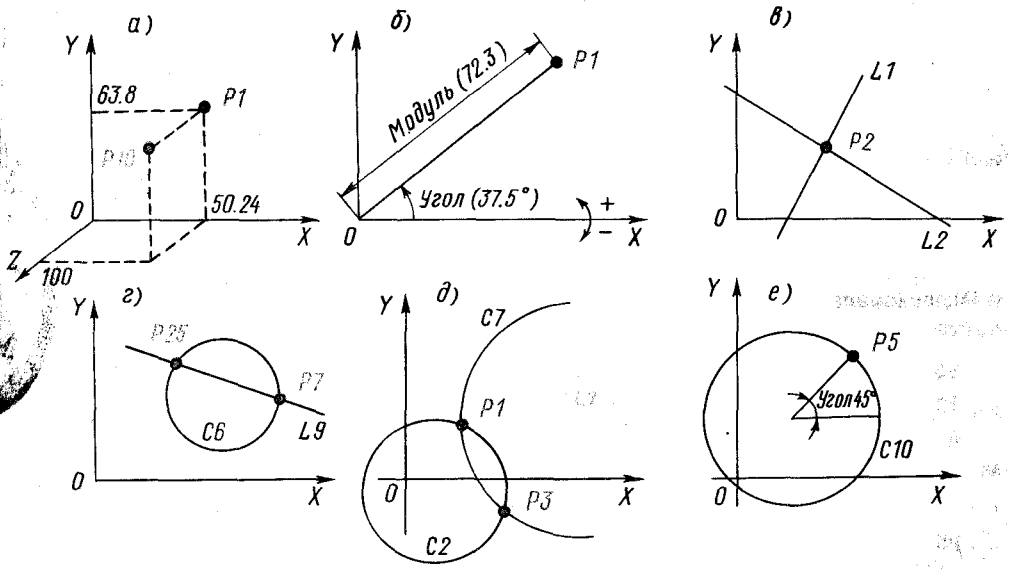


Рис. 10.19. Геометрические инструкции определения точек

```
ТОЧКА=POINT/RTHETA,XYPLAN,МОДУЛЬ,
    УГОЛ
P1=POINT/RTHETA,XYPLANE,72.3,37.5
```

Вспомогательные слова RTHETA и XYPLAN указывают на то, что точка определяется полярными координатами в плоскости *XOY*. Параметр МОДУЛЬ указывает на модуль вектора, соединяющего точку с началом координат, а параметр УГОЛ — на угол между вектором и осью *X*.

3. Точка, определяемая пересечением двух прямых (рис. 10.19, *в*):

```
ТОЧКА=POINT/INTOF,ПРЯМАЯ1,ПРЯМАЯ2
P2=POINT/INTOF,L1,L2
```

Вспомогательное слово INTOF указывает, что точка определяется пересечением. Параметры ПРЯМАЯ1 и ПРЯМАЯ2 — идентификаторы двух предварительно найденных пересекающихся прямых.

4. Точка, определяемая пересечением прямой с окружностью (рис. 10.19, *г*):

```
ТОЧКА=POINT/{XSMALL
             XLARGE
             YSMALL
             YLARGE}, INTOF,
                      ПРЯМАЯ,
                      ОКРУЖНОСТЬ
```

Идентификаторами ПРЯМАЯ и ОКРУЖНОСТЬ задаются предварительно установленные пересекающиеся прямая и окружность. Модификаторы XSMALL, XLARGE, YSMALL, YLARGE позволяют однозначно указать одну точку пересечения прямой с окружностью. На выбор точки пересечения с меньшим значением координаты *x* указывает модификатор XSMALL, с меньшим значением *y* — модификатор YSMALL. Модификаторы XLARGE и YLARGE означают, что надо выбрать большее значение координат *X* и *Y* соответственно. Согласно рис. 10.19, *г*, точки P7 и P25 можно определить следующим образом:

```
P7=POINT/YSMALL,INTOF,L9,C6
P25=POINT/YLARGE,INTOF,L9,C6
```

Частные случаи: для горизонтальных прямых применяют только модификаторы XSMALL и XLARGE, для вертикальных — только YSMALL и YLARGE.

5. Точка, определяемая пересечением двух окружностей (рис. 10.19, *д*):

```
ТОЧКА=POINT/{XSMALL
             XLARGE
             YSMALL
             YLARGE}, INTOF,
                      ОКРУЖНОСТЬ1,
                      ОКРУЖНОСТЬ2
```

Идентификаторы ОКРУЖНОСТЬ1 и ОКРУЖНОСТЬ2 задают две предварительно найденные окружности. Модификаторы XSMALL, XLARGE, YSMALL и YLARGE позволяют однозначно указать точку пересечения двух окружностей. Эти модификаторы используются так же, как и при определении точки пересечения прямой с окружностью. Точки P3 и P1, показанные на рис. 10.19, *д*, можно найти следующим образом:

```
P3=POINT/YSMALL,INTOF,C7,C9
P1=POINT/YLARGE,INTOF,C7,C9
```

6. Точка на окружности, определяемая центральным углом (рис. 10.21, *е*):

```
ТОЧКА=POINT/ОКРУЖНОСТЬ,ATANGL,УГОЛ
P5=POINT/C10,ATANGL,45
```

Идентификатор ОКРУЖНОСТЬ задает предварительно определенную окружность. Вспомогательное слово ATANGL указывает на то, что точка задается углом. Идентификатор УГОЛ задает значение угла между радиусом окружности, соединяющим центр с определяемой точкой, и осью *X*.

Инструкции определения прямых. Задаются главным словом LINE и второстепенной частью и находят прямую одним из указанных ниже способов. Предполагается, что прямая расположена в плоскости *XOY*, если не введены дополнительные инструкции преобразования координат (они рассмотрены ниже).

1. Прямая, проходящая через две точки (рис. 10.20, *а*):

```
ПРЯМАЯ=LINE/ТОЧКА1,ТОЧКА2
ПРЯМАЯ=LINE/X1,Y1,X2,Y2
```

Точки, необходимые для определения прямой, могут задаваться идентификаторами ранее найденных точек или значениями их координат. Идентификаторы ТОЧКА1 и ТОЧКА2 задают две предварительно определенные точки, идентификаторы X1, У1, X2 и У2 — координаты точек:

```
L1=LINE/P7,P9
L1=LINE/60,47.8,25,55
```

Для примера определим прямые, пересекающие оси *X* и *Y*:

```
LX=LINE/0,0,30,0
LY=LINE/0,0,0,30
```

Прямая LX проходит через точки с координатами 0,0 и 30,0, т. е. через точки, лежащие на оси *X*. Прямая LY проходит через точки, лежащие на оси *Y*.

2. Прямая, проходящая через точку под заданным углом к оси *X* (рис. 10.20, *б*)

```
ПРЯМАЯ=LINE/ТОЧКА,ATANGL,УГОЛ
```

Идентификатор ТОЧКА задает предварительно найденную точку, идентифи-

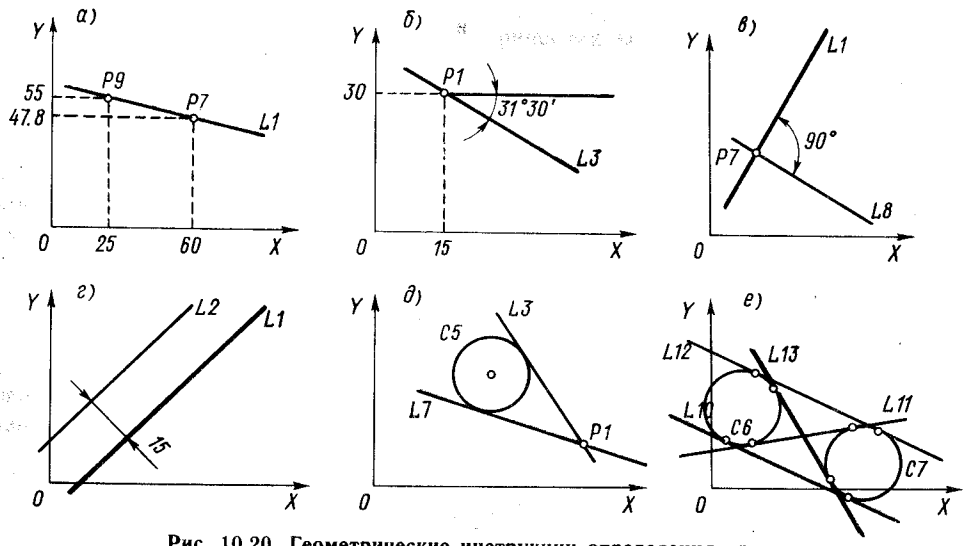


Рис. 10.20. Геометрические инструкции определения прямых

катор УГОЛ — значение угла между определяемой прямой и осью *X*. Вспомогательное слово ATANGL указывает на то, что определяемая прямая будет задаваться углом:

```
L3=LINE/P1,ATANGL,-31.5
L3=LINE/15,30,ATANGL,-31.5
```

3. Прямая, проходящая через точку, перпендикулярная к заданной прямой (рис. 10.20, *в*):

```
ПРЯМАЯ=LINE/ТОЧКА,PERPTO,ПРЯМАЯ
L1=LINE/P7,PERPTO,L8
```

Идентификаторы ТОЧКА и ПРЯМАЯ задают предварительно найденные точку и прямую, вспомогательное слово PERPTO указывает, что определяемая прямая перпендикулярна к заданной.

4. Прямая, параллельная заданной прямой на заданном расстоянии (рис. 10.20, *г*):

```
ПРЯМАЯ=LINE/PARLEL,ПРЯМАЯ1,{XSMALL
                            {XLARGE
                            {YSMALL
                            {YLARGE},
    РАССТОЯНИЕ
```

Идентификаторы: ПРЯМАЯ1 — задание предварительно найденной прямой; РАССТОЯНИЕ — указание расстояния в плоскости *XOY* от ПРЯМОЙ1 до определяемой прямой. Модификаторы XSMALL, YSMALL, XLARGE и YLARGE позволяют однозначно указать положение искомой прямой относительно ранее определенной. ПРЯМУЮ1 можно определить и так (рис. 10.20, *г*):

```
L1=LINE/PARLEL,L2,YSMALL,15
```

Если ПРЯМАЯ1 параллельна оси *X*, используются модификаторы YSMALL и YLARGE; если ПРЯМАЯ1 параллельна оси *Y* — модификаторы XSMALL, XLARGE. Вспомогательное слово PARLEL указывает, что определяемая прямая параллельна заданной.

5. Прямая, проходящая через точку и касающаяся окружности (рис. 10.20, *д*):

```
ПРЯМАЯ=LINE/ТОЧКА,{RIGHT},TANTO,
                  {LEFT }
    ОКРУЖНОСТЬ
```

Идентификаторы ТОЧКА и ОКРУЖНОСТЬ задают предварительно определенные точку и окружность, модификатор RIGHT уточняет, что точка касания находится справа от прямой, соединяющей заданную точку с центром окружности (если смотреть из заданной точки в направлении центра окружности). Модификатор LEFT уточняет левое расположение точки касания. Вспомогательное слово TANTO указывает на касание геометрических элементов:

```
L7=LINE/P1,LEFT,TANTO,C5
L3=LINE/P1,RIGHT,TANTO,C5
```

6. Прямая, касающаяся двух окружностей (рис. 10.20, *е*):

```
ПРЯМАЯ=LINE/{RIGHT},TANTO,
            {LEFT }
ОКРУЖНОСТЬ1,{RIGHT},TANTO,
            {LEFT }
ОКРУЖНОСТЬ2
```

Идентификаторы ОКРУЖНОСТЬ1 и ОКРУЖНОСТЬ2 задают две предварительно определенные окружности, модификаторы RIGHT и LEFT указывают положение точки касания относительно прямой, соединяющей центры окружностей, если смотреть из центра первой окружности в направлении центра второй окружности. Показанные на рис. 10.20, *е* прямые L10, L11, L12 и L13 можно определить следующим образом:

```
L10=LINE/LEFT,TANTO,C7,LEFT,TANTO,C6
L11=LINE/RIGHT,TANTO,C7,LEFT,TANTO,C6
L12=LINE/RIGHT,TANTO,C7,RIGHT,
TANTO,C6
L13=LINE/LEFT,TANTO,C7,RIGHT,TANTO,C6
```

Инструкции определения окружностей. Геометрические инструкции с главным словом CIRCLE позволяют определить окружность одним из перечисленных ниже способов. При этом, как уже говорилось, размеры по оси *Z* не учитываются, т. е. предполагается, что окружность расположена в плоскости *XOY*.

1. Окружность, определяемая центром и радиусом (рис. 10.21, *а*):

```
ФОРМАТ 1:ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/X,Y,
РАДИУС
```

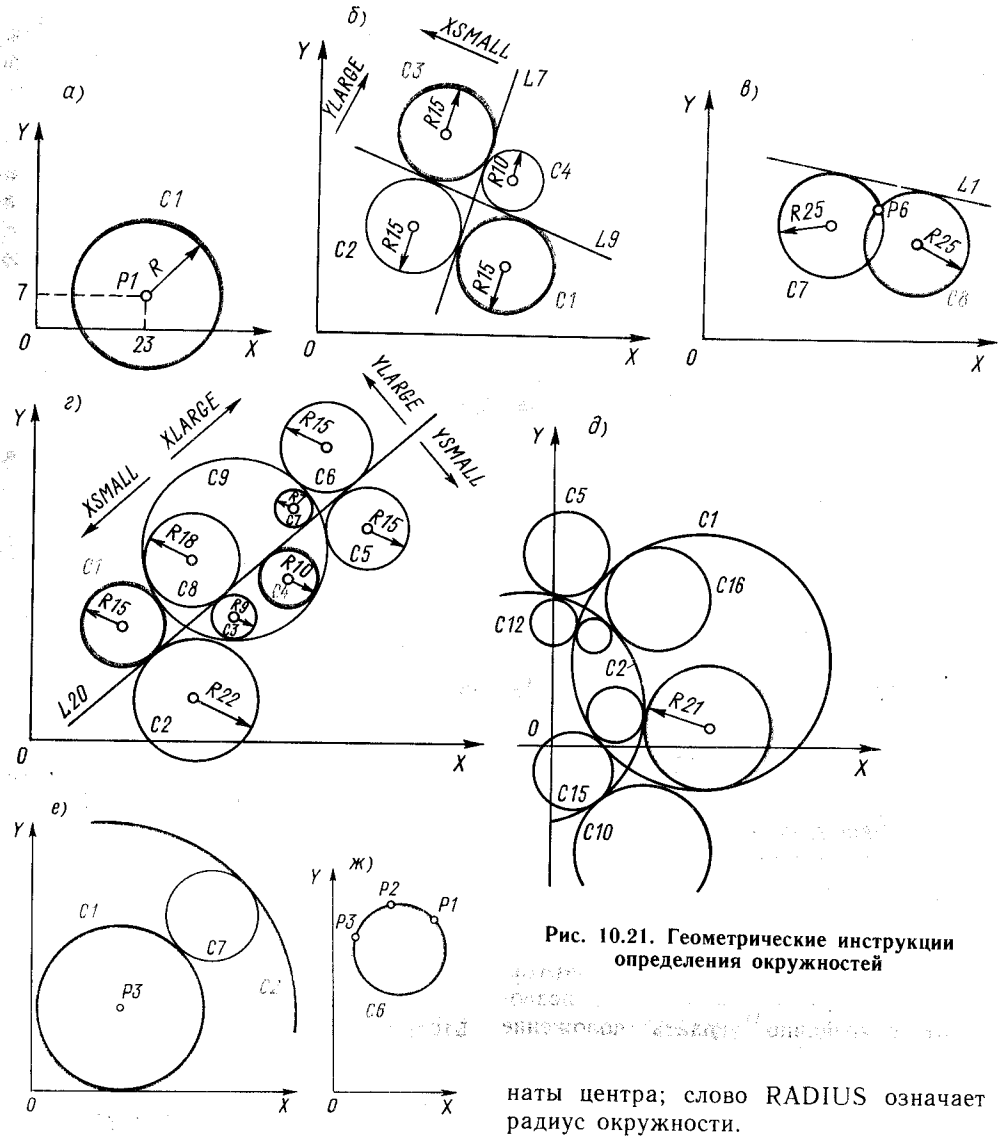


Рис. 10.21. Геометрические инструкции определения окружностей

ФОРМАТ 2:ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/CENTER, ТОЧКА,RADIUS,РАДИУС

В ФОРМАТЕ 1: X и Y — координаты центра окружности; РАДИУС — значение радиуса окружности или идентификатор скалярной переменной, равной радиусу окружности. В ФОРМАТЕ 2: идентификатор ТОЧКА задает предварительно найденную точку, которая будет служить центром окружности; вспомогательное слово CENTER указывает, что окружность определяется через координаты центра; слово RADIUS означает радиус окружности.

2. Окружность, определяемая радиусом и касающаяся двух пересекающихся прямых (рис. 10.21, *б*):

ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/{XSMALL, XLARGE, YSMALL, YLARGE},ПРЯМАЯ,

{XSMALL, XLARGE, YSMALL, YLARGE},ПРЯМАЯ,RADIUS,РАДИУС

Прямые, которых касаются окружности, предварительно известны; РАДИУС — значение радиуса. Модификаторы XSMALL, XLARGE, YSMALL и YLARGE задают позицию центра определяемой окружности относительно пересекающихся прямых (выше прямой, ниже, слева, справа). Окружности на рис. 10.21, *б* можно описать следующим образом:

```
C1=CIRCLE/XLARGE,L7,YSMALL,L9,
RADIUS,15
C2=CIRCLE/XSMALL,L7,YSMALL,L9,
RADIUS,15
C3=CIRCLE/XSMALL,L7,YLARGE,L9,
RADIUS,15
C4=CIRCLE/XLARGE,L7,YLARGE,L9,
RADIUS,15
```

Окружности можно задать и другими модификаторами при условии, что они однозначно определят требуемую окружность. Например, окружность C4, как и все остальные (см. рис. 10.21, *б*), можно задать так:

```
C4=CIRCLE/YSMALL,L7,XLARGE,L9,
RADIUS,10
```

3. Окружность, определяемая радиусом, касающаяся прямой и проходящая через точку (рис. 10.21, *в*):

```
ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/TANTO,
ПРЯМАЯ {XSMALL|XLARGE|YSMALL|YLARGE},ТОЧКА,
                                     RADIUS,
                                     РАДИУС
```

ПРЯМАЯ И ТОЧКА — предварительно найденные прямая и точка. Точка может принадлежать или не принадлежать заданной прямой. РАДИУС — значение радиуса определяемой окружности. Модификаторы XSMALL и YSMALL уточняют позицию центра радиуса определяемой окружности относительно заданной точки. На основании рис. 10.21, *в*:

```
C8=CIRCLE/TANTO,L1,XLARGE,P6,
RADIUS,25
C7=CIRCLE/TANTO,L1,XSMALL,P6,
RADIUS,25
```

Вместо модификатора XLARGE можно поставить модификатор YSMALL, но это не нарушает однозначности определения окружностей C8 и C7.

4. Окружность, определяемая радиусом, касающаяся прямой и дуги окружности (рис. 10.21, *г*):

```
ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/{XSMALL|XLARGE|YSMALL|YLARGE},ПРЯМАЯ
{XSMALL|XLARGE|YSMALL|YLARGE},{IN|OUT},
                                ОКРУЖНОСТЬ,
                                RADIUS,
                                РАДИУС
C1=CIRCLE/YLARGE,L20,XSMALL,OUT,C9,
RADIUS,15
C4=CIRCLE/YSMALL,L20,YLARGE,IS,C9,
RADIUS,15
```

Идентификаторы ПРЯМАЯ и ОКРУЖНОСТЬ — предварительно найденные прямая и окружность. РАДИУС — значение радиуса определяемой окружности. Модификаторы IN и OUT указывают, что центры двух окружностей находятся по одну или по разные стороны от точки касания (IN — внутреннее касание, OUT — внешнее касание). Первая группа модификаторов XSMALL, XLARGE, YSMALL, YLARGE — уточняет позицию центра определяемой окружности относительной заданной прямой, вторая группа аналогичных модификаторов уточняет выбор одной из двух возможных окружностей в зависимости от положения центра. Так, для окружности C1 модификатор YLARGE показывает, что центр окружности расположен выше прямой L20; модификатор XSMALL определяет левое положение C1 относительно окружности C9 и вне ее (OUT).

5. Окружность, определяемая радиусом и касающаяся двух окружностей (рис. 10.21, *д*):

```
ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/{XSMALL|XLARGE|YSMALL|YLARGE},{IN|OUT},
```

```
ОКРУЖНОСТЬ1, {IN / OUT}, ОКРУЖНОСТЬ2,
                RADIUS,
                РАДИУС
C3=CIRCLE/YSMALL,IN,C1,OUT,C2,
RADIUS,21
```

Идентификаторы ОКРУЖНОСТЬ 1 и ОКРУЖНОСТЬ 2 — две предварительно найденные окружности. Модификаторы IN и OUT указывают на внешнее и внутреннее касание определяемой окружности с каждой из заданных. Модификаторы XSMALL, XLARGE, YSMALL, YLARGE уточняют выбор определяемой окружности в зависимости от положения центра. Так, центр окружности С3 расположен ниже центра окружности С1, внутри ее (IN); внешнее касание (OUT) с окружностью С2.

6. Окружность, определяемая центром и касающаяся другой окружности (рис. 10.21, *е*):

```
ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/CENTER,ТОЧКА,
{LARGE / SMALL},TANTO,ОКРУЖНОСТЬ
C1=CIRCLE/CENTER,P3,SMALL,TANTO,C7
C2=CIRCLE/CENTER,P3,LARGE,TANTO,C7
```

Идентификатор ТОЧКА задает предварительно найденную точку, которая будет являться центром определяемой окружности. Идентификатор ОКРУЖНОСТЬ задает предварительно полученную окружность, которой будет касаться определяемая окружность. CENTER и TANTO — вспомогательные слова, указывающие подтип данной инструкции. Модификаторы LARGE и SMALL уточняют выбор одной из двух возможных окружностей (соответственно бóльшую или меньшую).

7. Окружность, проходящая через три точки (рис. 10.21, *ж*):

```
ОКРУЖНОСТЬ=CIRCLE/ТОЧКА 1,ТОЧКА 2,
ТОЧКА 3
C6=CIRCLE/P3,P2,P1
```

Три точки однозначно определяют окружность, т. е. координаты центра и радиус. Идентификаторы ТОЧКА 1, ТОЧКА 2, ТОЧКА 3 задают предварительно полученные точки, через которые проходит определяемая окружность.

Инструкция определения контура. Основной формат инструкции КОНТУР=CONTUR/ТОЧКА 1, ЭЛЕМЕНТЫ КОНТУРА И МОДИФИКАТОРЫ, ТОЧКА 2.

КОНТУР — идентификатор определяемого контура.

CONTUR — главное слово, указывающее тип инструкции.

Элементы контура — прямые и окружности, записанные в порядке, соответствующем порядку движения инструмента.

К модификаторам в данной инструкции относятся служебные слова, которые указывают на однозначность движения по элементам контура: CLW — движение по окружности по часовой стрелке; CCLW — движение по окружности против часовой стрелки. Модификаторы XSMALL, XLARGE, YSMALL и YLARGE уточняют точки пересечения прямой и окружности или точку пересечения окружностей, до которой необходимо двигаться в определенном месте контура.

ТОЧКА 1 и ТОЧКА 2 — идентификаторы точек начала и конца контура. Если точки начала и конца контура совпадают, контур замкнутый, если не совпадают — контур разомкнутый.

На рис. 10.22 показаны варианты разомкнутых контуров.

Контур, состоящий из одних прямых (рис. 10.22, *а*):

```
CONT1=CONTUR/P1,L1,L2,L3,L4,L5,L6,P2
```

Вследствие однозначности пересечения здесь отсутствуют модификаторы XSMALL, ..., YLARGE.

Контур с взаимно пересекающимися прямыми и окружностями (рис. 10.22, *б*):

```
CONT2=CONTUR/P3,L1,CCLW,YSMALL,C1,
XLARGE,L2,L3,CLW,YLARGE,C2,XLARGE,
L4,P4
```

В данном случае при описании контура используют модификаторы CLW (по часовой) и CCLW (против часовой стрелки), указывающие направление движения по окружностям, и модифика-

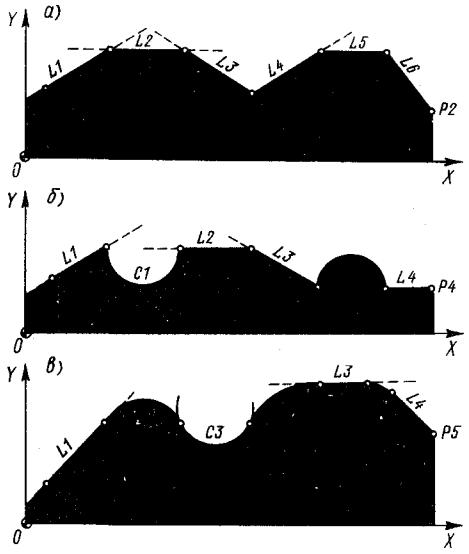


Рис. 10.22. Примеры разомкнутых контуров

торы XSMALL, ..., YLARGE, указывающие точки пересечения элементов.

Контур из элементов, которые касаются друг друга (рис. 10.22, *в*):

```
CONT3=CONTUR/P4,L1,CLW,C2,CCLW,C3,
CLW,C4,L3,CLW,C5,L4,P5
```

В инструкции описания этого контура использованы только модификаторы CLW и CCLW.

Контур, состоящий из взаимно касающихся друг друга элементов, называют плавным. На практике этот контур встречается чаще других, что обусловлено особенностями ввода коррекций на радиус фрезы в системах с ЧПУ, где необходим плавный сопряженный контур. Но это не исключает возможности использования в СПД ЧПУ и других типов контуров.

Инструкции движения

Эти инструкции позволяют описать перемещение центра инструмента в указанную точку и способы его перемещения. Они определяют начальную позицию инструмента, перемещение его в заданную точку, перемещение по приращению. Основной формат инструкции: ГЛАВНОЕ СЛОВО/ВТОРОСТЕПЕННАЯ ЧАСТЬ.

Идентификаторы второстепенной части являются идентификаторами скалярных констант и скалярных переменных или допустимыми арифметическими выражениями. Во второстепенной части может быть указана скорость перемещения.

Инструкция задания начальной точки движения. Формат инструкции:

```
1. FROM/ТОЧКА
2. FROM/X,Y,Z
```

FROM — главное слово, указывающее тип инструкции. Идентификатор ТОЧКА задает предварительно найденную точку — начальную (стартовую) точку движения; X, Y, Z — координаты точки начала движения по соответствующим осям.

Например, запись FROM/P2 или FROM/P4(5) означает, что допускается использование индексированного идентификатора; FROM/150, 40, 100 — начальная точка выбирается с координатами $x=150$ мм, $y=40$ мм, $z=100$ мм в принятой системе координат.

Инструкция движения к заданной точке позволяет установить координаты центра инструмента после перемещения его из предыдущей точки в заданную. Инструкция определяется главным словом GOTO.

Например, запись GOTO/P8 означает, что центр инструмента необходимо переместить в точку P8; GOTO/P8, 1200 — указано значение подачи, с которой произойдет перемещение центра инструмента в точку P8; GOTO/205, 136.7, 25.86, 50 — центр инструмента переместится в точку с координатами $x=205$ мм, $y=136{,}7$ мм, $z/25{,}86$ мм при подаче 50 мм/мин; GOTO/44+35.7 * COSF(35),98+ +35.7 * SINF(35), 102.5, 800 — здесь вместо значений координат x и y указаны определенные арифметические выражения.

Инструкция движения по приращению определяет движение в точку, положение которой будет отличаться от существующего положения на значение приращения. Главное слово в инструкции — GODLTA.

Запись GODLTA/0,0, —50 означает перемещение на величину $z=-50$ мм; GODLTA/

20, 30, 50, 180 — перемещение на величину 20 мм по координате x, на величину 30 мм по координате y и на величину 50 мм по координате z при подаче 180 мм/мин.

На практике эта инструкция применяется для установочных перемещений, особенно — по координате z.

Инструкция движения по контуру. Формат инструкции — АСТ/КОНТУР, где АСТ — главное слово; КОНТУР — идентификатор ранее определенного контура, например:

```
CONT1=CONTUR/P1,L2,CLW,C3,L4,P2
ACT/CONT1
```

Данную инструкцию можно использовать для определения сложного контура, состоящего из нескольких более простых контуров, описанных отдельно:

```
CONT2=CONTUR/P1,...,P2
CONT3=CONTUR/P2,...,P3
CONT4=CONTUR/P3,...,P4
CONT5=CONTUR/P4,...,P5
ACT/CONT2,CONT3,CONT4,CONT5
.........................
```

Инструкции обработки

Эти инструкции иногда называют технологическими. Их используют для задания параметров, необходимых для определения технологических условий обработки заготовок. Инструкции обработки должны находиться в исходной программе до команд движения. Процессор СПД проверяет синтаксис обработки. Интерпретация (представление) инструкций обработки и их параметров в управляющей программе зависит от постпроцессора станка. Поэтому ряд инструкций обработки не имеют постоянного формата второстепенной части. Он уточняется разработчиками постпроцессоров для того или иного станка и СЧПУ.

Рассмотрим некоторые технологические инструкции, которые имеют постоянный формат второстепенной части.

Формат инструкции *определения скорости подачи:*

$$\text{FEDRAT/СКОРОСТЬ,} \left\{ \begin{matrix} \text{MPM} \\ \text{MPT} \end{matrix} \right\}$$

Здесь FEDRAT — главное слово, определяющее тип инструкций; СКОРОСТЬ — значение скорости подачи (она может быть задана величиной или идентификатором скалярной переменной); MPT и MPM — модификаторы, уточняющие, в каких единицах задана скорость: в об/мин (MPT) или в мм/мин (MPM).

Например, запись FEDRAT/800, MPM означает, что после задания инструкции постпроцессор формирует участок управляющей программы с подачей при перемещении рабочих органов станка, равной 800 мм/мин.

Инструкция включения и выключения оборотов шпинделя станка:

$$\text{SPINDL/} \begin{matrix} \text{ON} \\ \text{OFF} \end{matrix}$$

Здесь SPINDL — главное слово, определяющее тип инструкции: слово ON указывает на включение шпинделя, OFF — на выключение.

Инструкция *быстрого перемещения* определяется словом RAPID. Она указывает, что движение должно выполняться с максимально возможной скоростью.

Инструкция *определения останова обработки* определяется словом STOP. Если в определенном месте исходной программы в СПД указана инструкция STOP, то в соответствующем месте УП будет находиться кадр с командой технологического останова M01 или M1 (в системах ЧПУ, где допускается опускание нулей перед значащей цифрой).

Для задания в УП других технологических команд в СПД используется инструкция *определения вспомогательной функции*: AUXFUN/НОМЕР, где параметр НОМЕР задает номер технологической команды. Например, если в исходной программе задана инструкция AUXFUN/8, в управляющей программе в определенном месте будет находиться кадр с командой M08 или M8, задающий включение охлаждения.

Для задания в УП выдержки времени в исходной программе задается инструкция *определения паузы*: DELAY/ВРЕМЯ, где параметр ВРЕМЯ задает значение выдержки времени в секундах. Допустим, в исходной программе задано DELAY/2, тогда в управляющей программе будет

сформирован кадр: для системы Н33 — кадр N...G 04X+000200F0560, для системы Н55 — кадр N...G 04X+000020.

Для задания команды на перемотку перфоленты после выполнения всей управляющей программы в СПД применяют инструкцию *управления перемоткой*, которая определяется словом REWIND.

Инструкция *определения коррекции траектории* позволяет задать необходимый вид коррекции траектории в зависимости от возможностей СЧПУ.

Инструкция *задания коррекции* через устройство управления станка определяется главным словом CUTCOM, за которым следуют символ / и параметры, указывающие тип коррекции. Параметры, стоящие за символом /, зависят от вида СЧПУ и вводимой коррекции. Строгих требований к параметрам нет, их задает пользователь в дополнениях к инструкции по программированию на СПД ЧПУ в зависимости от выбранного типа станка и СЧПУ, но обычно это кодовые цифры подготовительной функции, определяющие вид коррекции и номер корректора.

Пусть, например, имеется инструкция задания коррекции:

```
PARTNO/.............
CLPRNT
FROM/0,0,200
GOTO/150,150,200,2000
CUTCOM/4305
GODLTA/0,0,-200,500
...................
```

Кадры управляющей программы, соответствующие данной исходной информации для станка с ЧПУ, оснащенного системой 2Р32, будут иметь вид:

```
% N1 G1  X150000 Y150000 F2000
  N2 G43 Z-200000 F500 D5
```

Отсюда видно, что с помощью инструкции CUTCOM/4305 в управляющую программу введена линейная коррекция по координате *z*, работающая со знаком плюс (функция G/43), непосредственное значение коррекции считывается с корректора № 5 (D5).

Ниже приведен пример применения САП СПД ЧПУ.

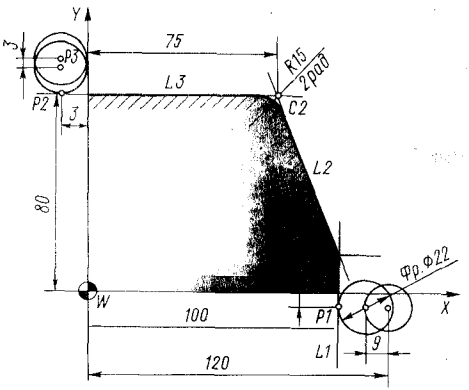


Рис. 10.23. Пример обработки криволинейного контура

Пример. *Обработка контура с введением коррекции.* На рис. 10.23 изображен контур, исходной информацией обработки которого будет следующая:

```
1  PARTNO/PR1
2  CLPRNT
3  FROM/0,0,200
4  GOTO/120,-5,200,2000
5  CUTCOM/0405
6  GODLTA/0,0,-200,500
7  P1=POINT/100,-5
8  P2=POINT/-3,80
9  P3=POINT/-3,94
10 L1=LINE/100,0,100,20
11 L2=LINE/100,15,75,80
12 L3=LINE/0,80,75,80
13 C1=CIRCLE/XSMALL,L1,YSMALL,L2,
   RADIUS,15
14 C2=CIRCLE/YSMALL,L3,YSMALL,L2,
   RADIUS,15
15 CONT1=CONTUR/P1,L1,CCLW,C1,L2,
   CCLW,C2,L3,P2
16 CUTCOM/RIGHT,11
17 CUTCOM/8110
18 FEDRAT/100,MPM
19 ACT/CONT1
20 CUTCOM/9110
21 GOTO/P3
22 CUTCOM/4005
23 GODLTA/0,0,200,500
24 GOTO/0,0,200,2000
25 FINI
```

Для станка, оснащенного системой ЧПУ Н33, управляющая программа, соответствующая указанной исходной информации, будет иметь вид:

```
% N001 G17
N002 G01 X+012000 Y-000500 F4720
N003     Z-020000 F0650 L405
N004     X-000900 F0610 L810
N005     Y+002200
N006 G03 X-000200 Y+001000 I+002600
         L010
N007 G01 X-002000 Y+004800
N008 G03 X-002400 Y+001600 I+002400
         J+001000 L010
N009 G01 X-006800
N010 G50 Y+000300 L810
N011 G04 F0560 L000
N012 G40 Z+020000 F4650 L405
N013 G01 X+000300 Y-009400 F0720
N014     F0000 M02
```

В полученной УП в кадре N003 вводится коррекция по координате z. Код 4 после адреса L указывает на коррекцию по оси z; 05 — номер корректора. Эта коррекция задана в исходной информации (строка 5) инструкцией CUTCOM/0405. Кадром УП N004 фреза подводится к заданному контуру с вводом коррекции на радиус фрезы (L810); коррекция задается в исходной информации (строка 17) инструкцией CUTCOM/8110 (8 — код коррекции; 10 — номер корректора). Предварительно в строке 16 инструкцией CUTCOM/RIGHT,11 задается автоматический сдвиг вправо всего описанного контура на 11 мм, что соответствует выбранному радиусу фрезы. Таким образом, с помощью инструкции CUTCOM/RIGHT,11 обеспечен автоматический расчет эквидистантной поверхности. Программируемыми перемещениями в УП являются перемещение центра фрезы. Сдвиг контура задается модификатором RIGHT или LEFT в зависимости от направления движения инструмента и положения его центра по отношению к контуру.

Особые инструкции

Для сокращения объема информации при подготовке исходных данных для САП СПД ЧПУ и других современных систем автоматического программирования применяют *особые инструкции*. Умелое пользование ими позволяет в значительной степени сократить время на подготовку программы.

Инструкция определения матриц преобразования (или матриц трансформации). Данные инструкции определяются главным словом MATRIX, за которым следуют знак / и второстепенная часть, уточняющая один из четырех способов определения матриц преобразования.

Матрица переноса координат. Формат инструкции:

```
МАТРИЦА=MATRIX/TRANSL,dX,dY,dZ
```

Идентификаторы dX, dY и dZ задают в виде скалярных констант или скалярных переменных (три составляющие переноса по осям координат). Вспомогательное слово TRANSL указывает способ трансформации — перенос.

Например, инструкция

```
M1=MATRIX/TRANSL,20,25,30
```

описывает матрицу параллельного переноса осей координат в положительном направлении по трем осям: на 20 мм по оси X, на 25 мм по оси Y и на 30 мм по оси Z.

Инструкция

```
M2=MATRIX/TRANSL,0,0,-5
```

описывает матрицу параллельного переноса системы координат в отрицательном направлении по оси Z на величину 5 мм.

Инструкция

```
M3=MATRIX/TRANSL,A,B,C
```

указывает, что значения A, B, C должны быть определены заранее.

Матрица вращения. Формат инструкции:

МАТРИЦА=MATRIX / { XZROT / XYROT / YZROT } ,УГОЛ

Здесь УГОЛ — скалярное значение, определяющее угол вращения; XZROT, XYROT и YZROT — вспомогательные слова, указывающие способ вращения в плоскостях XOZ, XOY и YOZ соответственно.

Например, инструкция

```
M1=MATRIX/XYROT,30.5
```

описывает матрицу поворота системы координат на угол 30°30′ против часовой стрелки от положительного направления оси X.

Идентификатор матрицы может быть индексированным, например:

```
M(I)=MATRIX/XYROT,10*(I+5)
```

Здесь описан массив матриц, где каждому значению I соответствует матрица с определенным значением угла поворота координат.

Матрица совместного вращения и переноса. Возможен более общий случай описания матриц преобразования координат. Это матрица совместного вращения и переноса. Формат инструкции:

```
МАТРИЦА=MATRIX / { XYROT } ,УГОЛ,
                 { XZROT }
                 { YZROT }
TRANSL,dX,dY,dZ
```

Здесь идентификаторы УГОЛ, dX, dY и dZ задают соответственно угол вращения и три составляющие переноса.

Матрица вращения и переноса может быть сложной, т. е. представлять собой композицию из двух предварительно определенных матриц:

```
МАТРИЦА=MATRIX,
МАТРИЦА1,МАТРИЦА2
```

где МАТРИЦА 1 и МАТРИЦА 2 — идентификаторы предварительно определенных матриц вращения и переноса.

Матрица симметрии относительно прямой. Формат инструкции:

```
МАТРИЦА=MATRIX/
MIRROR,ПРЯМАЯ
```

Идентификатор ПРЯМАЯ задает предварительно определенную прямую, относительно которой осуществляется преобразование — симметрия, вспомогательное слово MIRROR указывает тип преобразования — зеркальное отображение.

Инструкция ввода матрицы. Чтобы программируемые движения происходили в измененной (трансформированной) системе координат согласно описанным ранее в исходной программе матрицам преобразования, перед началом программирования различных движений используют инструкцию, которая вводит

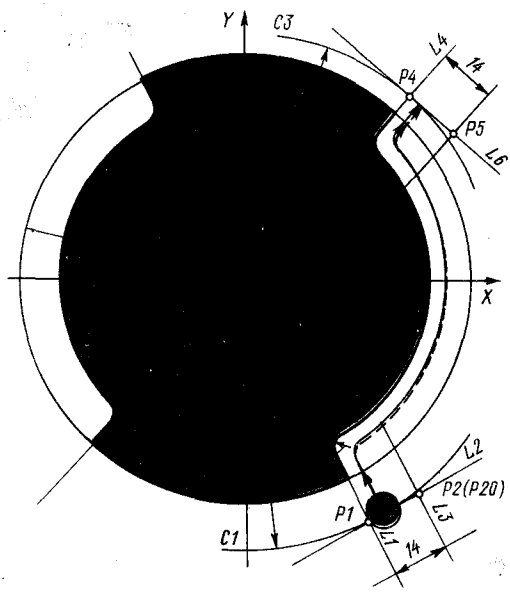


Рис. 10.24. Пример обработки контура с использованием матрицы поворота координат

в действие необходимую матрицу. Формат инструкции ввода матрицы:

```
TRACUT/МАТРИЦА
```

Здесь МАТРИЦА — идентификатор матрицы преобразования координат, описанной ранее.

Инструкция отмены матрицы. Если при последующих движениях необходимо вернуться к старой (непреобразованной) системе координат, в исходной информации задают инструкцию отмены действия той или иной матрицы:

```
TRACUT/NOMORE
```

Все последующие движения будут происходить в старой системе координат.

Ниже приведены примеры, доказывающие, что с помощью матриц преобразования координат объем исходной информации программы сокращается вдвое.

Пример 1. *Программирование обработки диска с использованием матрицы поворота.* Фрезой диаметром 18 мм необходимо обработать две одинаковые и профильные выемки на диске радиусом $R=100$ мм (рис. 10.24). Исходная информация для УП, на которой будет обрабатываться данная деталь:

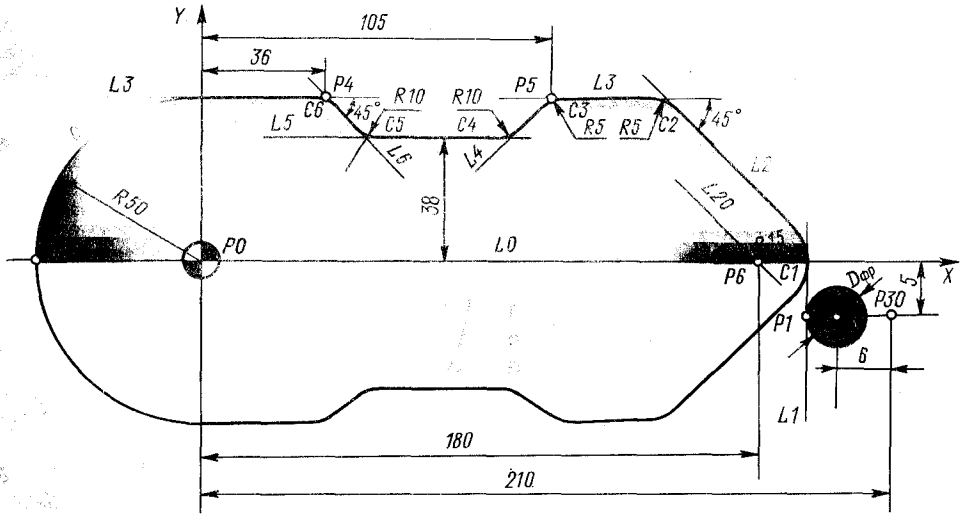


Рис. 10.25. Пример обработки контура с использованием матрицы симметрии относительно прямой

```
 1  PARTNO/PR2
 2  CLPRNT
 3  FROM/0,0,150
 4  P0=POINT/0,0
 5  L1=LINE/P0,ATANGL,-60
 6  C1=CIRCLE/0,0,113
 7  P1=POINT/XLARGE,INTOF,L1,C1
 8  L2=LINE/P1,PERPTO,L1
 9  L3=LINE/PARLEL,L1,YLARGE,14
10  P2=POINT/INTOF,L2,L3
11  P20=POINT/XGEOF(P2),YGEOF(P2),150
12  C2=CIRCLE/0,0,70
13  L4=LINE/P0,ATANGL,45
14  C3=CIRCLE/0,0,102
15  P4=POINT/YLARGE,INTOF,L4,C3
16  L5=LINE/PARLEL,L4,XLARGE,14
17  L6=LINE/P4,PERPTO,L5
18  P5=POINT/INTOF,L5,L6
19  C4=CIRCLE/XLARGE,L1,YSMALL,OUT,
    C2,RADIUS,10
20  C5=CIRCLE/YSMALL,L4,YLARGE,OUT,
    C2,RADIUS,10
21  CONT1=CONTUR/P1,L1,CLW,C4,CCLW,
    C2,CLW,C5,L4,P4
22  M1=MATRIX/XYROT,165
23  GOTO/P20,1200
24  GODLTA/0,0,-150,500
25  CUTCOM/RIGHT,9
26  CUTCOM/8110
27  FEDRAT/80,MPM
28  ACT/CONT1
29  CUTCOM/9110
30  GOTO/P5
31  GODLTA/0,0,150,500
32  TRACUT/M1
33  GOTO/P20,1200
34  GODLTA/0,0,-150,500
35  CUTCOM/RIGHT,9
36  CUTCOM/8110
37  FEDRAT/80,MPM
38  ACT/CONT1
39  CUTCOM/9110
40  GOTO/P5
41  TRACUT/NOMORE
42  GODLTA/0,0,150,500
43  GOTO/0,0,150,1200
44  FINI
```

Из приведенных данных видно, что описание второй профильной выемки не потребовалось, так как она идентична первой, лишь повернута относительно нее на угол 165°. Поэтому в исходной программе в строке 22 описана матрица поворота M1, а в строке 32 эта матрица введена в действие посредством инструкции TRACUT/M1. Все последующие перемещения выполняются в преобразованной системе координат.

Пример 2. *Программирование обработки контура с использованием матрицы симметрии.* Необходимо обработать замкнутый профиль (рис. 10.25). Характерная особенность про-

филя состоит в том, что обе его половины симметричны относительно оси *X*. Фреза имеет диаметр 18 мм. С помощью матрицы симметрии относительно прямой составляют программу САП обработки данного профиля:

```
 1  PARTNO/PR3
 2  CLPRNT
 3  FROM/0,0,150
 4  P0=POINT/0,0,0
 5  P1=POINT/195,-5
 6  P2=POINT/195,5
 7  P3=POINT/-50,0
 8  P30=POINT/210,-5
 9  P4=POINT/ 36,50
10  P5=POINT/105,50
11  P6=POINT/180,0
12  L1=LINE/195,0,195,20
13  L20=LINE/P6,ATANGL,-45
14  L2=LINE/PARLEL,L20,XLARGE,15
15  L3=LINE/0,50,40,50
16  L4=LINE/P5,ATANGL,45
17  L5=LINE/0,38,40,38
18  L6=LINE/P4,ATANGL,-45
19  L0=LINE/0,0,20,0
20  C1=CIRCLE/180,0,15
21  C2=CIRCLE/XSMALL,L2,YSMALL,L3,
21  RADIUS,5
22  C3=CIRCLE/XLARGE,L4,YSMALL,L3,
22  RADIUS,5
23  C4=CIRCLE/XSMALL,L4,YSMALL,L5,
23  RADIUS,10
24  C5=CIRCLE/XLARGE,L6,YLARGE,L5,
24  RADIUS,10
25  C6=CIRCLE/XSMALL,L6,YSMALL,L3,
25  RADIUS,5
26  C7=CIRCLE/0,0,50
27  CONT1=CONTUR/P1,L1,CCLW,C1,L2,
27  CCLW,C2,L3,CCLW,C3,L4,CLW,C4,L5,
27  CLW,C5,L6,CCLW,C6,L3,CCLW,C7,P3
28  CONT2=CONTUR/P3,CLW,C7,L3,CLW,C6,
28  L6,CCLW,C5,L5,CCLW,C4,L4,CLW,C3,
28  L3,CLW,C2,L2,CLW,C1,L1,P1
29  M1=MATRX/MIRROR,L0
30  GOTO/207,-5,150,1200
31  GODLTA/0,0,-150,500
32  CUTCOM/RIGHT,9
33  CUTCOM/8110
34  FEDRAT/80,MPM
35  ACT/CONT1
36  TRACUT/M1
37  CUTCOM/LEFT,9
38  ACT/CONT2
39  CUTCOM/9110
40  GOTO/P30
41  TRACUT/NOMORE
42  GODLTA/0,0,150,500
43  GOTO/0,0,150,1200
44  FINI
```

В программе один и тот же контур описан дважды: в прямом направлении (CONT1) и в обратном (CONT2). Этот контур определяет верхнюю половину профиля детали. Строка 36 программы вводит матрицу симметрии — TRACUT/M1, и по команде ACT/CONT2 строки 38 происходит обработка контура, симметричного описанному в программе.

Условные переходы. К особым инструкциям, упрощающим программирование сложных деталей, относятся и условные переходы. Формат инструкции: IF (арифметическое выражение), МЕТКА 1, МЕТКА 2, МЕТКА 3. Здесь МЕТКА — идентификатор, состоящий из символов (от одного до пяти). Метка отделяется от инструкции закрывающей скобкой «)». Инструкция определяет переход на одну из строк, помеченных указанными метками, в зависимости от значения арифметического выражения. Если оно отрицательное, переходят на инструкцию с меткой МЕТКА 1; если значение арифметического выражения равно нулю, следует переходить на инструкцию МЕТКА 2; если значение арифметического выражения положительное, надо переходить на инструкцию МЕТКА 3. С помощью условных переходов можно в лаконичной форме описать многократно повторяющийся циклический процесс или определить массив геометрических элементов. Следует отметить, что инструкции с применением геометрических идентификаторов могут находиться в цикле только в том случае, если идентификатор индексированный и значение индекса сменяется при каждом выполнении инструкции цикла.

Пример 3. *Вариант использования инструкции условного перехода.* Пусть необходимо в каких-то прикладных целях определить координаты точек пересечения двух заданных прямых с двадцатью концентрическими окруж-

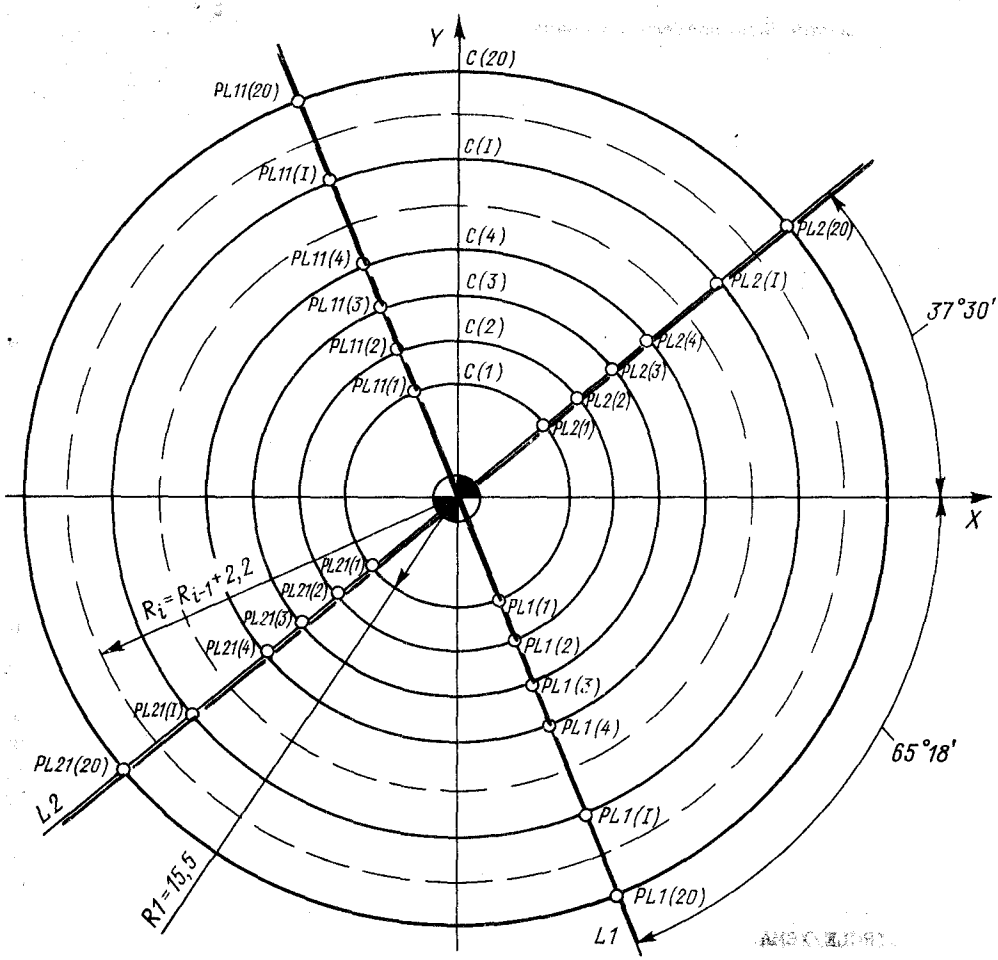


Рис. 10.26. Пример определения координат точек пересечения двух прямых с массивом окружностей

ностями, причем радиусы окружностей возрастают по закону арифметической прогрессии:

$$R_1 = R;\ R_2 = R_1 + d;\ R_3 = R_2 + d;\ldots;$$
$$R_i = R_{i-1} + d.$$

На рис. 10.26 изображены концентрические окружности: $R_1 = 15{,}5$ мм; $R_i = R_{i-1} + 2{,}2$ мм, т. е. $d = 2{,}2$ мм; $i = 20$ (i — количество окружностей). Две прямые проходят через центр окружностей под углами 37°30′ и −65°18′ (знак минус говорит об отрицательном направлении угла по отношению к оси X). При расчете исходной информации на ЭВМ на печать должны быть выведены координаты всех точек пересечения прямых с окружностями. Вывод на печать канонических параметров геометрических элементов осуществляется на стадии работы процессора.

На рис. 10.26 приняты следующие обозначения: C(I) — массив концентрических окружностей от C(1) до C(20); PL1(I) — массив точек в IV квадранте — пересечение прямой L1 с массивом C(I); PL11(I) — массив точек во II квадранте — пересечение прямой L1 с массивом C(I); PL2(I) — массив точек в I квадранте — пересечение прямой L2 с массивом C(I); PL21(I) — массив точек в III квадранте — пересечение прямой L2 с массивом C(I).

Исходная информация для определения координат точек:

```
1  PARTNO/PR4
2  CLPRNT
3  RESERV/C,20,PL1,20,PL11,20,PL2,20,
3  PL21,20
4  P0=POINT/0,0
5  L1=LINE/P0,ATANGL,-65.3
6  L2=LINE/P0,ATANGL,37.5
7  DLT=0
8  I=1
```

```
9      C(I)=CIRCLE/0,0,15+DLT
10 PL1(I)=POINT/XLARGE,INTOF,L1,C(I)
11 PL11(I)=POINT/XSMALL,INTOF,L1,C(I)
12 PL2(I)=POINT/XLARGE,INTOF,L2,C(I)
13 PL21(I)=POINT/XSMALL,INTOF,L2,C(I)
14 DLT=DLT+2.2
15 I=I+1
16 IF(I-20)10,10,20
17     FEDRAT/1200,MPM
18 FINI
```

Обработка исходной информации на ЭВМ позволяет получить координаты массива точек.

В строке 3 используется рабочая инструкция RESERV, которая определяет массив переменных через идентификатор и максимальное число индекса. В рассматриваемом примере имеется пять массивов: C(I), PL1(I), PL11(I), PL2(I), PL21(I). Максимальное число индекса I=20. В строках 7 и 8 начальные условия: DLT=0; I=1. В строке 9 при первом считывании геометрическая инструкция определения окружности имеет вид: C(1)=CIRCLE/0,015, так как I=1 и DLT=0. Аналогично при первом считывании определяются точки пересечения прямых L1 и L2 с окружностью C(1).

Далее в строке 14 происходит накопление DLT(DLT=DLT+2,2), а в строке 15 — увеличение индекса I на единицу (I=I+1). В строке 16 работает инструкция условного перехода, которая анализирует арифметическое выражение (I−20). Если (I−20)<0 или (I−20)=0, происходит переход на метку 10 и повторяется определение всех геометрических элементов с увеличением на 2,2 значения DLT в инструкции определения окружности. Такой циклический процесс выполняется последовательно при значениях I от 1 до 20. Как только I окажется больше 20, т. е. (I−20)>0, произойдет переход на метку 18, которой отмечена рабочая инструкция FINI — конец программы.

Из приведенного примера видно, что если бы не использовалась инструкция условного перехода для организации последовательно повторяющегося цикла, в исходной программе пришлось бы задать 20 инструкций определения окружностей и 60 инструкций определения точек. Таким образом, достигнуто значительное сокращение исходной информации.

Подпрограммы

Использование при программировании обработки деталей в САП СПД ЧПУ подпрограмм — один из эффективных путей сокращения объема исходной информации. Как уже указывалось, операция, описанная подпрограммой, часто называется макрооперацией, а массив информации в программе САП — макросом.

Подпрограмма — набор инструкций, в которых некоторые параметры, называемые аргументами, могут не уточняться при определении подпрограммы. Выполнение вызывается особой инструкцией, которая устанавливает значение аргументов. Подпрограмма выделяется двумя специальными инструкциями, из которых одна находится в начале, а другая — в конце подпрограммы:

Идентификатор=MACRO/СПИСОК АРГУМЕНТОВ

: тело подпрограммы

: (различная информация, включающая

: геометрические инструкции, инструкции движения,

: арифметические операции и т. д.)

: TERMAC

Инструкции, входящие в подпрограмму, кроме инструкции MACRO, могут иметь метку.

СПИСОК АРГУМЕНТОВ состоит из набора элементов, отделенных запятыми. Каждый элемент может быть идентификатором (неиндексированным), переменной или инструкцией присваивания. Идентификаторы, определяемые в списке аргументов в инструкции MACRO, принимаются во внимание только при выполнении подпрограммы и не зависят от основной программы, например:

```
MAC1=MACRO/A,B,C
MAC2=MACRO/A=10,B=20,C=30
```

TERMAC — инструкция определения конца подпрограммы — является последней. Она может иметь метку.

Инструкция вызова подпрограммы определяется главным словом CALL и имеет формат: CALL/ИДЕНТИФИКАТОР ПОДПРОГРАММЫ, СПИСОК АРГУМЕНТОВ. В списке аргументов инструкции словом CALL указываются только те аргументы, которым не присвоено значение при определении программы, например:

```
CALL/MAC1
CALL/MAC2,A=5,B=10,C=12
CALL/MAC3,A=10,FIG1=P(37),МОД=XSMALL
```

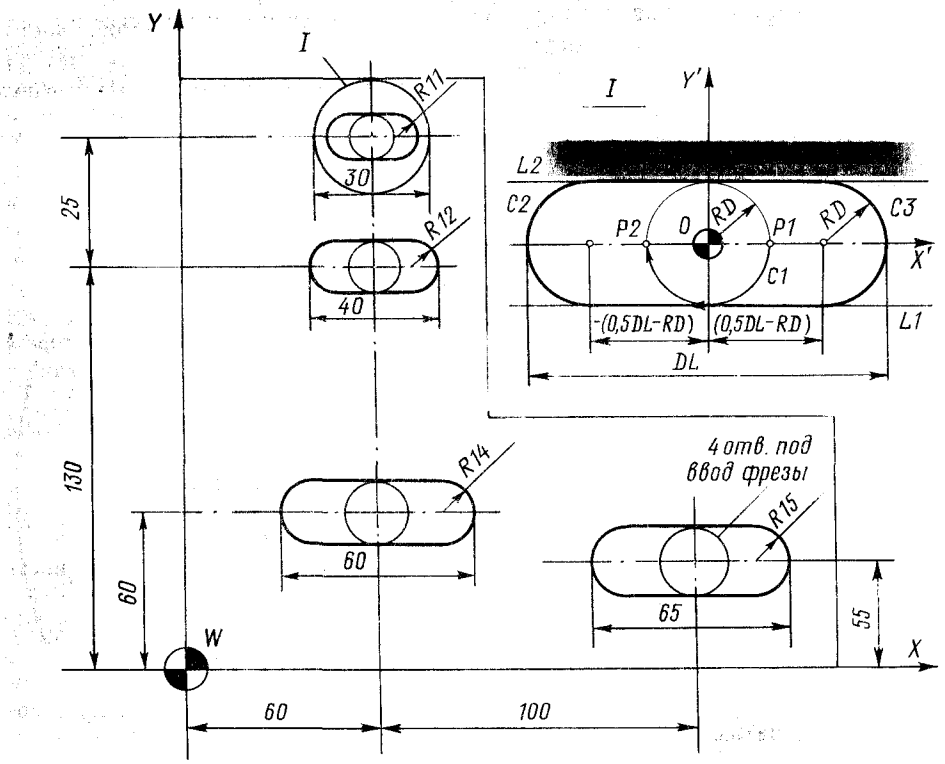


Рис. 10.27. Пример обработки повторяющихся геометрических элементов с использованием подпрограмм и матриц преобразования координат

Для сохранения подпрограмм с заданными идентификаторами в системном диске (в памяти или в библиотеке) используют инструкцию STORE. Формат инструкции:

STORE/ИДЕНТИФИКАТОР ПОДПРОГРАММЫ.

Подпрограммы многократно используются в основных программах без предварительного описания.

Если необходимо удалить подпрограммы, хранящиеся в библиотеке по команде STORE, применяют инструкцию *удаления (стирания) подпрограмм*. Формат инструкции:

DELETE/ИДЕНТИФИКАТОР ПОДПРОГРАММЫ, ALL.

Пример. Вариант использования подпрограммы в основной программе обработки. Пусть необходимо обработать четыре паза одинаковой формы и разных размеров (рис. 10.27). В центре каждого паза условно показано предварительно сделанное отверстие для ввода фрезы. Толщина детали 20 мм; диаметр фрезы для обработки пазов 18 мм. На рисунке показан отдельно вынесенный паз, изображенный в системе координат $X'O'Y'$, оси которой проходят через оси симметрии паза. Программа обработки детали имеет вид:

```
1  PARTNO/PR5
2  GLPRNT
3  FROM/0,0,150
4  M1=MATRIX/TRANSL,60,60,0
5  M2=MATRIX/TRANSL,60,130,0
6  M3=MATRIX/TRANSL,60,155,0
7  M4=MATRIX/TRANSL,160,55,0
8  P100=POINT/0,0,150
9  MAC1=MACRO/RD,DL,F1,F2,RF

1  P1=POINT/RD,0
2  P2=POINT/-RD,0
3  C1=CIRCLE/0,0,RD
4  C2=CIRCLE/-(DL/2-RD),0,RD
5  C3=CIRCLE/DL/2-RD,0,RD
```

```
6  L1=LINE/0,-RD,20,-RD
7  L2=LINE/0,RD,20,RD
8  CONT1=CONTUR/P1,CLW,C1,L1,CLW,C2,
8  L2,CLW,C3,L1,CLW,C1,P2
9  GODLTA/0,0,-150,500
10 GODLTA/(DL/2-RD-1),0,0,F1
11 GODLTA/-(DL/2-RD-1),0,0,F2
12 GODLTA/-(DL/2-RD-1),0,0,F1
13 GODLTA/(DL/2/-RD-1),0,0,F2
14 FEDRAT/F1,MPM
15 CUTCOM/RIGHT,RF
16 CUTCOM/8110
17 ACT/CONT1
18 CUTCOM/9110
19 GOTO/0,0,0
20 GODLTA/0,0,150,500
21 TERMAC
22 TRACUT/M1
23 GOTO/P100,1200
24 CALL/MAC1,RD=14,DL=60,F1=80,
24 F2=500,RF=9
25 TRACUT/NOMORE
26 TRACUT/M2
27 GOTO/P100,1200
28 CALL/MAC1,RD=12,DL=40,F1=80,
28 F2=500,RF=9
29 TRACUT/NOMORE
30 TRACUT/M3
31 GOTO/P100,1200
32 CALL/MAC1,RD=11,DL=30,F1=80,
32 F2=500,RF=9
33 TRACUT/NOMORE
34 TRACUT/M4
35 GOTO/P100,1200
36 CALL/MAC1,RD=15,DL=65,F1=500,
36 RF=9
37 TRACUT/NOMORE
38 GOTO/0,0,150,1200
39 FINI
```

В первых девяти строках описаны матрицы преобразования координат (параллельное смещение осей координат в центр симметрии каждого из пазов), указана исходная точка P100 (на рис. не показана) с координатой $z=150$ мм, задана подпрограмма MAC1, в которой вместо ряда численных значений используются аргументы: RD — радиус паза; DL — длина паза; F1 — значение рабочей подачи; F2 — значение ускоренной подачи; RF — радиус фрезы.

Новыми строками 1—7 определяется геометрия паза с помощью аргументов. Так, точка P1 задается координатами $x=$RD, $y=0$, точка P2 — координатами $x=-$RD, $y=0$. Прямая L1 задана двумя точками. Координаты первой точки $x=0$, $y=-$RD, второй — $x=20$ мм, $y=-$RD. Величина x для второй точки может быть принята любой в пределах длины паза. Аналогично задана и прямая L2. Для контура принято, что центры окружностей C2 и C3 размещены в точках, координата x которых определяется расчетом.

Строка 8 определяет контур CONT1, который описывает геометрию траектории центра инструмента. Начало контура — точка P1, далее движение происходит по дуге окружности C1, по прямой L1, по дуге C2, по прямой L2, по дуге C3, по прямой L1 и заканчивается приходом в точку P2 по дуге окружности C2.

Строка 9 определяет позиционирование фрезы в центр паза. Строки 10 и 11 задают движение инструмента вправо на рабочей подаче F1 и возврат в точку 0 на ускоренной подаче F2. Строки 12, 13 определяют движение инструмента влево и возврат. Строки 14—16 задают условия обработки контура. Строка 17 определяет движение инструмента по контуру, а 18—21 завершают цикл макрооперации.

Строки 22—39 — продолжение основной программы. В строках 24, 28, 32, 36 происходит вызов подпрограммы MAC1 (обработка паза) с присвоением конкретных численных значений аргументам, входящим в подпрограмму. Перед каждым вызовом подпрограммы в строках 22, 26, 30, 34 вводятся в действие ранее описанные матрицы преобразования координат.

Как видно из этого примера, за счет использования подпрограммы MAC1 значительно сокращается объем геометрической и технологической информации, которая требуется для описания обработки пазов.

ГЛАВА 11
СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ И КОНТРОЛЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ

11.1. КОНТРОЛЬ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПЕРФОЛЕНТЫ

Характер подготовки и контроля УП для станков с ЧПУ определяется условиями производства, существующими типами станков и систем ЧПУ, методом программирования и т. д. В общем случае перенос (запись) рукописной программы обработки детали на программоноситель для станка с ЧПУ и дальнейшая отработка этой программы, включая контроль, осуществляются в несколько этапов.

Исходным программоносителем в большинстве случаев служит перфолента. Тогда первым этапом в подготовке УП является *перфорирование* — нанесение информации на ленту с помощью *перфоратора*.

В автоматизированном производстве (при наличии у станков УЧПУ класса DNC) управляющие программы для обработки деталей транслируются от центральной ЭВМ по кабельной связи непосредственно к рабочему месту, т. е. к УЧПУ станков. В памяти ЭВМ УЧПУ эти программы записываются и используются по мере необходимости. При такой организации производства отпадает надобность в записи исходных управляющих программ на перфоленту. Эти программы набираются на пультах центральной ЭВМ и фиксируются в памяти машин или на магнитных дисках, лентах или кассетах. Однако перфоленты — наиболее дешевые и простые программоносители, что делает их пока незаменимыми даже в условиях высокоорганизованного производства.

Перфорирование — одна из основных операций в цикле записи программы на перфоленту. На начальном этапе подготовки закодированная информация переносится на перфоленту, как правило, ручным набором кодовых символов на специальной клавиатуре какого-либо устройства.

Ошибки перфорирования. При ручном наборе информации в процессе записи программы на перфоленту неизбежны ошибки. В среднем считается нормальным наличие одной ошибки на 2000 набранных знаков. Ошибки вызываются или невнимательностью оператора (ошибки ОПо), или отказами (сбоями) перфоратора (ошибки ОПп). При расчете программы на ЭВМ процесс перфорирования на выходе ЭВМ автоматизирован, и в этом случае могут появляться ошибки только из-за отказов или сбоев выходного перфоратора (ошибки ОПп).

Ошибки, вносимые оператором, в большинстве случаев заключаются в ошибочном нажатии на клавишу или в ошибочном подсчете (пропуске) числа строк в кадре. При неисправностях перфоратора ошибки вызываются неправильной работой механизма или схемы автоматического кодирования, неправильной работой механизма подачи ленты, т. е. перемещением ленты более чем на один шаг или отказом в перемещении ленты при нажатии на клавишу, и, наконец, неправильной работой перфорационного механизма.

Способы контроля. В практике числового управления для обнаружения ошибок на этапе изготовления перфоленты применяли и применяют несколько способов контроля.

На первых этапах развития числового программного оборудования при ручном методе программирования использовались следующие способы [6]:

сравнение перфоленты с исходной таблицей;

изготовление двух перфолент с последующим визуальным сравнением;

изготовление двух перфолент с последующим автоматическим сравнением;

сравнение печатного бланка или печатной ленты с исходной таблицей;

впечатывание данных в исходную таблицу;

контроль при использовании суммирующих машин.

В настоящее время основными являются автоматизированные способы контроля. Кратко охарактеризуем некоторые из них.

Автоматический контроль при повторном перфорировании. Ранее изготовленную на перфораторе ленту вставляют в специальное читающее устройство (например, фотосчитывающее — ФСУ). После этого перфорируют вторую ленту. В используемом устройстве подготовки данных при перфорировании кодовые комбинации вводимых данных непрерывно сравниваются с кодовыми комбинациями, записанными на первой ленте. В случае несовпадения комбинаций выдается сигнал ошибки и отключается перфорационное устройство. Достоинство этого метода в том, что контроль возможен как при ручном, так и при автоматическом перфорировании. В последнем случае контроль может осуществляться при повторной выдаче информации с ЭВМ. Этот способ позволяет с достаточной вероятностью обнаруживать ошибки вида ОПо и ОПп, при этом исключено влияние субъективных факторов на правильность контроля.

Контроль при использовании автоматической пишущей машины. Машина предусматривает два вида контроля: визуальный, основанный на впечатывании данных перфорирования в исходную таблицу, и автоматический, основанный на повторном перфорировании. В исходную таблицу впечатывается информация как при изготовлении первой перфоленты, так и при автоматическом контроле, т. е. при повторном перфорировании. Такое сочетание двух способов контроля позволяет с достаточной вероятностью обнаруживать любые ошибки видов ОПо и ОПп. Кроме того, визуальный контроль позволяет в процессе изготовления первой ленты обнаружить и исправить большинство ошибок типа ОПо. При этом ошибки, которые могут быть пропущены при визуальном контроле, будут обнаружены при автоматическом контроле в процессе изготовления второй ленты.

Автоматическое сравнение кодовых комбинаций. Этот способ контроля предназначен в основном для автоматического изготовления перфоленты, когда перфоратор управляется сигналами, поступающими с выхода ЭВМ. Контроль основан на автоматическом сравнении кодовых комбинаций, поступающих с выхода ЭВМ, с комбинациями отверстий, появляющихся на перфоленте при перфорировании.

Если при перфорировании кодовые комбинации не совпадают, то выдается сигнал ошибки и прекращается выдача данных с ЭВМ. Считывание информации с перфоленты сразу же после перфорирования данной строки не может быть выполнено, ввиду чего кодовые комбинации для сравнения снимаются с контактов или бесконтактных элементов, управляемых перемещением пуансонов перфорационного устройства.

Контроль программ с выводом информации на дисплей и графопостроитель. Возможны различные схемы такого контроля.

Если программа в ЭВМ введена *с клавиатуры дисплея*, то ее можно контролировать следующими способами: выводом на печать с последующим контролем исходной таблицы и распечатанной программы; покадровым вызовом программы на экран дисплея и сравнением высвеченной информации с исходной таблицей; выводом программы с ЭВМ на перфоратор с последующим контролем перфоленты любым ранее рассмотренным способом; сравнением введенной с дисплея программы с хранящейся в памяти ЭВМ эталонной или введенной в ЭВМ с отдельно изготовленной перфоленты; прорисовкой полученной программы на экране графического дисплея или на графопостроителе и т. п.

При введении в ЭВМ программы *с ранее выполненной перфоленты* возможны все перечисленные способы контроля, которые обеспечиваются возможностями ЭВМ и дисплея.

Контроль перфоленты по элементам помехозащищенности кодов. Контроль

Таблица 11.1. Основные характеристики методов контроля перфолент

Способ контроля	Вид ошибок, не обнаруживаемых контролем	Режим использования *			$N_{пл}$	$N_{ош}$, %	Требования к перфоратору (к системе контроля)	Необходимое оборудование
		РП	АП	Р				
Сравнение перфоленты с исходной таблицей	—	+	—	—	$\geqslant 1$	15	Код должен быть читаемым по числам и буквам	—
Визуальное сравнение двух перфолент	Отказы ОПп	+	+	+	$\geqslant 2$	<15	—	—
Автоматическое сравнение двух перфолент	То же	+	+	+	$\geqslant 2$	—	—	Сравнивающее устройство
Сравнение отпечатанных данных с исходной таблицей	Отказы и сбои ОПп	+	—	—	$\geqslant 1$	<15	Возможность распечатки	Печатающее устройство
Впечатывание данных в исходную таблицу	Отказы ОПп	+	—	—	$\geqslant 1$	<15	Возможность печатания в виде таблиц	Печатающее устройство с горизонтальной табуляцией
Автоматический контроль при повторном перфорировании	То же	+	—	—	$\geqslant 2$	—	—	Считывающее устройство с автоматическим сравнением кодов
Контроль с автоматической машиной	—	+	—	+	$\geqslant 2$	—	Печатание таблиц, чтение перфоленты и сравнение кодов	Автоматическая машина
Контроль с суммирующей машиной	Отказы ОПп	+	—	—	$\geqslant 1$	—	Подсчет контрольных сумм. Печатание таблиц	Суммирующая машина
Автоматическое сравнение кодовых комбинаций	То же	—	+	—	$\geqslant 1$	—	—	Устройство сравнения кодовых комбинаций
Контроль по элементам помехозащищенности кодов	Сбои ОПп	+	+	+	$\geqslant 1$	—	—	Считывающее устройство с электронной приставкой
Сравнение перфоленты с исходной таблицей с выводом данных на дисплей	—	+	+	+	$\geqslant 1$	<15	—	Автоматизированный комплекс подготовки программ (с дисплеем и ЭВМ)
Контроль введенной в ЭВМ перфоленты на графопостроителе	—	+	+	+	$\geqslant 1$	—	—	То же

Примечание. Принятые обозначения: $N_{пл}$ — число изготовляемых перфолент; $N_{ош}$ — примерное число ошибок, пропускаемых при контроле, отнесенное к общему числу возможных ошибок.

* Режимы использования: РП — ручное перфорирование; АП — автоматическое перфорирование; Р — реперфорирование.

перфоленты в зависимости от характера помехозащищенности используемого кода (по модулю m, по четности, сложением по модулю 2 и т. д.) для реализации требует специальных логических элементов (устройств), которые обычно устанавливаются в едином блоке с управляющими устройствами станков с ЧПУ (интерполяторами или другими электронно-вычислительными устройствами). Поэтому в практике числового управления контроль по модулю (как и контроль по четности и др.) применяют не только для контроля перфоленты, но и на этапе реализации программы для контроля ввода (при считывании) информации с перфоленты, перемещения исполнительных органов станка, профилактического контроля и др. При реализации метода проверки на четность лишь для контроля перфоленты необходимо специальное устройство, состоящее из блока считывания информации с перфоленты и электронного (электронно-вычислительного) проверяющего блока (ЭВМ). Это специальное устройство монтируется после любого перфоратора и контролирует его работу. При необходимости используемый проверяющий блок (ЭВМ) может выдать информацию, записанную в кадре перфоленты, на экран дисплея. Это позволяет достаточно просто установить ошибку, а в ряде случаев и исправить ее.

Характеристики рассмотренных способов контроля УП на перфолентах, определяющие их эффективность и область применения, приведены в табл. 11.1.

При ручном изготовлении перфолент наиболее эффективными считаются метод с использованием устройств логического контроля в сочетании с дисплеями, работающими в режиме диалога (редактирования) с графопостроителями, и метод с использованием автоматической пишущей машины.

При автоматическом изготовлении перфоленты наиболее эффективен метод, основанный на автоматическом сравнении кодовых комбинаций в сочетании с контролем по элементу помехозащищенности кода.

11.2. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ ПРОГРАММ

Большое разнообразие числовых систем программного управления, множество методик и языков программирования привело к тому, что подготовка УП для станков с ЧПУ ведется с использованием значительного количества разных типов и видов технических средств [67]: периферийного оборудования Единой системы ЭВМ, периферийного оборудования цифровых управляющих вычислительных машин, электронных фактурно-бухгалтерских машин (ЭФБМ), электронных клавишных вычислительных машин (ЭКВМ), электронных контрольно-регистрирующих машин (ЭКРМ) и др. Большое число устройств разработано специально для подготовки УП.

Устройства подготовки программ можно классифицировать по ряду признаков. По типу носителей различают устройства для перфолент, перфокарт, магнитных лент, магнитных дисков. По назначению различают аппаратуру для перфорации, кодирования, контроля, печати, графического отображения информации и др. Устройства могут быть также классифицированы по быстродействию, надежности, элементной базе, по виду систем управления (для позиционных или контурных систем), степени автоматизации, степени специализации (универсальные и специальные), степени совместимости и возможности стыкования с другими устройствами и т. д. Некоторые устройства разработаны для какой-либо одной операции или этапа программирования, другие предназначены для совокупности операций или этапов.

К устройствам подготовки управляющих программ относят:

перфораторы (ленточные и карточные);

интерполяторы;

координаторы и графопостроители;

телеграфные аппараты;

считывающие устройства;

устройства ввода графической информации;

устройства отображения информации на экран электронно-лучевых трубок (дисплеи);

установки для записи программ на магнитную ленту;

установки для записи программ на магнитные диски;

печатающие устройства;

кодовые преобразователи;

устройства контроля программ;

программаторы;

устройства подготовки данных на перфолентах (УПДЛ);

устройства подготовки данных на перфокартах;

комплексы взаимосвязанных устройств на базе мини-ЭВМ, составляющие автоматизированное рабочее место (АРМ);

комплексы малогабаритных переносных устройств программирования для оперативного применения.

Перфораторы. Перфоратором называют устройство, осуществляющее запись на носитель информации путем пробивки отверстий. В зависимости от вида носителя различают *ленточные* перфораторы и *карточные.* В зависимости от способа пробивки различают перфораторы *механические, электромеханические, электромагнитные, гидравлические, пневматические* и др. Перфораторы, как правило, работают при подаче на вход кодированных сигналов, например от печатающего устройства, кодового преобразователя, ЭВМ и др., и не имеют своей клавиатуры для ручного ввода.

Каждый ленточный перфоратор имеет две основные части: лентопротяжную и перфорационную. Первая служит для периодического (стартстопного) перемещения ленты и фиксирования ее в позиции пробивки отверстий. Перфорационная часть предназначена для перфорации ленты, она содержит матрицу и пуансоны. Движением пуансонов управляют специальные кодовые электромагниты. Если на электромагнит поступает сигнал, то соответствующий пуансон пробивает ленту; если сигнал отсутствует, пробивки не происходит.

Наибольшее распространение получили электромагнитные и электромеханические ленточные перфораторы. В электромагнитных перфораторах ленту пробивает сам кодовый электромагнит, в электромеханических перфораторах пуансоны имеют привод от отдельного электродвигателя, а кодовые электромагниты лишь управляют их движением.

В зависимости от скорости пробивки отверстий ленточные перфораторы делят на три группы: малой скорости (скорость перфорации 5—20 строк/с), средней скорости (20—100 строк/с), большой скорости (более 100 строк/с). Из перфораторов средней скорости в отечественной практике наиболее широко распространен перфоратор типа ПЛ-80, работающий со скоростью 80 строк/с. Из быстродействующих перфораторов серийно выпускают перфоратор ПЛ-150, имеющий скорость 150 строк/с.

Одной из лучших зарубежных моделей является перфоратор FACIT, обладающий высокой степенью надежности и большим быстродействием.

Большая номенклатура перфорирующих устройств относится к периферийному оборудованию ЕС ЭВМ [67].

Телеграфные аппараты. Телеграфные аппараты, оснащенные перфораторами и считывающими устройствами, в начале развития информационной вычислительной техники широко использовали для подготовки данных на перфолентах. Для подготовки программ на пятидорожечной перфоленте, в частности, применяли телеграфные аппараты РТА-6, СТА-2М, СТ-2М и др.

Интерполяторы. Интерполяторы в системе устройств для подготовки УП (так называемые *вынесенные* интерполяторы) служат для представления закодированной на перфоленте программы в декодированном виде (импульсами) на магнитной ленте, которая используется в дальнейшем как программоноситель к станку с ЧПУ. Существенные недостатки СЧПУ с магнитными лентами (ограниченный объем информации, трудности внесения коррекций в программу; ограниченная частота записи сигналов, неудобство хранения магнитной ленты, высокая стоимость оборудования для записи и воспроизведений, а также самой

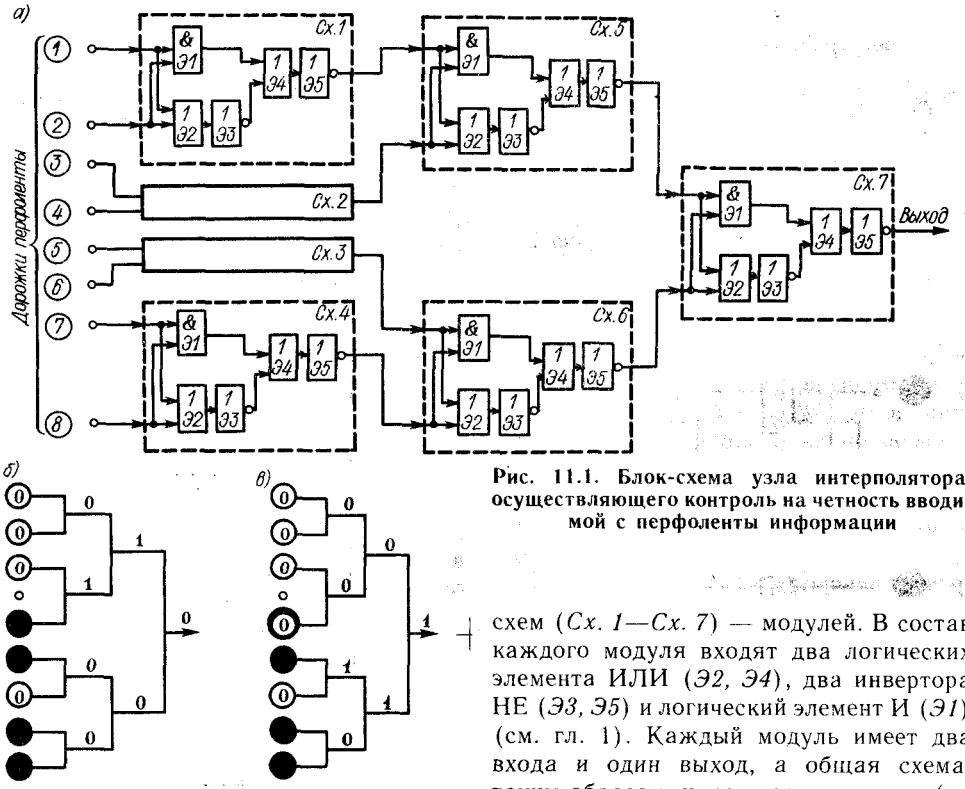


Рис. 11.1. Блок-схема узла интерполятора, осуществляющего контроль на четность вводимой с перфоленты информации

магнитной ленты, внесение дополнительных помех в систему и др.), резко ограничивающие возможности программного управления, обусловили прекращение выпуска подобных систем. Естественно, прекратился и выпуск вынесенных интерполяторов для подготовки программ к таким станкам.

В настоящее время все новые модели станков с ЧПУ имеют *встроенные* интерполяторы.

Являясь частью УЧПУ, интерполятор сохранил свои структурные единицы: считывающее устройство, блок оперативной памяти, интерполирующее устройство, блок контроля на четность и др.

В УЧПУ станком контроль на четность программ, записанных на перфоленте в коде ИСО 7 бит, который в настоящее время наиболее распространен, чаще всего выполняется одним из блоков интерполятора сразу по мере ввода программы с перфоленты.

Блок контроля на четность (рис. 11.1, *а*) состоит из семи идентичных логических схем (*Сх. 1—Сх. 7*) — модулей. В состав каждого модуля входят два логических элемента ИЛИ (*Э2, Э4*), два инвертора НЕ (*Э3, Э5*) и логический элемент И (*Э1*) (см. гл. 1). Каждый модуль имеет два входа и один выход, а общая схема, таким образом, имеет восемь входов (по числу дорожек перфоленты) и один выход.

Каждый модуль работает по единой схеме, организуя на выходе сигнал в зависимости от вида сигналов входных. При поступлении по двум входам модуля нулей (рис. 11.2, *а*) на входе элемента ИЛИ (*Э2*) формируется нуль, который преобразуется в единицу инвертором НЕ (*Э3*). Единица с инвертора НЕ (*Э3*) поступает на один из входов элемента ИЛИ (*Э4*). Кроме того, два нуля поступают на вход элемента И (*Э1*), с выхода которого нуль поступает на второй вход элемента ИЛИ (*Э4*). На два входа элемента ИЛИ (*Э4*) поступают единица и нуль. Единица с выхода элемента ИЛИ (*Э4*) преобразуется в нуль инвертором НЕ (*Э5*). На выходе схемы будет сформирован нуль.

Если по первому входу модуля поступает нуль, а по второму входу единица (рис. 11.2, *б*), то на выходе элемента ИЛИ (*Э2*) формируется единица, которая преобразуется в нуль инвертором НЕ (*Э3*). Этот нуль поступает на один

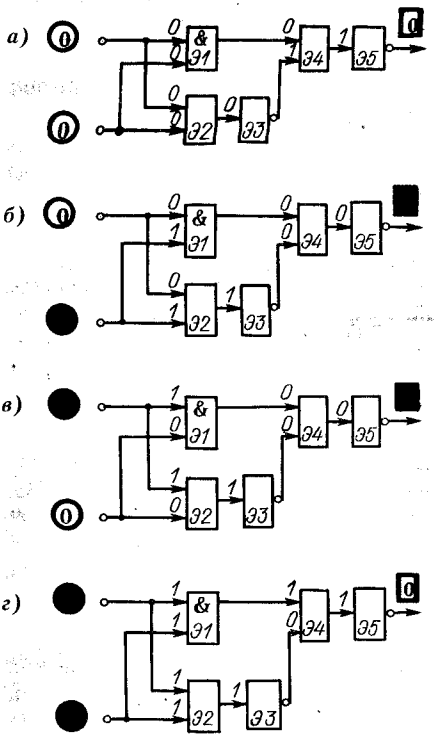


Рис. 11.2. Передача информации в логических схемах с модулем узла интерполятора

из входов элемента ИЛИ (*Э4*). На второй вход этого элемента поступает нуль с выхода элемента И (*Э1*). Нуль с выхода элемента ИЛИ (*Э4*) преобразуется в единицу инвертором НЕ (*Э5*). Следовательно, на выходе схемы будет сформирована единица.

Достаточно ясным является прохождение информации и для случаев, если на входе модуля заданы сигналы 1 и 0, 1 и 1 (рис. 11.2, *в, г*).

На вход блока контроля на четность (см. рис. 11.1, *а*) информация поступает с восьми дорожек считанной строки перфоленты. При этом данные первой и второй дорожек перфоленты поступают на вход модуля *Сх. 1*, третьей и четвертой дорожек — на вход модуля *Сх. 2* и т. д.

Выходные сигналы модулей *Сх. 1*—*Сх. 4* являются входными для модулей *Сх. 5, Сх. 6*, а выходные сигналы последних — входными для модуля *Сх. 7* (см. рис. 11.1, *а*). Выход модуля *Сх. 7* и является выходом блока контроля на четность.

Если число пробивок в считанной строке перфоленты четное, то на выходе блока формируется нуль, т. е. команда, разрешающая дальнейший ввод информации. При нечетном числе пробивок в считанной строке перфоленты на выходе блока формируется единица — команда на запрет считывания последующих строк программы.

Например, при вводе четной информации 00011011 (четыре единицы) на выходе блока будет сформирован нуль (см. рис. 11.1, *б*). При наличии нечетной (ошибочной) информации 00001011 (три единицы) на выходе блока контроля будет сформирована единица (см. рис. 11.1, *в*) и в систему управления поступит сигнал ошибки.

Печатающие устройства. Печатающее устройство (PRINTER) обеспечивает вывод и регистрацию (распечатку) буквенно-цифровой информации на бумажном носителе. Печатающие устройства входят в комплект периферийного оборудования ЭВМ, в комплекты аппаратуры контроля и регистрации информации, устройств подготовки данных для лент (УПДЛ) и др. Методы печати, конструкции устройств и их технические характеристики чрезвычайно разнообразны. Например, скорость устройств может быть от 10 до 100 000 знаков в секунду.

Устройства классифицируют по различным признакам: по методу нанесения знаков на поверхность носителя — устройства ударного и безударного действия; по способу формирования строк — устройства последовательной и параллельной печати; по режиму работы — устройства, работающие в старт-стопном режиме (бумага при нанесении знаков неподвижна) и в непрерывном режиме (бумага движется непрерывно); по способу формирования контура знака — знакопечатающие (знак печатается целиком) и знакосинтезирующие (знак формируется из отдельных элементов — точек, отрезков) устройства; по методу выборов знаков из набора — устройства статической и динамической печати и др.

В состав печатающих устройств входят следующие основные узлы: механизм, бумагоноситель, привод, устройство управления.

Кроме обычной бумаги в печатающих устройствах в качестве носителя используют магнитную пленку, термореактивную бумагу (бумага чернеет при действии теплового излучения), бумагу, чувствительную к давлению, фотополупроводниковые носители информации. В последнем случае на бумажную подложку наносят полупроводниковый слой, состоящий из порошкообразной окиси цинка и связующего диэлектрика. Бумага предназначена как для контактной, так и для проекционной печати, например при помощи знакопечатающей электронно-лучевой трубки.

После нанесения на фотополупроводниковый слой скрытого изображения и последующего его проявления бумага становится документом.

В новейших печатающих устройствах формирование знаков при печати осуществляется лазерным лучом.

Из печатающих устройств ударного действия широкое применение в системах подготовки программ для станков с ЧПУ и в вычислительной технике нашли пишущие машинки «Консул-254» и «Консул-260» производства ЧССР (рис. 11.3). При ручном наборе информации машинки позволяют запись программ в коде ИСО 7 бит. Клавиатура машинки содержит набор информационных и служебных клавиш. Современные пишущие машинки имеют 46 информационных клавиш. Они расположены в четыре ряда. На каждой клавише размещены два символа. Символы верхнего ряда образуют верхний регистр (цифры, буквы русского алфавита, знаки). Символы нижнего ряда образуют нижний регистр (знаки, буквы латинского алфавита). Служебные клавиши предназначены для вспомогательных операций управления машинкой. Спереди внизу расположены шесть кнопок для управления режимами устройств, совместно с которыми используют пишущую машинку.

При ручном наборе информации (с помощью клавиатуры) сигналы через выход могут быть поданы на ЭВМ, а через кодовый преобразователь (он размещен отдельно от пишущей машинки) — на перфоратор (для получения перфоленты) и на другие устройства. При перфорировании может быть также получена распечатка набираемой программы.

Машинка может работать от сигналов; поступающих на вход извне: от ЭВМ, перфоленты (через считывающее устройство и кодовый преобразователь) и др. При этом производится распечатка поступающей информации.

Печатающее устройство ROBOTRON может быть состыковано с различными устройствами и позволяет вывод печати на широкополосную бумажную ленту. Скорость распечатки на устройстве ROBOTRON при выходе информации с ЭВМ составляет 300—1200 строк/мин.

Каталоги и справочники по периферийному оборудованию ЕС ЭВМ охватывают достаточно большое количество печатных устройств различных типов и моделей [67].

Координатографы и графопостроители. Координатографами и графопостроителями называют устройства для графического отображения информации в виде графиков, чертежей и схем на бумаге или другом носителе.

По виду носителя различают планшетные и рулонные графопостроители. В первом случае бумажный лист закрепляют на плоской доске или плите. Рабочий орган графопостроителя перемещается относительно плиты в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Перо оставляет на поверхности бумаги след — траекторию перемещения рабочего органа. В зависимости от положения планшета различают графопостроители вертикальные, горизонтальные и с регулируемым углом. У графопостроителя рулонного типа бумага поступает в рабочую зону непосредственно с рулона — это движение продольной подачи. В поперечном направлении перо перемещается при помощи каретки.

Для управления графопостроителями применяют контурную систему числового управления. Наибольшее распространение получили шагово-импульсные контурные системы с шаговыми двигателями.

Программа для управления графопостроителем может быть записана на магнитной ленте, на перфоленте или поступать непосредственно от ЭВМ. В записи на магнитной ленте или перфо-

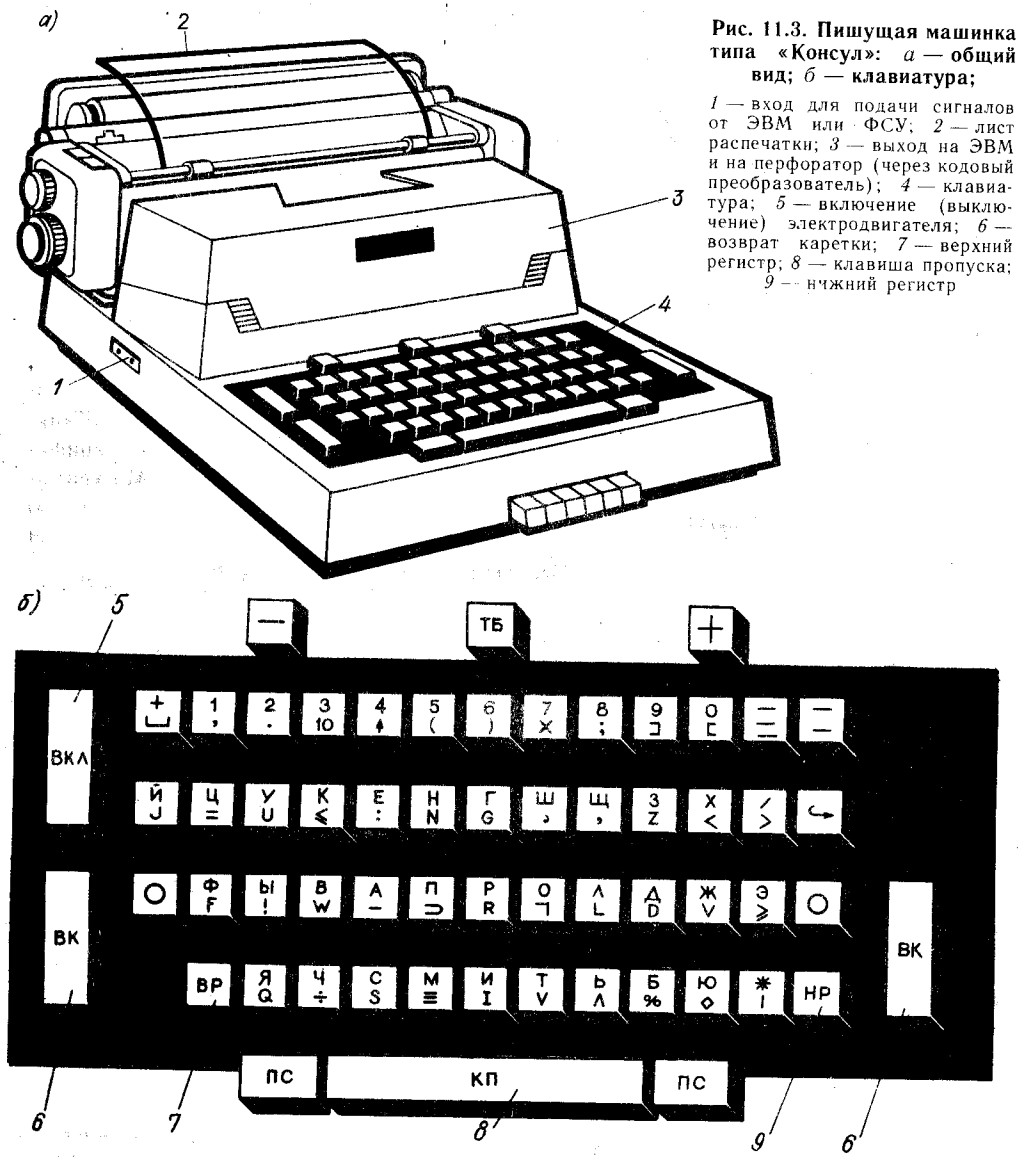


Рис. 11.3. Пишущая машинка типа «Консул»: *а* — общий вид; *б* — клавиатура;

1 — вход для подачи сигналов от ЭВМ или ФСУ; *2* — лист распечатки; *3* — выход на ЭВМ и на перфоратор (через кодовый преобразователь); *4* — клавиатура; *5* — включение (выключение) электродвигателя; *6* — возврат каретки; *7* — верхний регистр; *8* — клавиша пропуска; *9* — нижний регистр

ленте обычно применяют те же программы, что и для управления станком. Если программа записана на перфоленте, система управления графопостроителем должна содержать интерполятор.

При наличии двух координат графопостроитель выполняет плоские чертежи. Чтобы выполнять чертежи и рисунки в аксонометрических проекциях, число координат должно быть увеличено до трех-четырех.

Чертежные автоматы типа ИТЕКАН, созданные Институтом технической кибернетики АН БССР, предназначены для построения чертежей, графиков, схем и другой графической документации. Планшетный автомат ИТЕКАН-2М (рис. 11.4) имеет следующие параметры: размер рабочего поля 594×841 мм; быстродействие 800 шагов/с; шаг 0,1 мм; число перьев — два. Чертеж формируется с помощью линейно-кругового интерполятора и знакоформирователя тушью, цветными чернилами или карандашом на чертежной бумаге или кальке. Вычерчиваемые линии могут быть сплошными,

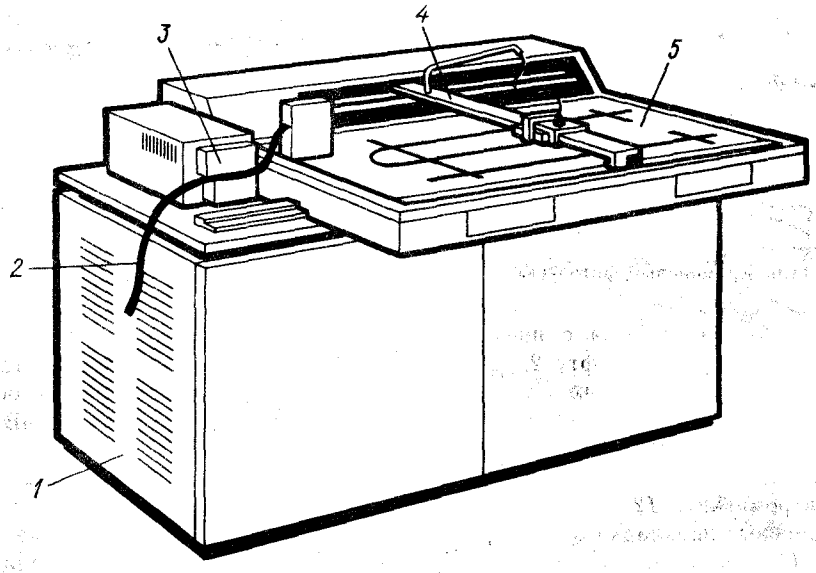


Рис. 11.4. Планшетный чертежный автомат ИТЕКАН-2М:
1 — основание; *2* — перфолента; *3* — ФСУ; *4* — рабочая линейка; *5* — планшет

штриховыми и штрихпунктирными двух видов по толщине. Автоматы управляются непосредственно от ЭВМ или с помощью программы, записанной на перфоленте.

Автоматы рулонного типа использует бумагу шириной 420 мм при длине до 40 000 мм; шаг 0,1; 0,125 и 0,2 мм.

Считывающие устройства. Считывающие устройства предназначены для считывания информации с перфолент и перфокарт. Они являются частью практически любого комплекта оборудования, предназначенного для хранения, обработки, контроля и регистрации информации. В зависимости от метода считывания различают *контактные, пневматические, емкостные* и *фотоэлектрические* устройства.

Конструкция фотоэлектрических устройств для считывания информации с перфоленты. Наиболее распространены фотоэлектрические считывающие устройства, к основным достоинствам которых относятся высокое быстродействие и относительная простота конструкции.

Одним из наиболее быстродействующих устройств для считывания информации с перфоленты является *фотосчитывающее устройство FS-1501* (рис. 11.5). В непрерывном режиме скорость считывания информации 1500 символов в секунду.

Устройство имеет электродвигатель, который приводит в действие лентопротяжный механизм и одновременно выполняет роль вентилятора, блок питания (трансформатор); блок усиления и формирования сигналов; блок ввода перфоленты, состоящий из механизмов транспортирования и торможения и узла считывания.

Механизм транспортирования имеет два ролика: ведущий *3* и прижимный *4*.

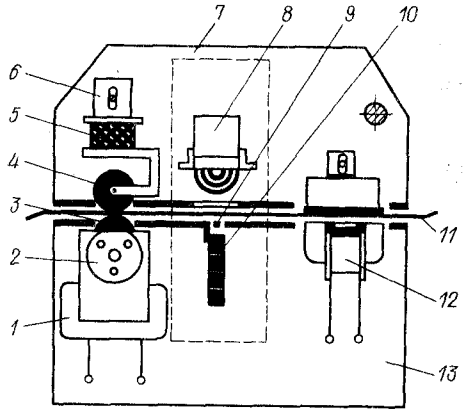


Рис. 11.5. Схема считывающего устройства FS-1501

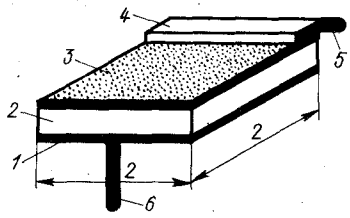


Рис. 11.6. Кремниевый фотоэлемент

Ведущий ролик вращается с помощью электродвигателя через муфту *2*, приводимую в действие электромагнитом *1*. Прижимный ролик закреплен на угольнике *6*, сила прижима регулируется резиновой прокладкой *5*. Тормоз выполнен в виде электромагнита *12*, якорь которого через резиновые прокладки воздействует на ленту *11*.

Узел считывания содержит осветительную лампочку *8*, диафрагму *9* и блок фотодиодов *10*. Нижняя часть корпуса *13* — неподвижная, верхняя часть *7* — откидная (для заправки ленты).

Устройство может работать в автономном режиме или с ЭВМ, ввод информации — построчный или непрерывный. В последнем случае сразу вводится весь массив информации.

Значительное распространение получило *фотосчитывающее устройство СП-3* со скоростью ввода 220 строк/с. Оно предназначено для считывания информации с пяти-восьмидорожечных перфолент.

Имеются и другие модели считывающих устройств [67].

Фотопреобразователи. В головках современных фотосчитывающих устройств (ФСУ) наибольшее распространение получили кремниевые фотопреобразователи, что обусловлено их высокой чувствительностью, хорошими инерционными свойствами, хорошей согласуемостью с транзисторными усилителями, возможностью упрощения коммутации электрических соединений отводом одного провода, общего для всех фотоприемников.

На поверхность кремниевой пластины *2* (рис. 11.6) фотоэлемента, обладающей проводимостью *p*-типа, нанесен тонкий слой *3* вещества, имеющего противоположную проводимость *n*-типа, т. е. образован $p-n$-переход, лежащий на малой глубине от поверхности. На тыльную сторону фотоэлемента нанесен сплошной металлический контактный слой *1*, к которому прикреплен (припаян) выводной электрод *6*. На освещаемом тонком *n*-слое имеется контакт *4* в виде тонкой полоски с выводом *5*, оставляющей открытой бóльшую часть поверхности фотоэлемента.

Кремниевые фотоэлементы по функциональному назначению являются генераторами тока. Если элемент осветить (нормальная освещенность 100 мВт/см^2), то в цепи фотоэлемента появляется достаточно большой ток, который и подается в систему управления.

В фотосчитывающей головке (ФСГ) устройства фотоэлементы располагаются на расстоянии, равном расстоянию между дорожками перфоленты.

Если ФСГ (рис. 11.7, *а*) предназначена для считывания одной строчки (линия считывания *2*) перфоленты *1*, то для восьмидорожечных перфолент в головке размещают девять фотоэлементов *4*: восемь для кодовых дорожек и один (*Т*) для транспортной. Выводные (нижние) электроды *5* выводят вниз из основания, а верхние контакты всех фотоэлементов соединяют на общий провод *3*.

В фотосчитывающих головках параллельного считывания (рис. 11.7, *б*) фотоэлементы *4* располагают в текстолитовом основании *6* согласно возможному расположению кодовых отверстий в кадре. Так, в ФСГ для кадра из 11 строк восьмидорожечной ленты в основании имеются 91 отверстие: 88 — по числу возможных кодовых пробивок, а три отверстия — для фотоэлементов ведущей дорожки. В отверстия основания запрессованы выводные электроды *5* фотоэлементов, располагаемых на поверхности основания. Все верхние контакты фотоэлементов соединены на общий провод *3*, который имеет единый вывод *7*.

Если ФСУ постоянно освещается источником света *8* (рис. 11.7, *в*), то фотоэлементы *4* ФСГ срабатывают, когда над ними будут отверстия перфоленты *1*. Комбинация отверстий в строке перфоленты вызывает срабатывание соответ-

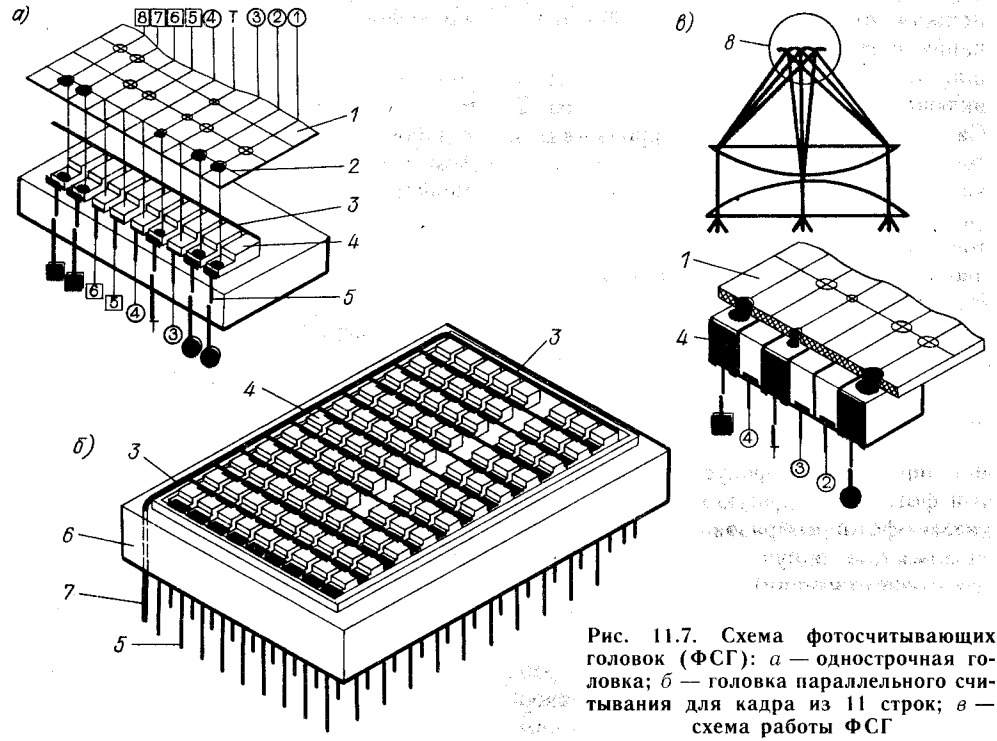


Рис. 11.7. Схема фотосчитывающих головок (ФСГ): *а* **— однострочная головка;** *б* **— головка параллельного считывания для кадра из 11 строк;** *в* **— схема работы ФСГ**

ствующих фотоэлементов, сигнал от которых усиливается и подается далее в систему управления.

Лентопротяжные механизмы. Обязательным элементом в системе считывания перфолент является лентопротяжный механизм (рис. 11.8, *а*). Его комплектуют специальной кассетой для программоносителя. Если лента имеет большую длину, она наматывается на бобины, вращающиеся за счет автономных приводов, которые включаются и выключаются по сигналу контактного датчика или пневмодатчика. Система лентопротягивания выполнена так, что усилия от бобин на ленту не передаются.

В таком механизме при включении электромагнита *10* (рис. 11.8, *б*) прижимный ролик *8*, соединенный с якорем магнита через рычаг *9*, прижимает перфоленту *1* к приводному ролику *6*, который кинематически связан с непрерывно работающим приводным двигателем. Натяжение перфоленты, которая размещается на направляющих роликах *7*, и плотное прилегание ее к фотосчитывающей головке *11* обеспечиваются прижимом *3* и тормозом *2*. При заправке ленты

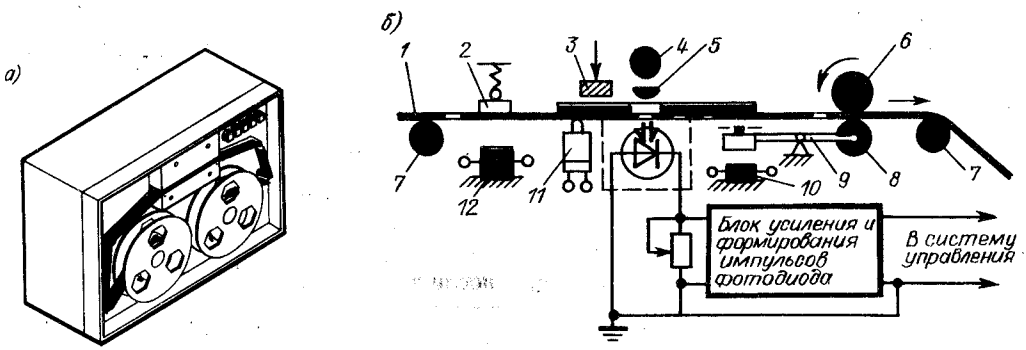


Рис. 11.8. Лентопротяжный механизм УЧПУ: *а* **— общий вид;** *б* **— схема**

прижим отводится рычагом. По окончании протягивания перфоленты на один шаг отключается электромагнит *10* и включается электромагнитный тормоз *12*. Синхронизация привода протяжки и тормоза осуществляется устройством управления протяжной перфоленты. Из-за малой индуктивности обмоток магнитов и малого хода прижимного ролика и якоря тормозного магнита время торможения и пуска перфоленты составляет около 0,0005 с. Усилие на ленту не превышает 6 Н. При скорости считывания информации 700 строк/с путь торможения перфоленты не превышает 1 мм.

Фотосчитыватель устройства имеет источник света *4* с фокусирующей линзой *5* и фотосчитывающую головку *11* с десятью фотопреобразователями, размещенными в одну строчку (для ФСГ построчного чтения). Восемь фотопреобразователей обеспечивают построчное считывание информации с дорожек перфоленты, два используются для формирования синхроимпульса по отверстиям транспортной дорожки.

Ошибки считывания информации. При считывании информации с перфоленты могут возникнуть ошибки из-за дефектов перфоленты, ее обрыва, неисправностей считывающего устройства или механизма подачи ленты. Характер ошибок зависит от способа считывания информации (последовательного или параллельного) и конструкции вводного устройства.

Дефекты перфоленты связаны в основном с недостаточной однородностью основы ленты (вследствие плохого качества бумаги, загрязнения или замасливания ленты в процессе эксплуатации). Неоднородность основы перфоленты приводит к изменению светового потока при ее перемещении, т. е. к ложной информации. Кроме того, возможны местные разрывы при длительной эксплуатации и другие дефекты.

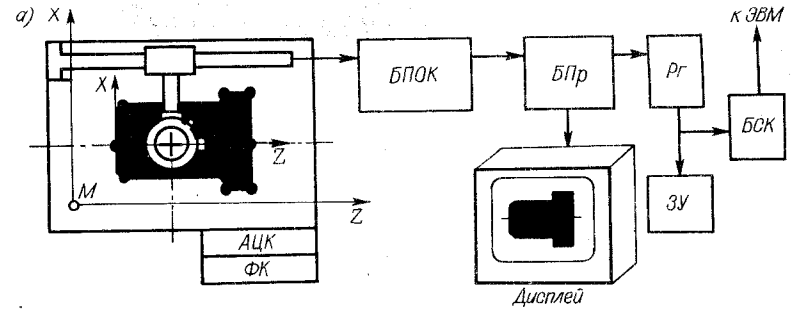
В результате указанных дефектов при считывании информации могут возникать ошибки как со знаком «+», связанные с вводом ложной информации, так и со знаком «—», связанные с исчезновением одной из единиц в считанной информации. Очевидно, что при этом в пределах одного кадра программы с наибольшей вероятностью могут появиться одиночные и двойные ошибки.

При *обрыве перфоленты* характер ошибок определяется в основном способом считывания информации с ленты. Если импульсы формируются в результате воздействия на фотодиод фронта изменения светового потока, то при обрыве ленты прекращается ввод информации, а следовательно, и обработка детали. Если информация считывается путем засвечивания фотодиодов через перфорационные отверстия, то при обрыве ленты со всех строк перфоленты считываются единицы. Такую ошибку при использовании, например, цифрового кода 8421 или буквенно-цифрового кода БЦК-5 легко выявить, если ввести логическую схему, обнаруживающую появление запрещенных кодовых комбинаций, включающих веса 8 и 4 или 8 и 2.

Неисправности считывающего устройства наиболее часто вызываются загрязнением светочувствительной поверхности фотодиодов и световодов. При этом могут возникать как отдельные сбои, устраняющиеся при работе, так и окончательные отказы, для устранения которых необходимо вмешательство оператора. В случае сбоев наиболее вероятны одиночные и многократные ошибки одного знака, связанные с исчезновением единицы в считываемой информации. При окончательных отказах имеют место многократные ошибки одного знака, связанные с исчезновением единицы информации, считываемой с одной или нескольких дорожек.

Неисправности считывающего устройства могут вызываться и отказами светочувствительных элементов — фотодиодов. При этом наиболее вероятно появление многократных ошибок одного знака в информации, считываемой с одной из дорожек перфоленты.

При *неисправностях механизма подачи перфоленты* наиболее часто возникают пропуски одного или нескольких кадров программы, выбег перфоленты после поступления команды на останов в пределы следующего кадра, преждевременный останов перфоленты до поступления сигнала конца кадра. Ошибки



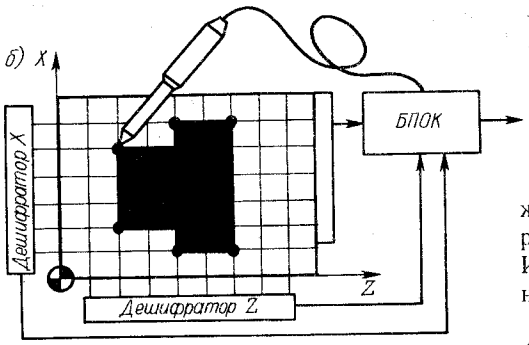


Рис. 11.9. Структурные схемы устройств ввода графической информации: *а* **— с подвижной кареткой;** *б* **— с сеткой**

первых двух видов могут быть легко обнаружены специальной логической схемой, выдающей сигнал ошибки, если после сигнала конца в течение заданного времени t с перфоленты продолжает считываться информация. Преждевременные остановы обычно легко обнаруживаются, так как при этом отсутствует сигнал конца кадра.

Таким образом, большинство ошибок, возникающих при считывании информации с перфоленты, может быть обнаружено путем применения сравнительно простых логических схем контроля. Необнаруженными остаются при этом ошибки, связанные с исчезновением единиц или появлением ложных единиц в считываемой информации. С наибольшей вероятностью появляются ошибки (одиночные и двойные) любых знаков и многократные ошибки одного знака в информации, считываемой с одной или нескольких дорожек перфоленты.

Устройства ввода графической информации. В практике автоматизированной подготовки УП применяют специальные устройства ввода графической информации в ЭВМ. В большинстве случаев этой информацией являются координаты точек графического изображения (чертежа), измеренные с помощью некоторого рабочего органа — щупа или визира. Исходный документ (чертеж) помещают на планшете — рабочем поле.

В *устройствах с подвижной кареткой* (рис. 11.9, *а*) информация, в частности координаты точек изображения, выделяемая оператором с помощью визира, преобразуется в цифровую форму блоком приема и определения координат (БПОК). После этого можно изменить масштаб, систему координат, выполнить другие преобразования, для чего служит блок преобразования (БПр). Информация, представленная в стандартной форме на выходном регистре (Рг), через блок сопряжения с каналом (БСК) может быть передана в ЭВМ или в запоминающее устройство (ЗУ), где она записывается на некоторый промежуточный носитель — перфоленту, магнитный диск и т. п.

К рабочему полю планшета примыкает клавиатура, состоящая из двух частей: алфавитно-цифровой (АЦК) и функциональной (ФК), позволяющих графическую информацию сопровождать алфавитно-цифровой, а также вводить информацию о некоторых стандартных изображениях (например, резьбовые элементы, схемы, типовые элементы контура и т. п.).

В общем случае информация вводится следующим образом. Чертеж фиксируют на планшете и систему подключают к работе. Оператор совмещает центр пере-

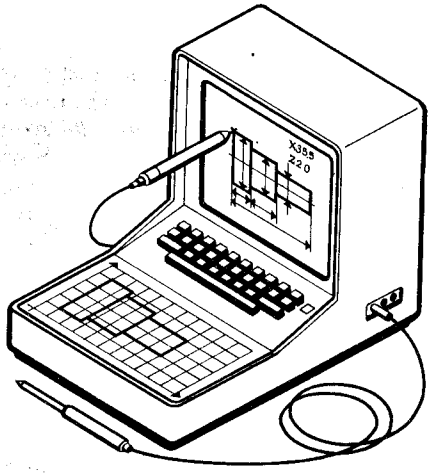


Рис. 11.10. Графический дисплей

крестия визира с опорной точкой какой-либо линии, например осевой, и нажимает кнопки на визире, фиксирующие положение точки относительно начала принятой системы координат (например *XMZ* на рис. 11.9, *а*). Далее фиксируют вторую точку задаваемой линии. После этого нажимают клавишу функциональной клавиатуры, определяющую тип линии: сплошная, штриховая, штрихпунктирная и т. д. Подобным же образом могут быть сформированы и другие линии, включая дуги окружностей, задаваемые центром, конечными точками и радиусом.

Характер ввода графической информации обычно показывает экран графического дисплея, входящего в комплекс. Это позволяет оператору контролировать работу устройства, при необходимости вносить изменения в вводимую информацию, устраняя излишние данные или добавляя нужные.

Точность задания размеров в устройствах с визиром $\pm(0{,}1 \div 0{,}2)$ мм.

Сеточные полуавтоматические устройства (рис. 11.9, *б*) обеспечивают точность ввода $\pm 0{,}1$ мм. Они удобны в работе, потому что не используют движущихся частей. В таких устройствах все рабочее поле дискретизируется ортогональными сетками проводников. В зависимости от используемой связи между щупом оператора и проводниками сетки различают устройства с емкостной и индуктивной связью. К сеточным могут быть отнесены и контактные устройства, в которых щуп играет роль указки и обеспечивает создание электрического контакта между проводниками сетки. Точность измерения в сеточных устройствах определяется шагом сетки и точностью ее нанесения.

В некоторых устройствах рабочее поле планшета используется в качестве «чертежного стола», а изготовление (или изменение) изображения на документе может совмещаться во времени с его преобразованием. В таких устройствах ввод информации возможен непосредственным обводом контура щупом.

В состав *устройств с графическим дисплеем* (рис. 11.10), позволяющих формировать и редактировать графическую информацию на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), могут входить различные функциональные устройства, соответственно и чертеж на экране будет формироваться по-разному. Изображение может быть передано на экран с ЭВМ или внешнего планшетного задающего устройства, а также введено с помощью устройств ввода самого дисплея. С планшетного задающего устройства, смонтированного возле экрана дисплея, графическую информацию можно вводить щупом — способом, аналогичным рассмотренному выше. Для функционального управления процессом ввода используют клавиатуру дисплея. Кроме того, информацию можно вводить световым пером непосредственно на экран ЭЛТ. Для этого на экран выводится специальное перекрестие. Оператор помещает световое перо в центр этой фигуры и начинает «рисовать», не отрывая перо от экрана. Система обеспечивает слежение перекрестия за световым пером, автоматически вычисляет координаты его положения и отображает траекторию. При необходимости световым пером можно фиксировать на экране ЭЛТ точки и формировать линии, используя функциональную клавиатуру так же, как это делается щупом на планшетном устройстве ввода. При этом можно координаты точек выводить на угловое поле экрана. Если работать в так называемом режиме «меню», можно сначала задавать координаты точек, высвечивая их на экране,

а потом фиксировать их с этими координатами, используя световое перо.

Однако ввод информации световым пером не всегда удобен, и чаще всего его используют для редактирования уже введенной графики (дорисовка или удаление лишних элементов) или для снятия координат точек по высвеченному на экране чертежу.

Система, подобная рассмотренной, может иметь внешние устройства вывода информации: печатающее устройство, планшетный графопостроитель, перфоратор, внешние запоминающие устройства и др.

Из отечественных систем следует назвать графический интеллектуальный терминал ГРАФИТ, построенный на базе микроЭВМ «Электроника-60» [67].

Из устройств ввода других типов следует отметить *акустические, резистивные* и др. [18].

Устройства отображения информации на экран электронно-лучевых трубок. При отладке программ для станков с ЧПУ одним из наиболее употребительных средств в настоящее время становятся устройства отображения информации на экран электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Эти устройства получили название дисплея (в переводе на русский язык «выставка», «показ»). В простейшем варианте дисплей лишь обеспечивает покадровое высвечивание на экране ЭЛТ вводимой информации. В дисплеях сложных управляющих устройств можно редактировать высвеченную информацию: пользуясь клавиатурой или световым пером, стирать ее, дописывать, изменять и т. д.

Конструкции дисплеев различны, они определены функциональным назначением устройства, с которым связаны. В ряде устройств на базе микроЭВМ дисплеи конструктивно совмещены с этой ЭВМ. В таком случае, имея блок рабочей (оперативной) помощи, можно определенное время (например, время набора программы) работать без непосредственного выхода на основную ЭВМ, осуществлять редактирование информации, высвечиваемой на экране, и т. д. К таким устройствам можно подключать накопители внешней памяти, расширяя возможности микроЭВМ (рис. 11.11), печатающие устройства и т. д. Существуют дисплеи с выводом информации, в том числе и графической, разным цветом и др.

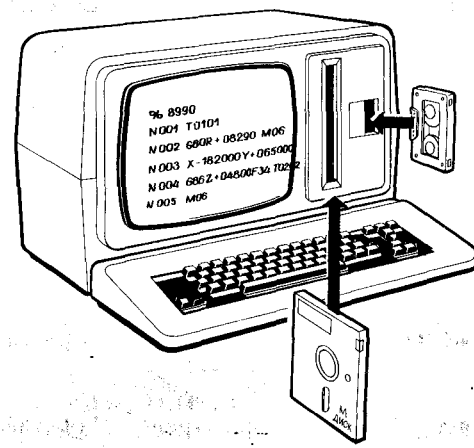


Рис. 11.11. Дисплей с устройством ввода программ с магнитной кассеты и магнитного диска

Управлять вводимой и выводимой информацией, осуществлять различные операции, определенные функциональным назначением устройств, в том числе и связанные с изменением высвеченной на дисплее информации, позволяет клавиатура (алфавитно-цифровая и функциональная). Конструктивно пульт с клавиатурой может быть стационарным, съемным, переносным дистанционным и др.

При вводе информации с отображением ее на дисплее чаще всего применяют операцию редактирования. Эту операцию выполняют с использованием или специальной метки (курсора) на экран дисплея, или какого-либо датчика, например светового пера.

Поскольку расположение текстовой информации на экране дисплея обычно определено по строкам и знакоместам (рис. 11.12), то курсор (черточка или треугольник) с помощью специальных клавиш может быть подведен под этот знак, который требуется изменить или начиная с которого будут проводиться изменения. Координаты курсора фиксируются двумя счетчиками: первый определяет положение курсора на строке, второй — номер строки. Таким образом, положение курсора однозначно опреде-

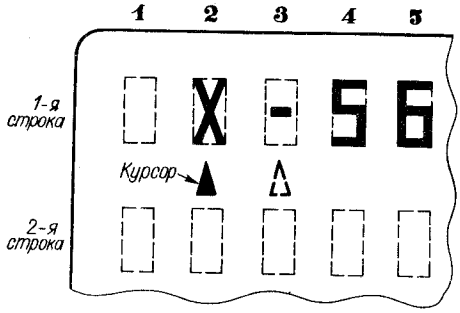


Рис. 11.12. Схема размещения курсора на экране дисплея

ляет знакоместо на экране. Нажатие определенной клавиши стирает знак, под которым установлен курсор. Вместо стертого знака можно с клавиатуры ввести другой знак или сдвинуть знаки в строке для ликвидации образовавшегося пробела.

Система ввода, вывода и редактирования информации на экране дисплея световым пером более оперативна, чем клавишная с курсором, но из-за сложности не нашла еще должного применения.

Световое перо содержит датчик положения электронного луча. Применяют датчики двух типов: конденсаторный, который реагирует на изменение электрического потенциала (заряда) участка экрана в месте падения луча, и световой, который определяет свечение люминофора экрана. Для регистрации местоположения луча необходимо совместить перо с участком, где находится электронный луч.

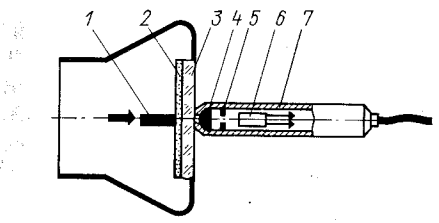


Рис. 11.13. Схема работы светового пера

Основным элементом светового пера (рис. 11.13) является приемник излучения *6*, который через объектив *4* воспринимает световой поток от возбужденного электронным лучом *1* участка люминофора *2*. Выходной сигнал с датчика максимален при соосном расположении электронного луча и пера и при максимальном сближении объектива и экрана *3*. Диафрагма *5* (диаметр отверстия 1,5—2,5 мм) дает возможность повысить разрешающую способность светового пера. Все элементы помещены в светонепроницаемый корпус *7*.

При редактировании изображения световым пером достаточно просто «дорисовать» изображенную графику или удалить лишние знаки точки, линии или элементы изображения, высвеченного на экране. Для удаления достаточно световое перо совместить с удаляемым элементом (например, с линией, буквой, цифрой) и нажать соответствующую функциональную клавишу удаления элемента.

11.3. УСТРОЙСТВА ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ НА ПЕРФОЛЕНТЕ (УПДЛ)

Опыт показывает, что наибольший эффект при подготовке программ для станков с ЧПУ достигается, если разнообразная аппаратура работает в одном комплексе. Для подготовки и контроля данных на перфоленте созданы и работают в промышленности ряд комплексов.

Комплексы УПДЛ. Устройство типа «Брест-1Т» предназначено для записи информации на восьмидорожечную перфоленту и контроля перфолент. Оно содержит рабочий стол оператора, электронный шкаф, пишущую машинку «Консул-254», перфоратор ПЛ-80, считывающее устройство. Максимальная скорость обработки информации в режимах, связанных с работой пишущей машинки, до 10 символов в секунду. Максимальная скорость обработки информации в режимах сравнения, реперфорации и сравнения с реперфорацией 50 строк в секунду.

Устройство позволяет записывать программу на перфоленту при одновременной ее распечатке; изготовлять дубликаты перфолент; контролировать программу, записанную на перфоленте, раз-

личными способами: сравнением двух лент, сравнением информации, записанной на ленте и набранной на клавиатуре пишущей машинки и др. Устройство может работать в составе оборудования ЭВМ или как самостоятельное устройство подготовки, контроля, расшифровки и обработки информации.

УПДЛ ЕС-9021 (ЕС-9024) предназначено для подготовки и контроля программ на восьмидорожечной перфоленте в коде ИСО 7 бит. Оно отмечается чрезвычайной компактностью (рис. 11.14), габаритные размеры (без пишущей машинки) 1400×760×760 мм. Устройство снабжено специальной панелью, позволяющей устанавливать режимы работы: ПЕРФ — включение перфоратора; ПЕЧАТЬ — печать текста; СТАРТ-СТОП — включение-выключение считывающего устройства при считывании информации с перфоленты; СРАВ — режим сравнения; панель имеет блок индикации разрядов кодовой комбинации зоны считывания или центрального регистра.

УПДЛ позволяет записывать программы на бланки и бумажные ленты, выдавая их в виде печатного текста; наносить программы на перфоленту с клавиатуры пишущей машинки «Консул-260»; контролировать программу, записанную на перфоленте, на четкость; контролировать информацию, записанную на перфоленте, путем печатания текста; производить реперфорацию лент (изготовление дубликатов); сравнивать записываемую на ленте и на бланке информацию с информацией, ранее записанной на ленте; исправлять и изменять информацию на перфоленте, упорядочивать и перегруппировывать информацию на ней (табл. 11.2).

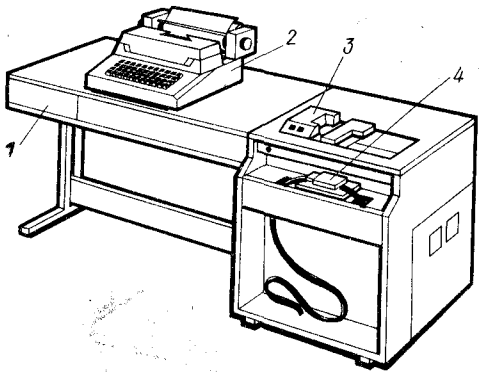


Рис. 11.14. УПДЛ ЕС-9024:

1 — стол оператора; *2* — пишущая машинка; *3* — панель управления; *4* — ФСУ

Для работы с ЭВМ в режиме диалога используют устройство ввода-вывода алфавитно-цифровой и графической информации ЕС-7064 [67]. Оно предназначено для работ со сложными расчетами и позволяет выводить графические изо-

Таблица 11.2. Режимы работы УПДЛ ЕС-9021 (ЕС-9024)

Режим	Панель управления				Ввод информации	Вывод информации
	ПЕРФ	ПЕЧАТЬ	СТАРТ-СТОП	СРАВ		
1	—	+	—	—	Набор на клавиатуре пишущей машинки	Печать текста
2	+	—	—	—	То же	Запись на перфоленте
3	+	+	—	—	»	Печать текста и запись на перфоленте
4	—	—	+	—	Считывание с перфоленты	Контроль четности
5	—	+	+	—	То же	Печать текста
6	+	—	+	—	»	Запись на вторичной перфоленте
7	+	+	+	—	»	Печать текста и запись на вторичной ленте
8	+	+	—	+	Набор на клавиатуре и считывание с перфоленты	Печать текста и запись на вторичной ленте в случае, если информация на клавиатуре и на перфоленте совпадает

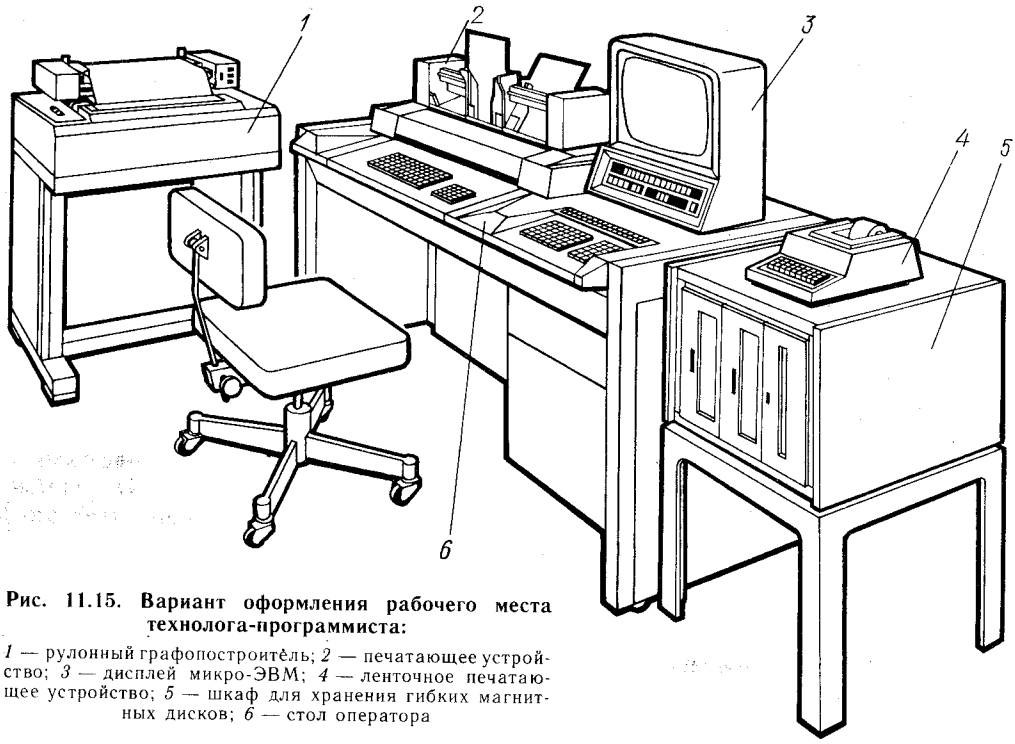


Рис. 11.15. Вариант оформления рабочего места технолога-программиста:

1 — рулонный графопостроитель; *2* — печатающее устройство; *3* — дисплей микро-ЭВМ; *4* — ленточное печатающее устройство; *5* — шкаф для хранения гибких магнитных дисков; *6* — стол оператора

бражения на экран дисплея. Устройство, относясь к периферийным устройствам ЕС ЭВМ, имеет оперативную память для регистрации и хранения определенной информации.

Подобные же операции можно выполнять, используя УПДЛ со встроенным печатающим устройством.

Для производительной работы технолога-программиста немаловажную роль играет удобство размещения аппаратуры и УПДЛ, которое в оптимальном случае оформляется как рабочее место (рис. 11.15).

Автоматизированные системы подготовки данных на перфоленте (АСПДЛ). В состав таких систем входят мини-ЭВМ, пульт управления, дисплеи, фотосчитывающие устройства, устройство ввода с перфокарт, печатающие устройства, перфораторы, графические автоматы, графопостроители, элементы дополнительной памяти для ЭВМ и др.

АСПДЛ (рис. 11.16), обеспечивая режимы, характерные для УПДЛ «Брест-1Т» и ЕС-9021 (ЕС-9024), позволяет также вводить программу в память ЭВМ с перфоленты (для считывания используют ФСУ) или ручным набором с пульта (в том числе и с пульта дисплея), высвечивать кадры программы на экране дисплея с поиском (при необходимости) заданного кадра, вести покадровое редактирование программы, работая с системой в режиме диалога, осуществлять графический контроль разрабатываемой траектории, производить различные вычисления и др. Отредактированная программа может быть занесена в рабочую память ЭВМ или временно оставлена в оперативной памяти для вывода на перфоленту, распечатку, графический дисплей, графопостроитель. В ЭВМ могут храниться варианты программ, которые легко вызвать на экран дисплея и вывести на любой элемент системы, например на перфоратор. Объем ЭВМ можно увеличить за счет внешних подключаемых элементов памяти (накопители на магнитных лентах или дисках).

Автоматизированные системы в значительной мере облегчают процесс подготовки и корректировки УП.

Сравнительно высокая стоимость автоматизированных систем предпола-

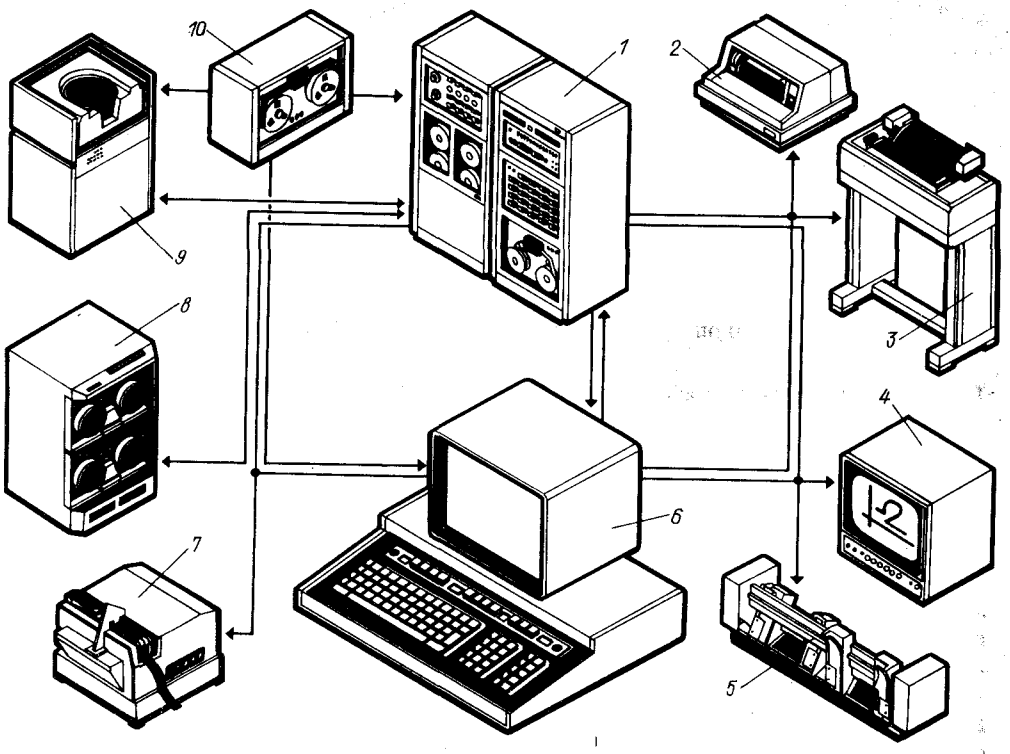


Рис. 11.16. Автоматизированная система подготовки данных на перфоленте (АСПДЛ)

гает их использование совместно с более простыми комплексами, причем на простых комплексах записывают первичные варианты программ на перфоленту, а на автоматизированных системах эти программы проверяют и отлаживают, что достаточно просто и удобно при работе с дисплеем и ЭВМ в режимах диалога и редактирования. Естественно, что использование автоматизированных систем для простых работ (например, для сравнения двух перфолент, получения дубликата перфоленты, распечатки программы с перфоленты и т. п.) экономически нецелесообразно. Наличие в системе ЭВМ предполагает возможность быстрого выполнения большого объема вычислительных работ, и эти возможности надо использовать. Поэтому системы особенно успешно применяются при автоматизированном методе подготовки УП с использованием программного обеспечения САП.

При использовании АСПДЛ особенно удобен режим диалога в случаях, когда для кодирования информации и подготовки УП требуется вводить в ЭВМ большое количество данных, когда необходим особенно строгий контроль за соблюдением ряда ограничений, накладываемых на полученные результаты конкретной СЧПУ.

Общий порядок работы АСПДЛ (рис. 11.16) может быть следующим. Исходная программа с перфоленты через ФСУ *10* вводится в дисплейный блок *6*. Выводимая покадрово на экран дисплея программа редактируется, изменяется и в отредактированном виде передается с дисплейного блока в ЭВМ *1*. Сюда же по команде с пульта дисплейного блока вызываются специальные математические программы, хранящиеся на магнитных дисках *9* или магнитных лентах *8*. Проработанный на ЭВМ вариант программы выводится для контроля на дисплей. Далее программа может быть выведена на распечатку (печатающие устройства *2, 3*), на экран графического дисплея *4* или графопостроитель *5*. Программа

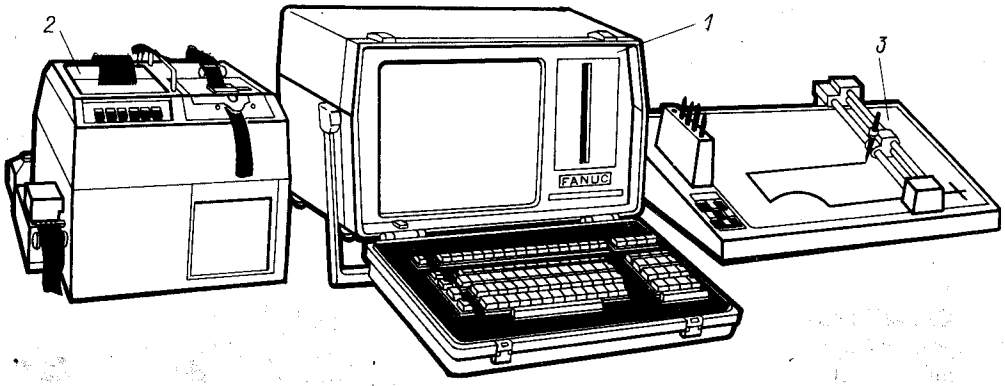


Рис. 11.17. Малогабаритный набор устройств ввода-вывода информации для станков с ЧПУ

может быть выведена также на перфоратор *7* или занесена на магнитный диск или магнитную ленту.

Возможности рассмотренной системы не ограничены только подготовкой данных УП на перфоленте. Снабженная соответствующими подпрограммами, система может решать практически любые технологические задачи, возникающие в процессе подготовки УП, например оптимизацию режимов резания, выбор (проектирование) инструмента и приспособлений с выдачей необходимой документации (чертежей, компоновочных схем) через графопостроитель и др.

Вариантом рассмотренной системы является автоматизированное рабочее место (АРМ) типа «Технолог». По сравнению с АСПДЛ здесь дополнительно имеется устройство ввода графической информации. Это позволяет (при наличии соответствующего программно-математического обеспечения) вести автоматизированную разработку ТП по чертежу детали с последующей автоматизированной разработкой УП для станков с ЧПУ на базе САП высокого уровня и комплексных автоматизированных систем ТПП. В ряде случаев возможна также и бóльшая степень автоматизации, когда решаются также задачи автоматизированного проектирования деталей и изделий, что особенно характерно для работы в условиях ГАП.

Малогабаритные переносные устройства программирования. Для программирования обработки в цеховых условиях удобно использовать переносные наборы устройств подготовки программ для станков с ЧПУ.

Малогабаритный набор (рис. 11.17) состоит из переносного микрокомпьютера *1* с клавиатурой, универсального прибора *2*, планшетного графопостроителя *3*. Компьютер имеет цветной дисплей и блок считывания информации с магнитных дисков, размещенный рядом с дисплеем в одном корпусе. Клавиатура пульта размещена в откидной крышке. Универсальный прибор сочетает в себе фотосчитыватель с перфоленты, перфоратор и устройство печати на широкую ленту.

Элементы набора переносного устройства могут быть связаны между собой и подключены к УЧПУ любого станка или все вместе, или по отдельности. Многофункциональность набора очевидна. Он позволяет вести программирование как самостоятельно, так и совместно с УЧПУ подключенного станка. При этом возможен ввод любой информации с перфоленты, клавиатуры и магнитного диска. Магнитные диски переносного компьютера могут временно расширить память ЭВМ УЧПУ станка, ввести в нее какие-то дополнительные данные. Рассмотренный комплект предоставляет широкий выбор средств для вывода информации: на перфоленту, экран дисплея, графопостроитель, магнитный диск, на печать.

В несколько расширенном варианте набора к рассмотренным выше устройствам добавляется широкобумажное печатающее устройство, планшетное визирное устройство ввода данных с чертежа, система приема-записи информации на

магнитную кассету и отдельный пульт ввода информации. Данный комплект, обладая рассмотренными выше возможностями, допускает, кроме того, оперативный ввод графической информации с визирного планшетного устройства, а также с магнитной кассеты. Средства вывода тоже расширены: имеются широкобумажное печатающее устройство и магнитная кассета.

Схема подключения периферийных устройств. Важнейшим фактором использования арсенала средств периферийной техники является их совместимость друг с другом, с системами ЧПУ станками и с управляющими ЭВМ. Поэтому многие предприятия и фирмы, изготовляющие СЧПУ, комплектуют выпускаемые модели средств управления не только соответствующими устройствами подготовки и контроля управляющих программ, но и различными соединительными модулями, построенными на базе единого интерфейса.

Примечание. Интерфейс (*interface*) — система унифицированных связей (по виду передаваемой информации, параметрам сигналов, аппаратуре), предназначенная для обмена информацией между устройствами вычислительной системы, между периферийной техникой и т. п.

Общая структура СЧПУ последнего поколения со схемой подключения обязательных и дополнительных периферийных устройств показана на рис. 11.18. Основа системы — многоканальное микропроцессорное УЧПУ *1* с базовой панелью, дисплеем и клавиатурой управления. УЧПУ имеет микроЭВМ и встроенные программируемые логические контроллеры (PLC), значительно расширяющие возможности системы. Внутреннюю систему управления можно расширить с помощью внешних PLC модульного типа *2*. Через эти контроллеры основная СЧПУ может управлять, например, сопутствующим оборудованием: транспортно-погрузочными роботами и устройствами, контрольно-измерительными и аварийными блоками, инструментальными магазинами, накопителями заготовок и деталей и т. п. Определенный модуль PLC может расширить память ЭВМ УЧПУ.

Основное УЧПУ может одновременно управлять несколькими приводами подач (по количеству осей) и несколькими приводами шпинделей, т. е. пригодно для управления как сложным многошпиндельным станком, так и несколькими сравнительно простыми станками, например с двумя управляемыми осями и одним шпинделем. Для таких станков в качестве периферийных устройств предусмотрены компактные панели обслуживания *13*, подключаемые к основному УЧПУ.

Развитая СЧПУ имеет не менее трех периферийных (выносных) пультов управления станком. Два из них (*7, 8*) обычно имеют фиксированные символику и назначение кнопок, переключателей, рукояток, а третий (*6*) — дополнительные — произвольные распределение и обозначение элементов управления (клавиш), которые пользователь программирует и перепрограммирует по своему усмотрению при наладке и эксплуатации оборудования. Указанные пульты, так же как и датчики различных измерительных систем состояния станка, подключаются к основному УЧПУ через специальные модули ввода-вывода *5*. Обычно эти модули характеризуются количеством каналов входа (Е) и выхода (А). Через соответствующий модуль *3* подключаются к УЧПУ и определяющие работу всей системы стандартные импульсные датчики *4*.

В рассматриваемом варианте обработка деталей и работа всей системы в целом может программироваться с панелей основного УЧПУ *1*, а частично с панелей обслуживания *13*. Возможности программирования значительно расширяются, если использовать дополнительные устройства программирования, связываемые с основным УЧПУ на базе единого интерфейса. К таким устройствам относятся портативные ручные программаторы *12*, обеспечивающие быстрое оперативное программирование или корректировку основных программ.

Переносное микропроцессорное устройство *11*, имеющее развитую панель, дисплей, систему ввода данных с магнитных дисков, позволяет не только составлять и изменять основные программы

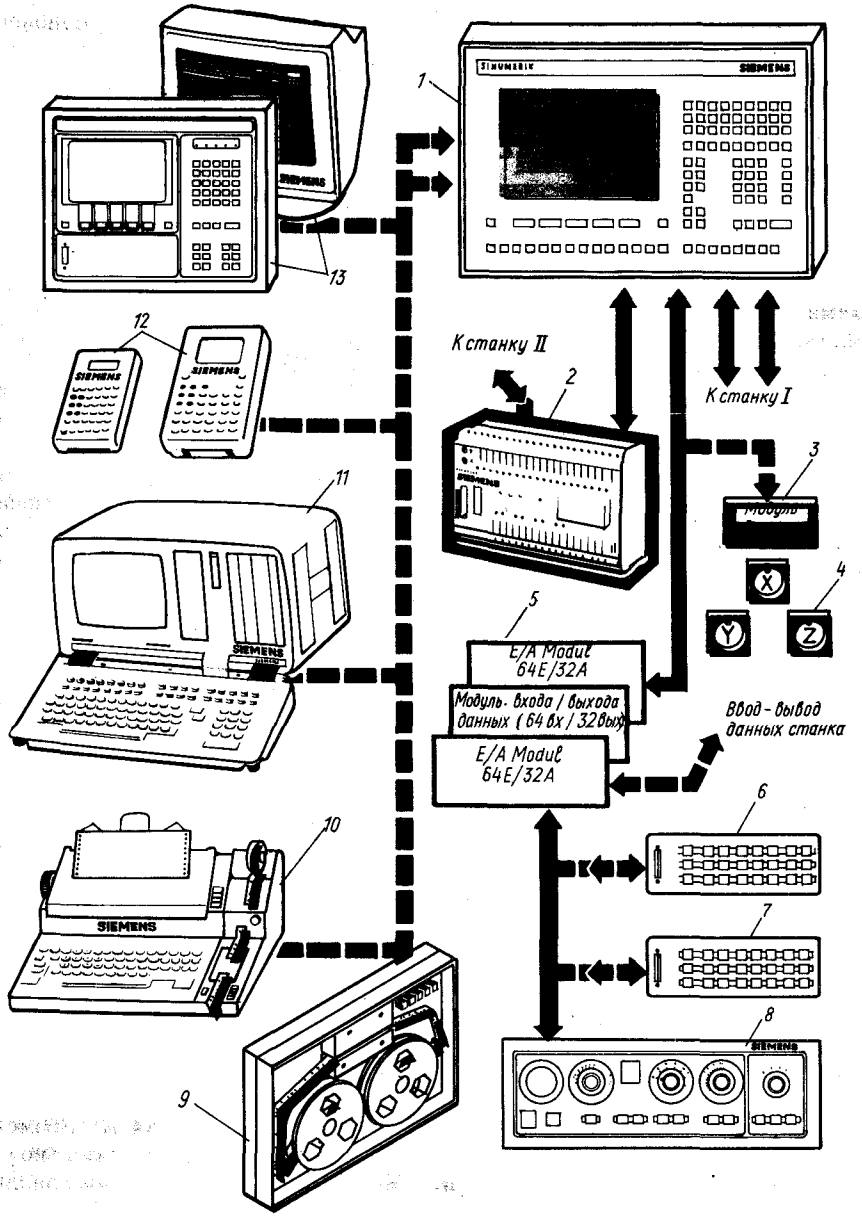


Рис. 11.18. Общая схема подключения периферийных устройств к СЧПУ

управления, но и дополнять информацией основное УЧПУ, вести активный обмен информацией с вычислительными блоками микропроцессоров УЧПУ и т. п.

Выносное печатно-перфорирующее устройство *10* обеспечивает вывод необходимой информации со всех устройств (через основное УЧПУ) на печать (бумажная лента или листы) или на перфоленту.

Устройство ввода информации с перфоленты *9* (от малогабаритной кассеты с магнитной пленкой) дополняет набор устройств, позволяя при необходимости быстро вводить необходимую информацию в основное УЧПУ.

Кроме рассмотренных устройств и элементов в общую систему могут быть включены и другие периферийные устройства. Модульная схема общего построения всей рассмотренной системы позволяет варьировать разные ее составляющие в зависимости от заданных условий работы и производства.

Рассмотренные технические средства подготовки и контроля УП для станков с ЧПУ не охватывают, естественно, всей гаммы применяемых устройств [67].

ГЛАВА 12

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

12.1. ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ

Работая в полуавтоматическом или автоматическом режиме, станок с ЧПУ прежде всего должен обеспечить точность обработки, которая зависит от суммарной погрешности обработки. На нее влияет ряд факторов: точность станка, точность системы управления, погрешности установки заготовки, погрешности наладки инструментов на размер, погрешности наладки станка на размер, погрешности изготовления инструмента, размерный износ режущего инструмента, жесткость системы СПИД.

Точность станка

Точность станка в ненагруженном состоянии называют *геометрической*.

В зависимости от точности характеристики станки с ЧПУ подразделяют в порядке возрастания точности на четыре класса: Н (нормальной точности), П (повышенной точности), В (высокой точности) и А (особо высокой точности).

Станки класса П обеспечивают точность обработки в пределах 0,6, класса В — в пределах 0,4, класса А — в пределах 0,25 интервала отклонений, получаемых на станках класса Н (нормальной точности). Станки классов В и А изготовляют в специально конструктивном исполнении с высокой точностью ответственных деталей и узлов.

При проверке норм точности станков устанавливают точность геометрических форм и относительного положения опорных поверхностей, базирующих заготовку и инструмент; точность движений по направляющим рабочих органов станка; точность расположения осей вращения и траекторий перемещений рабочих органов станка, несущих заготовку и инструмент, относительно друг друга и относительно базирующих поверхностей; точность обработанных поверхностей образца; шероховатость обработанных поверхностей образца.

Точность станков с ЧПУ характеризуют дополнительно следующие специфические проявления: точность линейного позиционирования рабочих органов; величина зоны нечувствительности, т. е. отставание в смещении рабочих органов при смене направления движения; точность возврата рабочих органов в исходное положение; стабильность выхода рабочих органов в заданную точку; точность отработки в режиме круговой интерполяции; стабильность положения инструментов после автоматической смены.

Нормативы точности линейного позиционирования рабочих органов станков с ЧПУ приведены в табл. 12.1.

При проверках выявляют как точность, так и стабильность, т. е. многократную повторяемость прихода рабочих органов в одно и то же положение,

Таблица 12.1. Допускаемая накопительная погрешность Δ при одностороннем подходе к заданной координате, мкм

Класс точности станка	Перемещения на длине, мм					
	До 50		Св. 50 до 80		Св. 80 до 125	
	а	б	а	б	а	б
Н	8	12	10	10	12	20
П	4	6	5	8	6	10
В	2	3	2,5	4	3	5

Класс точности станка	Перемещения на длине, мм					
	Св. 125 до 200		Св. 200 до 320		Св. 320 до 500	
	а	б	а	б	а	б
Н	16	25	20	30	25	40
П	8	12	10	16	12	20
В	4	6	5	8	6	10

Класс точности станка	Перемещения на длине, мм					
	Св. 500 до 800		Св. 800 до 1250		Св. 1250 до 2000	
	а	б	а	б	а	б
Н	40	50	40	65	50	80
П	16	26	20	30	25	40
В	8	12	10	16	12	20

Примечание. Погрешность а относится к осям X, Y, W, R, погрешность б — к оси Z.

причем зачастую стабильность важнее для достижения точности обработки на станках с ЧПУ, чем сама точность. В табл. 12.2 приведены предельные допускаемые значения нестабильности при линейном позиционировании.

Общая допускаемая ошибка при позиционировании рабочих органов $\Delta_р = \Delta + \delta$.

Если исходить из допускаемых отклонений, то наибольшая погрешность в отработке перемещения, например на длине в 300 мм по осям X и Y, для станка класса П составит 17,2 мкм, а для станка класса В — 8,6 мкм.

Для сохранения точности станка в течение длительного времени эксплуатации нормы геометрической точности при изготовлении станка по сравнению с нормативными ужесточают на 40 %. Тем самым завод-изготовитель резервирует в новом станке запас на изнашивание.

Точность системы управления

Ошибки интерполятора и режима интерполяции. Интерполятор вносит определенные погрешности в обработку. Как уже рассматривалось (см. гл. 1), для интерполяторов характерны некоторые отклонения отрабатываемой траектории от заданной. Отклонение δ (геометрическая погрешность) зависит от угла наклона траектории к координатным осям и не превышает цены импульса (дискреты) Δ на участке любой протяженности в одну из сторон от заданной траектории или $\pm 0{,}707\ \Delta$ на ограниченном участке в обе стороны от заданной траектории. Станкам первого поколения с дискретой до 0,1 мм и более были присущи значительные погрешности обработки, связанные с работой интерполятора. Геометрическая погрешность интерполяции для современных станков с ценой единичных импульсов 0,001—0,002 мм является

Таблица 12.2. Допускаемая нестабильность δ достижения заданного положения при позиционировании, мкм

Класс точности станка	Перемещения на длине, мм									
	До 50		Св. 50 до 125		Св. 125 до 320		Св. 320 до 800		Св. 800 до 2000	
	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б
Н	9,6	15,0	12,0	18,0	15,0	24,0	24,0	36,0	36,0	60,0
П	4,8	7,2	6,0	9,6	7,2	12,0	12,0	18,0	18,0	30,0
В	2,4	3,6	3,0	3,8	3,6	6,0	6,0	9,6	9,6	15,0

Примечание. Отклонения а относятся к осям X, Y, W, R, отклонения б — к оси Z.

величиной малой, не оказывающей существенного влияния на точность обработки, но проявляющейся в виде отклонений микрогеометрии, т. е. шероховатости обработанной поверхности.

Весьма существенны погрешности, не зависящие от интерполятора, но проявляющиеся в режиме интерполяции. Их причиной являются циклические ошибки в передаче движения приводами подач. Эти ошибки возникают от осевых биений и внутришаговых ошибок ходовых винтов, накопленных ошибок в зубчатых колесах редукторов и передачах к датчикам обратной связи, несоосности валов в кинематической цепи двигатель привода подач — редуктор — ходовой винт — датчик. При работе только по одной координате такие ошибки проявляются в виде некоторой неравномерности движения рабочих органов и не отражаются на результатах обработки, так как незначительные изменения подачи (в пределах малых долей от номинального значения) практически не приводят к микро- и макропогрешностям обработанной поверхности.

Совсем иная картина получается при одновременном перемещении рабочих органов в режиме интерполяции по нескольким осям. В этом случае неравномерность движения даже по одной из координат приводит к погрешности обработки траектории и волнистости обработанной поверхности.

Допустим, в двухкоординатной системе XZ (рис. 12.1) неравномерность на каждый оборот ходового винта проявляется при движении по координате Z, а движение по координате X осуществляется равномерно. Обозначим через P_z и P_x шаги ходовых винтов соответственно по осям Z и X. Сначала представим, что выполняется линейная интерполяция, например протачивание конической поверхности на токарном станке под углом α_1 к продольной оси Z. В связи с цикличностью ошибки по оси Z через полоборота ходового винта каретка пройдет путь, больший, чем половина шага, на некоторую величина ΔP_z, и рабочий орган вместо точки A окажется в точке A_1. На обработанной поверхности возникает волнистость с высотой волны

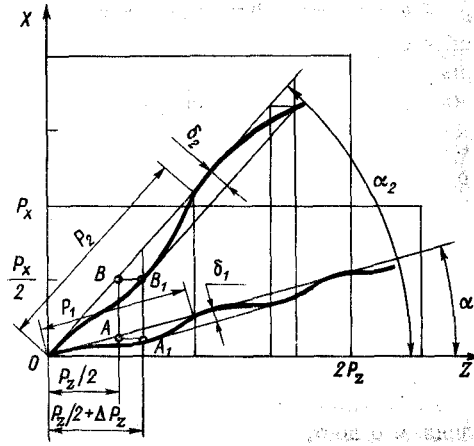


Рис. 12.1. Схема возникновения погрешности в режиме линейной интерполяции

$\delta_1 = \Delta P_z \sin\alpha_1$ и шагом $P_1 = P_z/\cos\alpha_1$.

С увеличением угла наклона траектории к оси Z увеличиваются высота $\delta_2 = \Delta P_z \sin\alpha_2$ и длина $P_2 = P_z/\cos\alpha_2$ волны. Отсюда ясно, как, оценивая шаг и высоту волны на обработанной поверхности, выявить элемент или группу элементов, порождающих циклическую погрешность перемещения. Надо обработать две поверхности под углами α_1 и α_2. Если при малом угле наклона траектории к одной из осей (угол α_1) высота δ_1 и шаг P_1 волны меньше, чем δ_2 и P_2 при большом угле α_2, то основное воздействие на погрешность оказывают элементы привода, расположенные и работающие по той же оси. Если элемент, порождающий ошибку, связан с ходовым винтом зубчатыми передачами с коэффициентом редукции i, то проекция волны на ось будет иметь шаг, равный P_i.

Погрешности аппроксимации. При использовании УЧПУ с линейными интерполяторами для обработки деталей по круговому контуру, при расчете координат опорных точек в процессе подготовки УП применяют аппроксимацию окружностей, что связано с погрешностью (см. гл. 1). Путь повышения точности в указанном случае лежит в уменьшении шага аппроксимации (угла $\Delta\varphi$), поскольку уменьшение дуги в два раза уменьшает погрешность аппроксимации в четыре раза.

Погрешности установки заготовки

Погрешность установки δ_y определяется суммой погрешностей базирования $\delta_б$ и закрепления $\delta_з$. Погрешности являются векторами, и указанное суммирование выполняют геометрически. Погрешность базирования возникает вследствие несовмещения установочной базы с измерительной.

Корпусную деталь, у которой измерительными базами являются поверхности K и L, согласно традиционным представлениям о достижении максимальной точности надо базировать по тем же поверхностям (рис. 12.2, *а*), при этом происходит совмещение технологических и измерительных баз, от которых проставлены размеры a, b, c, d. Однако для станков с ЧПУ имеется возможность достижения более высоких точностей, когда за один установ обрабатывают измерительные базы и все остальные поверхности, размеры которых отсчитаны от этих баз (рис. 12.2, *б*). При базировании детали по этой схеме сначала обрабатывают поверхности K и L, а потом все остальные (на рис. 12.2, *б* — два отверстия). Возможен и обратный вариант, когда последними обрабатываются поверхности K и L. При этом в качестве технологических баз выбирают менее ответственные поверхности, зачастую необработанные, что особенно характерно для обработки на многоцелевых станках.

При закреплении заготовки *1* (рис. 12.2, *в*) возможны ее смещения под действием зажимных сил Q_1 и Q_2, т. е. может появиться погрешность закрепления $\delta_з$. Смещение заготовки из положения, определяемого установочными элементами приспособления, происходит вследствие деформаций отдельных звеньев цепи: заготовки *1* — $\delta_з$, установочных элементов *2* — $\delta_у$, корпуса приспособления *3* — $\delta_п$. Особенно велики деформации в местах контакта базовых поверхностей заготовки с установочными элементами приспособлений.

Если бы деформация поверхностных слоев всех заготовок партии была одинаковой, то ее можно было бы учесть при наладке станка и компенсировать с помощью коррекции инструмента или другими доступными наладчику методами. Однако в связи с неоднородностью качества поверхностей и нестабильностью удельных нагрузок будет возникать различная по величине для всех заготовок партии осадка. Погрешность закрепления равна разности между предельными (наибольшим и наименьшим) смещениями измерительной базы в партии обработанных деталей.

Погрешности наладки инструментов на размер

Современные приборы для наладки инструментов на размер имеют высокую разрешающую способность; цена отсчета координатных шкал 0,001 мм; увеличение проектора до 30 раз. Однако, сколь бы высокой ни была точность исполнения прибора, наладка инструмента всегда производится с некоторыми отклоне-

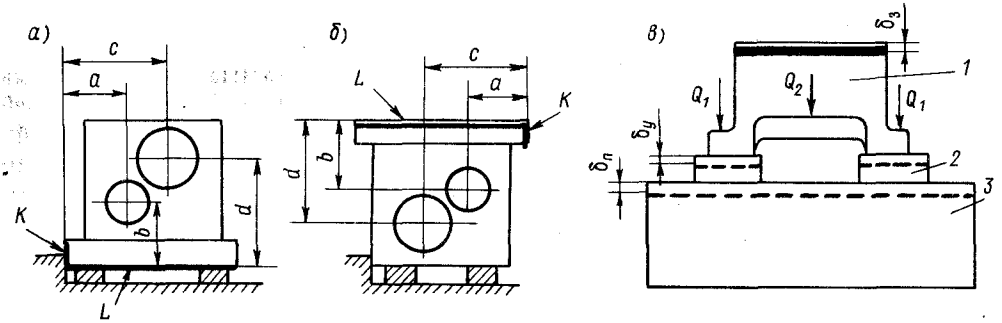


Рис. 12.2. Погрешности базирования и закрепления корпусной детали: *а* — базирование при совмещении технологических и измерительных баз; *б* — базирование при обработке за один установ; *в* — возникновение погрешности закрепления

ниями. Эти отклонения определяются погрешностью самого прибора (δ_1, ..., δ_5) и погрешностью закрепления на станке налаженного на размер инструмента (δ_6, ..., δ_8).

По правилам сложения случайных величин погрешность положения вершины налаженного на размер инструмента

$$\delta_н = [(k_1\delta_1)^2 + (k_2\delta_2)^2 + (k_3\delta_3)^2 + (k_4\delta_4)^2 + (k_5\delta_5)^2 + (k_6\delta_6)^2 + (k_7\delta_7)^2 + (k_8\delta_8)^2]^{1/2},$$

где δ_1 — погрешность шкал отсчета прибора; δ_2 — погрешность отсчета размера по шкалам; δ_3 — неточность совмещения вершины инструмента с перекрестием экрана проектора; δ_4 — несовмещение начал отсчета шкал и устройства для закрепления инструмента; δ_5 — неточность углового расположения на приборе устройства для закрепления инструмента; δ_6 — несовпадение нуля отсчета координат инструмента с теоретическим положением из-за неточностей расположения поверхностей, базирующих инструмент на станке; δ_7 — погрешность, возникающая от неправильного углового расположения на станке базирующих поверхностей; δ_8 — погрешность, возникающая в связи с деформациями элементов, участвующих в зажиме инструмента; k — коэффициенты, учитывающие законы распределения погрешностей.

Точность наладки инструментов на размер можно оценить расчетным путем. При расчете можно принять: $\delta_1 = 1{,}5$ мкм; $\delta_2 = 1$ мкм; $\delta_3 = \delta_4 = \ldots = \delta_8 = 3$ мкм; $k_1 = k_2 = \ldots = k = 1$ (погрешности распределены по нормальному закону); $\delta_и = 7{,}5$ мкм.

Погрешности δ_6, δ_7 и δ_8 не могут быть учтены и скомпенсированы при наладке инструментов на размер, так как один прибор обычно обслуживает несколько станков, для которых погрешности различны.

Погрешности наладки станка на размер

Наладка станка на размер заключается в согласованной установке налаженного на размер режущего инструмента, рабочих элементов станка и базирующих элементов приспособления в положение, которое с учетом явлений, происходящих в процессе обработки, обеспечивает получение требуемого размера с заданным допуском на изготовление. Это взаимное положение элементов технологической системы определяют термином «установочный размер». Погрешность наладки станка возникает вследствие того, что при отыскании нуля программы и установке инструментов невозможно расположить рабочие элементы станка и инструменты точно в расчетное положение.

В процессе наладки, чтобы определить установочный размер для каждого инструмента, наладчик использует метод пробных рабочих ходов, а в процессе дальнейшей обработки партии деталей — метод автоматического получения размеров.

Погрешность наладки станка $\delta_н$ равна разности предельных значений установочного размера и зависит от погрешностей наладки инструмента на размер $\delta_и$, установки нулевого положения программы δ_0, измерения пробных деталей при наладке $\delta_{изм}$ и отклонений центра группирования пробных деталей относительно середины поля рассеяния в момент наладки $\delta_{расч}$:

$$\delta_н = [(k_и\delta_и)^2 + (k_0\delta_0)^2 + (k_{изм}\delta_{изм})^2 + (k_{расч}\delta_{расч})^2]^{1/2},$$

где $k_и = k_0 = k_{расч} = 1{,}0 \div 1{,}73$; $k_{изм} = 1{,}0$; $\delta_{расч} = 3\sigma_н/n^{1/2}$; $\sigma_н$ — среднеквадратическое отклонение в момент наладки; n — число пробных деталей, на которых производится наладка установочного размера.

Точность наладки повышается при увеличении числа пробных деталей. Однако следует учитывать, что при обработке малых партий число пробных деталей ограничено и часто не превышает одной штуки. Чтобы первую пробную деталь получить годной, с малыми затратами времени установить нулевое положение программы и с помощью корректоров положения достичь требуемых размеров, нужна высокая квалификация наладчика.

Под регулировкой установочного раз-

мера (подналадкой) понимают восстановление установочного размера, изменившегося вследствие размерного изнашивания инструментов или температурных деформаций системы. Обоснованный выбор установочного размера, с одной стороны, исключает появление брака вскоре после наладки станка, а с другой стороны, более полно использует поле допуска на износ инструмента и температурную деформацию и, таким образом, уменьшает число подналадок станка на протяжении обработки партии.

В зависимости от характера предполагаемого изменения размеров установочный размер при наладке устанавливают таким, чтобы он отстоял от нижней или верхней границы поля допуска примерно на 1/5 поля. Инструменты для обработки наружных поверхностей с учетом размерного износа следует налаживать ближе к нижней границе поля допуска, а инструменты для обработки внутренних поверхностей — ближе к верхней границе.

Погрешности изготовления инструмента

При фасонной токарной обработке обрабатываемая поверхность формируется различными точками, лежащими на закругленной части вершины резца (рис. 12.3, *а*): r — радиус закругления; цилиндрические поверхности образуются точкой A, торцовые — точкой B. Это обстоятельство всегда учитывают при программировании конических и криволинейных поверхностей. При обработке конических поверхностей достаточно ввести в программу поправку a по оси Z, равную расстоянию между точкой B и той точкой C, которая фактически работает при данном угле α.

Если фактический радиус при вершине резца будет иметь отклонения от заданного программой, то неизбежно возникновение погрешностей обрабатываемого профиля.

Допустим, запроектирована обработка конической поверхности детали с углом α (рис. 12.3, *б*). Программой предусмотрена работа резцом с радиусом при вершине r, причем учтены необходимые смещения a. Фактически резец имеет радиус при вершине $r_ф$, отличающийся от заданного на величину Δr. Поскольку УЧПУ ряда токарных станков не имеют коррекции радиуса, а только коррекцию положения по каждой из координатных осей, то заданные диаметральные размеры D_1 и D_2 достигаются за счет коррекции по оси X'. Погрешность искажения размеров по оси Z' можно определить по формуле $\delta_z = \Delta r \operatorname{tg}(\alpha/2)$, а погрешность профиля — по формуле $\delta = 2\Delta r \sin^2(\alpha/2)$. В случае обработки конусов (рис. 12.3, *б*) уменьшение радиуса при вершине резца приводит к сужению профиля, а увеличение радиуса — к расширению его.

На рис. 12.4 показана обработка выпуклых и вогнутых профилей переменной кривизны. Углы α_1 и α_2 являются

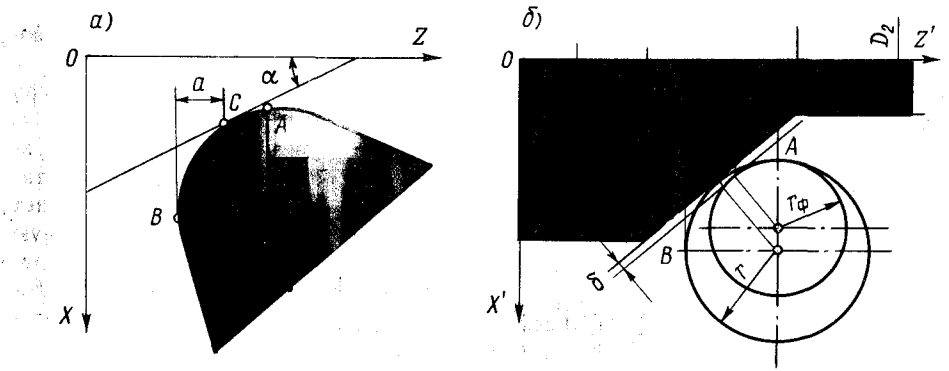


Рис. 12.3. Погрешности при обработке различных поверхностей резцом с закругленной вершиной; *а* — смещение расчетных точек резания; *б* — погрешности обработки в случае неточного радиуса при вершине резца

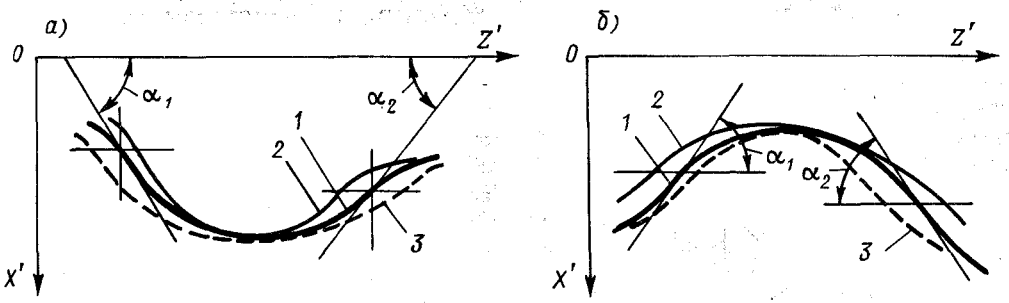


Рис. 12.4. Обработка профилей переменной кривизны: *а* **— выпуклых;** *б* **— вогнутых**

максимальными углами наклона левой и правой частей профиля (кривые *1*) к оси Z'. Уменьшение радиуса при вершине резца по сравнению с запрограммированным увеличивает кривизну вогнутого профиля и уменьшает кривизну выпуклого (кривые *3*). Увеличение радиуса при вершине резца уменьшает кривизну вогнутого профиля и увеличивает кривизну выпуклого (кривые *2*). Допустимая для многогранных неперетачиваемых пластин из твердого сплава погрешность радиуса при вершине $\Delta r = \pm 0{,}1$ мм может привести к существенной погрешности профиля. Например, при $\alpha_1 = \alpha_2 = 35°$ погрешность профиля с каждой из сторон $\delta_z = 0{,}018$ мм.

Размерный износ режущего инструмента

Изнашивание инструмента в процессе обработки может сильно влиять на погрешность обработки, особенно при изготовлении деталей из жаростойких и жаропрочных материалов.

Изнашивание инструмента, в частности резцов, по задней грани происходит в результате трения между этой гранью и обрабатываемой поверхностью. Критерием изнашивания является размер $h_з$ площадки износа по задней грани (рис. 12.5, *а*). Размерным износом является величина $h_р$ — радиальное уменьшение длины резца задней грани. Поскольку резец укорачивается, увеличивается диаметр обрабатываемой детали.

Изнашивание резца вносит в наладку систематическую погрешность (рис. 12.5, *б*). Пусть первоначальная наладка инструмента проведена так, что поле рассеяния размеров 6σ совмещено с началом поля допуска детали δ. Если через время T_1 произвести повторную выборку, то поле рассеяния от действия случайных погрешностей не изменится, но центр группирования сместится вследствие изнашивания инструмента на величину $\Delta C_0 = \Delta C_1 = D_1 - D_0$. Если через время T_1 вновь произвести выборку, то центр

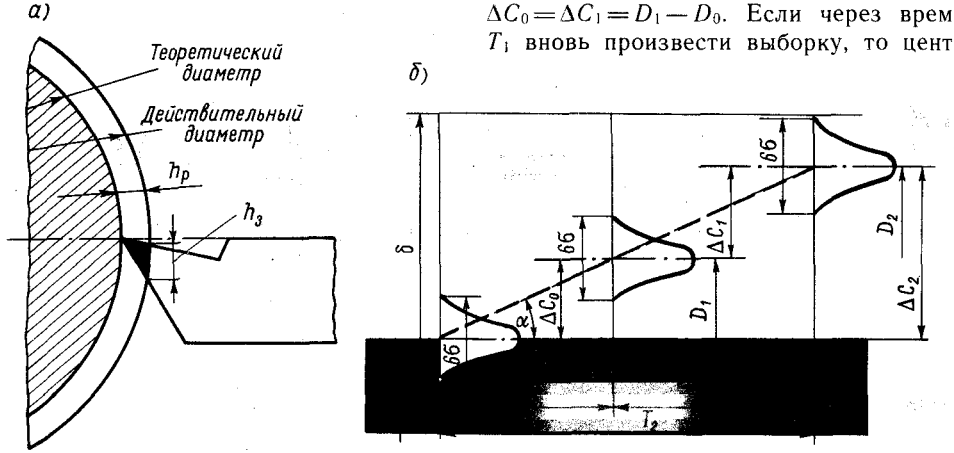


Рис. 12.5. Влияние размерного износа инструмента на погрешность обработки: *а* **— отклонения размеров детали;** *б* **— смещение центра поля рассеяния размеров**

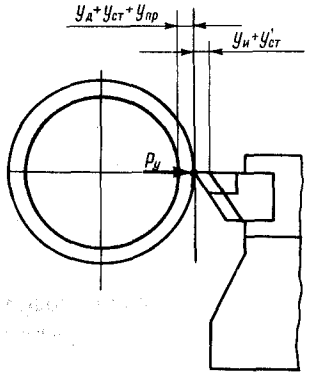


Рис. 12.6. Схема возникновения погрешности обработки под действием силы P_y

рассеяния снова сместится на ΔC_1. Суммарная систематическая погрешность $\Delta C_2 = 2\Delta C_1$. Чтобы размеры детали не вышли за поле допуска, требуется подналадка станка. В данном случае период подналадки равен T_2 и инструмент необходимо переместить при подналадке в радиальном направлении на ΔC_2. Подналадка компенсирует радиальное изнашивание инструмента, поле рассеяния возвращается в начальное положение. В общем случае систематическая погрешность $\Delta C = \operatorname{tg}\alpha T$, где $\operatorname{tg}\alpha$ — интенсивность размерного изнашивания инструмента.

Подналадка может быть ручной и автоматической. При ручной подналадке станков с ЧПУ рабочий через определенное время или через определенное число обрабатываемых деталей вводит размерную коррекцию инструмента. При автоматической подналадке размерная коррекция вводится по программе.

Жесткость системы СПИД

Упругие деформации. Станок, приспособление, режущий инструмент и деталь в процессе обработки представляют собой упругую систему, которую для краткости называют системой СПИД. Силы резания при обработке вызывают упругие деформации отдельных элементов системы, упругие деформации в местах соединений деталей механизмов, а также смещения в этих стыках.

Под *жесткостью* упругой системы понимают ее способность оказывать сопротивление деформирующему действию внешних сил. При отсутствии необходимой жесткости под действием составляющих силы резания система СПИД деформируется, что вызывает погрешности формы и размеров обработанной заготовки. Таким образом, точность обработки в большой степени зависит от жесткости системы СПИД. В неменьшей степени от жесткости зависят условия резания без вибраций.

Если нагружать технологическую систему составляющей силы резания P_y (рис. 12.6) и измерять возникающие деформации y (деформацию детали $y_д$, деформацию элементов станка $y_{ст}$, деформацию элементов приспособления $y_{пр}$, деформацию инструмента $y_и$), то можно установить некоторую, чаще всего нелинейную зависимость $P_y = f(y)$ деформации элементов системы СПИД от силы нагружения (кривые *1* на рис. 12.7). В качестве критерия жесткости принято отношение приращения ΔP_y радиальной составляющей силы резания, направлен-

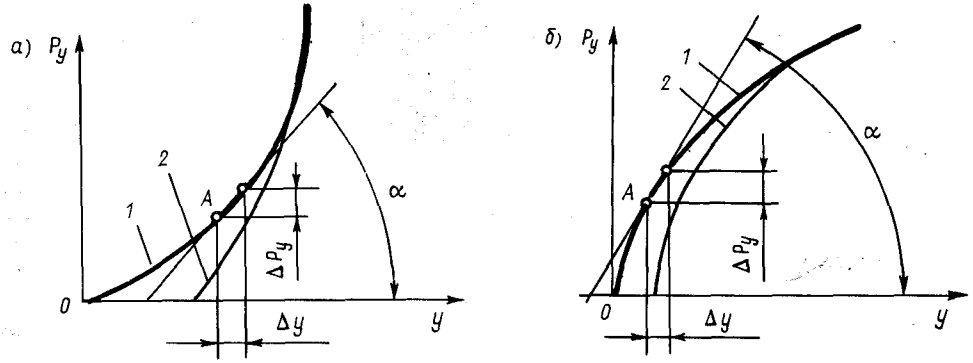


Рис. 12.7. Диаграммы жесткости систем: *а* — без натяга; *б* — с предварительным натягом

ной по нормали к обрабатываемой поверхности, к приращению Δy отсчитанной в том же направлении деформации режущей кромки инструмента относительно поверхности детали: $j=\Delta P_y/\Delta y$, где j — в Н/м; ΔP_y — в Н; Δy — в мм.

Для оценки жесткости в любой точке A кривой $P_y=f(y)$ необходимо найти производную в данной точке $y'=j_A=dP_y/dy$. Численно производная равна $\operatorname{tg}\alpha$, где α — угол наклона касательной к кривой в точке A.

Кривые разгрузки *2* чаще всего не совпадают с кривыми нагрузки *1*, а площадь, заключенная между ними, отражает работу сил трения.

Жесткость станка зависит от конструктивного исполнения, в частности от предварительного натяга отдельных механизмов, и от качества сборки. Для многих станков жесткость (или обратная ей величина — податливость) регламентирована требованиями стандарта.

В процессе обработки заготовки погрешности формы и пространственные отклонения при каждом последующем ходе инструмента будут уменьшаться. Отношение погрешности Δb, полученной после обработки, к погрешности Δa, имеющейся до обработки, называется коэффициентом уточнения $k_{ут}=\Delta b/\Delta a$. Поскольку погрешности заготовки не исчезают полностью, а лишь уменьшаются, можно говорить о копировании и наследовании погрешностей заготовки. Целесообразно на каждом последующем ходе сокращать размер снимаемого припуска. Чем выше жесткость станка, тем за меньшее число рабочих ходов может быть достигнута требуемая точность. Погрешности окончательно обработанной детали представляют собой совокупность как остаточных погрешностей, так и погрешностей, возникающих при выполнении окончательных рабочих ходов инструмента.

Пример. *Влияние упругих деформаций на точность обработки.* Пусть в центрах обрабатывается вал (рис. 12.8). Жесткость передней и задней бабок 50 000 Н/мм; жесткость детали при нагружении ее посередине 2000 Н/мм; сила $P_y=500$ Н. При крайних положениях резца *1* и *3* силу P_y воспринимают задняя и передняя бабки, которые деформируются на величину $y_1=500/50\,000=0{,}01$ мм.

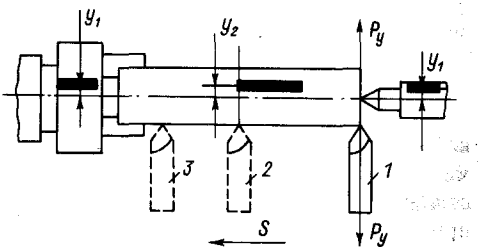


Рис. 12.8. Влияние упругих деформаций системы СПИД на точность обработки

При среднем положении резца силу P_y воспринимает деталь, она деформируется на величину $y_2=500/2000=0{,}25$ мм. В результате обрабатываемая деталь будет иметь бочкообразность, равную 0,24 мм на одну сторону, или 0,48 мм на диаметр.

Станки с ЧПУ имеют в среднем на 40—50 % более высокую жесткость по сравнению с универсальными станками. Это обеспечивает их высокую точность, но вместе с тем при обработке детали возникают некоторые новые явления, которые не наблюдаются на обычных станках.

Обычно при определении упругих деформаций пользуются радиальной составляющей силы P_y (см. рис. 12.6). При обработке цилиндрической поверхности радиальная составляющая отжимает резец от детали и является причиной погрешности. Осевая составляющая P_x тоже вызывает упругую деформацию инструмента, но, действуя вдоль оси детали, дает незначительную погрешность. Если перейти к обработке криволинейного контура, то отжатие инструмента вызовет сила, действующая по нормали к поверхности обработки: на начальном участке обработки дуги окружности — сила P_y, на конечном участке — сила P_x. В этом случае для определения погрешности пользуются формулой $\Delta x=P_x/j_x$, где j_x — жесткость в осевом направлении.

При обработке криволинейного контура непрерывно меняется и составляющая P_z. В частности, при обработке дуги окружности она непрерывно возрастает, и этот факт также необходимо учитывать.

Тепловые деформации и деформации от внутренних напряжений заготовок. Тепловые деформации возникают в результате действия трех факторов: выделения тепла двигателями, гидравли-

ческой системой и движущимися частями (за счет трения) станка; образования тепла в процессе резания; непостоянства температуры помещения, в котором находится станок. Эти деформации весьма существенны. Заметим, что нагрев стального стержня длиной 1 м на 1 °С приводит к удлинению его на 11 мкм.

Тепловые деформации частей станка в начальный период работы протекают весьма интенсивно, затем их интенсивность уменьшается, и по истечении некоторого времени величина деформации стабилизируется. Изменение взаимного положения рабочих органов станка значительно влияет на точность обработки, поэтому необходимо предусмотреть прогрев станка до начала обработки деталей.

Вторая практическая рекомендация: при обработке деталей следует избегать продолжительных остановов и сохранять определенный ритм чередования работы и перерывов на смену заготовок.

Тепло, выделяемое в зоне резания, непосредственно воздействует на инструмент и заготовку, а через отходящую стружку — на элементы станка. Имеется много практических приемов снижения влияния температурных деформаций на точность обработки. Наиболее эффективный — использование смазочно-охлаждающих жидкостей. После черновой обработки с интенсивным тепловыделением чистовые рабочие ходы следует начинать не сразу, а после охлаждения заготовки. Обработка на многоцелевых станках, когда одновременно в работе находится несколько заготовок, должна быть построена по рациональной схеме с выдержкой времени на стабилизацию температуры. Высокоточные станки, предназначенные для обработки точных деталей, устанавливают в термоконстантных помещениях.

Заготовкам всегда присущи внутренние напряжения. Они появляются в результате неравномерного охлаждения отдельных частей заготовок при литье, штамповке, ковке, сварке, термообработке и обработке резанием. С течением времени внутренние напряжения постепенно выравниваются и уменьшаются, при этом заготовка деформируется. Особенно активно коробится заготовка в процессе обработки, когда снимаются поверхностные слои, имеющие наибольшие напряжения. Происходят перераспределение напряжений и деформация заготовки. Для уменьшения воздействия этих деформаций на окончательные результаты обработки черновые ходы необходимо отделить от чистовых, так как именно во время чистового хода достигается требуемая чертежом точность размеров и геометрической формы детали. Для обеспечения высокой точности обработки между черновыми и чистовыми операциями следует выполнять естественное или искусственное старение.

12.2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И КОНТРОЛЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ

Термины и определения

Действие всех перечисленных факторов, влияющих на точность обработки, приводит к возникновению погрешностей обработки, термины и определения которых установлены ГОСТ 15895—77* (СТ СЭВ 547—84, СТ СЭВ 3404—81).

Погрешность производства продукции — отклонение действительного значения параметра производимой продукции от номинального значения, установленного нормативно-технической документацией.

Систематическая погрешность производства продукции — составляющая погрешности производства продукции, при неизменных условиях сохраняющая или принимающая закономерно изменяющиеся модуль и (или) знак. Различают два вида этой погрешности: постоянную систематическую и переменную систематическую.

Постоянная систематическая погрешность производства продукции — систематическая погрешность производства продукции, сохраняющая модуль и знак. Эта погрешность возникает под влиянием постоянно действующих факторов и не

изменяется при обработке одной или нескольких партий заготовок.

Примеры постоянных систематических погрешностей: конусообразность обработанной поверхности заготовки, возникающая в результате смещения центров передней и задней бабок или непараллельности оси шпинделя направляющим станины при обтачивании в патроне; погрешность межосевого расстояния растачиваемых отверстий из-за ошибок в размере между осями направляющих втулок; погрешность диаметров отверстий из-за погрешностей в размерах протяжки, развертки, зенкера, или сверла (т. е. мерного инструмента); погрешности формы, возникающие вследствие деформации тонкостенной заготовки при ее закреплении в приспособлении.

Переменная систематическая погрешность производства продукции — систематическая погрешность производства продукции, закономерно изменяющаяся по модулю и (или) знаку. Причинами возникновения такой погрешности являются размерный износ режущего инструмента; температурные деформации станков, режущего инструмента, приспособлений, обрабатываемой заготовки; погрешности формы исходной заготовки и др.

Случайная погрешность производства продукции — составляющая погрешности производства продукции, случайным образом принимающая при неизменных условиях различные модуль и (или) знак. Причинами случайных погрешностей являются, например, неравномерность или колебания размеров припуска на обработку; колебания значений механических свойств и нестабильность структуры материала заготовок; колебания значений силы резания и неодинаковость закрепления заготовок в приспособлении; колебания температурного режима обработки; затупление режущего инструмента; колебания упругих отжатий элементов системы СПИД под влиянием нестабильных сил резания и др.

В результате возникновения случайных погрешностей происходит рассеяние размеров заготовок, обработанных при одних и тех же условиях. Для выявления и анализа закономерностей распределения размеров заготовок при их рассеянии применяют методы математической статистики.

Суммарная погрешность обработки в общем виде может быть выражена следующей функциональной зависимостью:

$$\Delta_{\sum} = f(\sum \Delta_i^{\text{пост}};\quad \sum \Delta_k^{\text{пер}};\quad \sum_m^{\text{случ}}),$$

где $\Delta_{\sum}$ — суммарная погрешность; $\Delta_i^{\text{пост}}$ — i-я постоянная погрешность; $\Delta_k^{\text{пер}}$ — k-я переменная систематическая погрешность; $\Delta_m^{\text{случ}}$ — m-я случайная погрешность.

В состав этих погрешностей входят погрешности размеров и формы. Суммарная погрешность, как и многие другие сложные понятия (надежность и др.),— случайное событие, поэтому для ее определения применяют методы математической статистики и теории вероятностей.

Метод кривых распределения

Рассеяние размеров деталей, обработанных на налаженном станке, и закономерность этого рассеяния могут быть наглядно установлены при помощи кривых распределения на основе закона больших чисел.

Совокупность значений действительных размеров заготовок, обработанных при неизменных условиях и расположенных в возрастающем порядке с указанием частоты повторения этих размеров и частостей, называется *распределением размеров заготовок*.

Под *частостью* понимают отношение числа заготовок одного размера к общему числу заготовок партии.

Кривые распределения строят так. Измерив все обработанные заготовки в партии, разбивают их на группы с одинаковыми размерами или отклонениями (в пределах определенного интервала). Частость в этом случае представляет собой отношение числа заготовок, действительные размеры которых попали в данный интервал, к общему количеству n измеренных заготовок в партии. Например, после измерения 350 заготовок с действи-

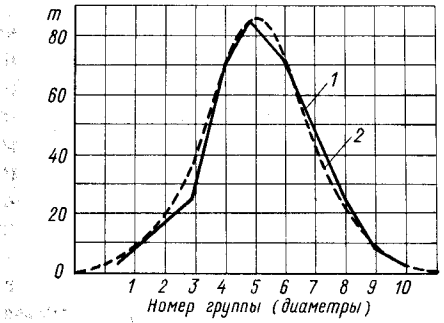


Рис. 12.9. Распределение размеров обработанных заготовок в партии:

1 — действительное распределение; *2* — кривая нормального распределения

Таблица 12.3. Распределение размеров обработанных заготовок в партии ($n=350$ шт.)

Номер группы	Интервал размеров, мм	Частота повторения m	Частость m/n
1	49,940—49,946	8	0,023
2	49,946—49,952	16	0,046
3	49,952—49,958	25	0,071
4	49,958—49,964	65	0,186
5	49,964—49,970	85	0,242
6	49,970—49,976	73	0,208
7	49,976—49,982	48	0,137
8	49,982—49,988	24	0,069
9	49,988—49,994	6	0,017
10	49,994—50,000	0	0,000

тельными размерами в пределах 49,940—50,000 мм распределение их размеров может иметь вид, приведенный в табл. 12.3. Эти результаты можно представить графически: по оси абсцисс откладывают интервалы размеров (или номера групп) в соответствии с табл. 12.3, а по оси ординат — соответствующие им частоты m или частости m/n. В результате построения получается ломаная линия (рис. 12.9). При большом числе изменений эта ломаная линия приближается к плавной кривой, которая называется *кривой распределения*.

При разных условиях обработки заготовок рассеяние их размеров подчиняется различным математическим законам. В технологии машиностроения практическое значение имеют следующие законы распределения (рис. 12.10).

1. Нормальный закон (закон Гаусса). Центры рассеяния размеров во времени не смещаются. Этому закону (рис. 12.10, *а*), подчиняется распределение линейных размеров (диаметров D, длин L) и угловых размеров обрабатываемых заготовок.

2. Закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона). Он (рис. 12.10, *б*) описывает рассеяние случайной величины, если на нее действуют два доминирующих фактора, каждый из которых равномерно распределен.

3. Закон эксцентриситета (закон Рэлея). Распределение таких существенно положительных величин, как эксцент-

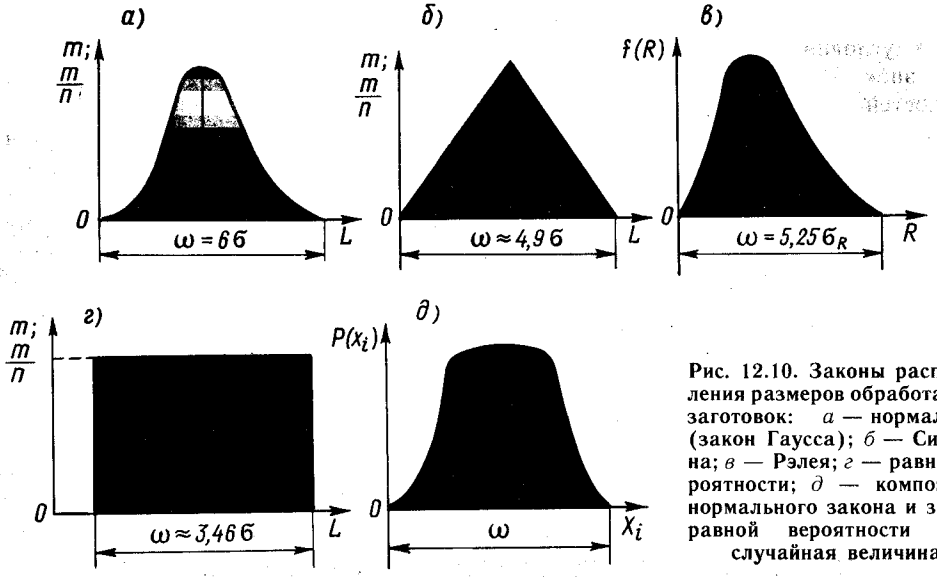


Рис. 12.10. Законы распределения размеров обработанных заготовок: *а* **— нормальный (закон Гаусса);** *б* **— Симпсона;** *в* **— Рэлея;** *г* **— равной вероятности;** *д* **— композиция нормального закона и закона равной вероятности (x_i — случайная величина)**

риситет, биение, разностенность, отклонения от параллельности, отклонения от перпендикулярности, овальность, конусообразность, отклонение от соосности, торцовое и радиальное биения и др., подчиняется закону эксцентриситета. Из рис. 12.10, *в* видно, что для теоретической кривой распределения по закону Рэлея характерны крутой подъем восходящей ветви и более пологий спуск нисходящей ветви. Фактическое поле рассеяния ω значений переменной случайной величины радиуса-вектора R (эксцентриситета, разностенности и т. п.) находят по формулам:

$$\omega = 5{,}25\sigma_R; \quad \omega = 3{,}44\sigma_0,$$

где σ_R — среднеквадратическое отклонение переменной случайной величины R; σ_0 — среднеквадратическое отклонение значений координат x и y конца радиуса-вектора R.

4. Закон равной вероятности (рис. 12.10, *г*) наблюдается, когда на случайную величину действует доминирующий фактор, равномерно возрастающий по времени, например переменная систематическая погрешность, связанная с изнашиванием режущего инструмента. Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров заготовок повышенной точности (5-6-й квалитеты).

5. Композиции законов распределения. Если при обработке заготовок одновременно воздействуют разные факторы, то возникают как случайные погрешности, подчиняющиеся разным законам, так и систематические. На рис. 12.10, *д* приведена композиция нормального закона и закона равной вероятности. Композиции находят методами математической статистики.

Многочисленные исследования показывают, что если работа протекает в нормальных условиях на налаженных станках, то распределение действительных размеров деталей в партии подчиняется, как правило, закону нормального распределения (закону Гаусса). Рассмотрим его подробнее.

Уравнение кривой нормального распределения имеет вид

$$y = \varphi(x) = \sigma^{-1}(2\pi)^{-1/2}\exp\left[-x^2/(2\sigma^2)\right], \qquad (12.1)$$

где y — частота появления погрешности; σ — среднеквадратическое отклонение аргумента, равное квадратному корню из средней арифметической квадратов всех отклонений; x — отклонение действительных размеров от средних, $x = L_i - L_{ср}$ (L_i — действительные размеры; $L_{ср}$ — среднее арифметическое значение действительных размеров заготовок данной партии).

Средний размер детали в партии $L_{ср}$ (мм) равен среднему арифметическому из размеров всех деталей всех групп:

$$L_{ср} = (m_1L_1 + m_2L_2 + \ldots + m_kL_k)/n = \left(\sum_{i=1}^{k} L_i m_i\right)/n, \qquad (12.2)$$

где m_1, m_2, ..., m_k — частота (количество деталей в каждой группе); L_1, L_2, ..., L_k — размеры отдельных групп деталей, соответствующие числу интервалов; $n = m_1 + m_2 + \ldots + m_k$ — общее количество измеренных деталей в партии; k — число групп, соответствующее числу интервалов.

Среднеквадратическое отклонение определяют по формуле

$$\sigma = \left[(m_1x_1^2 + m_2x_2^2 + \ldots + m_kx_k^2)/n\right]^{1/2} = \left\{\left[m_1(L_1 - L_{ср})^2 + m_2(L_2 - L_{ср})^2 + \ldots + m_k(L_k - L_{ср})^2\right]/n\right\}^{1/2} = \left\{\left[\sum_{i=1}^{k}(L_i - L_{ср})^2 m_i\right]/n\right\}^{1/2} = \left[\left(\sum_{i=1}^{k} x_i^2 m_i\right)/n\right]^{1/2}, \qquad (12.3)$$

где $x_1 = L_1 - L_{ср}$; $x_2 = L_2 - L_{ср}$; ...; $x_k = L_k - L_{ср}$ — отклонения действительных размеров от среднего арифметического в каждой группе деталей.

Параметр $L_{ср}$ (математическое ожидание) определяет центр группирования размеров, параметр σ — рассеяние их относительно центра. Поясним сказанное графически.

Горизонтальная ось на рис. 12.11, *а* — ось L. Будем последовательно откладывать на ней размеры L_i от начала коорди-

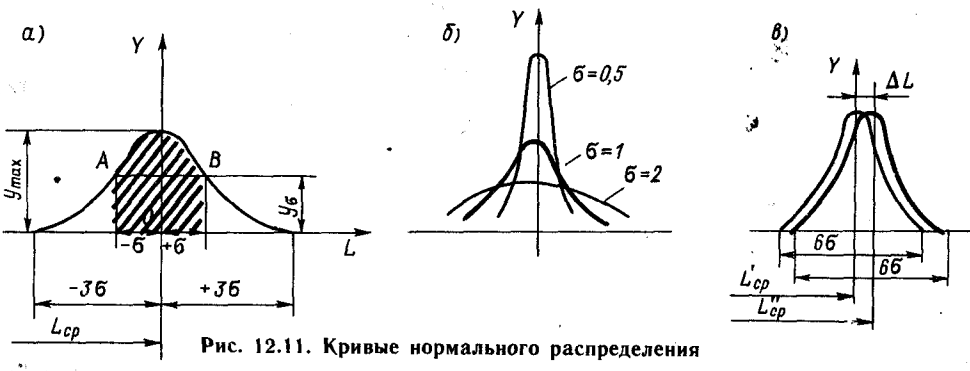


Рис. 12.11. Кривые нормального распределения

нат. Поскольку размеры не равны между собой, их правые концы не совпадают, а рассеиваются на некотором участке оси L. Величина $L_{ср}$ определяет центр рассеяния размеров. Размеры рассеиваются симметрично относительно центра, и большинство из них укладывается в область $\pm 3\sigma$. За пределы поля рассеяния 6σ выходит лишь 0,27 % всех размеров, что практически вполне допустимо. Кривая на графике называется кривой нормального распределения, она иллюстрирует закон распределения размеров в пределах поля рассеяния.

Анализ уравнения (12.1) — кривой нормального распределения — показывает, что она симметрична относительно оси ординат (рис. 12.11, *а*).

При $L_i = L_{ср} = 0$ кривая имеет максимум

$$y_{max} = \sigma^{-1}(2\pi)^{-1/2} \approx 0{,}4/\sigma. \qquad (12.4)$$

На расстоянии $\pm\sigma$ от вершины кривая имеет две точки перегиба (A и B) с ординатами

$$y_A = y_B = y_\sigma = \sigma^{-1}(2\pi e)^{-1/2} = \\ = y_{max} e^{-1/2} = 0{,}6 y_{max} = 0{,}24/\sigma. \qquad (12.5)$$

Кривая асимптотически приближается к оси абсцисс. Принято считать, что на расстоянии $\pm 3\sigma$ от вершины кривой ее ветки пересекаются с осью абсцисс, так как при этом 99,73 % всей площади ограничивается кривой. Следовательно, отклонения действительных размеров от среднего размера почти для всех обработанных деталей находятся в пределах от $+3\sigma$ до -3σ, т. е. абсолютное значение отклонения равно 6σ. Если допуск на обработку больше 6σ, то поле рассеяния размеров и погрешность обработки меньше допуска, т. е. все детали по размерам годные. Мерой рассеяния (или мерой точности) является среднеквадратическое отклонение σ. Оно показывает, насколько тесно сгруппированы возможные значения действительных размеров обработанных заготовок около центра группирования. Действительно, при увеличении σ ордината y_{max} уменьшается [см. формулу (12.1) и рис. 12.11, *а*], а поле рассеяния $\omega = 6\sigma$ возрастает, что свидетельствует о меньшей точности. Чем меньше σ, тем незначительнее рассеяние размеров и выше точность обработки. Влияние σ на форму кривой нормального распределения показано на рис. 12.11, *б*.

Если при обработке имеются только случайные погрешности, то кривая рассеяния принимает симметричную форму.

Постоянная систематическая погрешность форму кривой не меняет, но ее положение смещается в направлении оси абсцисс. Если построить кривые рассеяния размеров, полученных при обработке двух партий заготовок на одном станке, но при двух наладках, то получим две одинаковые кривые (рис. 12.11, *в*), смещенные по оси абсцисс. Величина $\Delta L = L''_{ср} - L'_{ср}$ характеризует погрешность второй наладки станка относительно первой. Аналогичная картина будет наблюдаться, если при развертывании отверстий в партии заготовок произошла смена развертки. Таким образом, статистический контроль является эффективным средством исследования качества наладки металлорежущих станков.

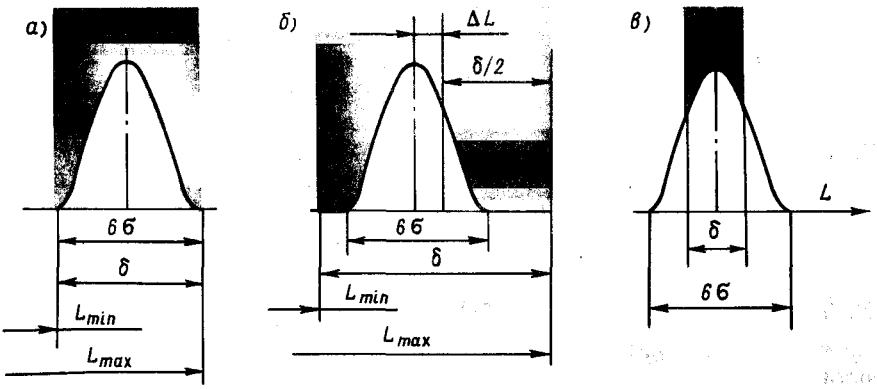


Рис. 12.12. Выбор станка по кривым нормального распределения

Во избежание брака при обработке необходимо выполнить два условия:

1) пределы рассеяния не должны выходить за поле допуска δ размера, т. е. необходимо соблюдать условие $6\delta \leqslant \delta$;

2) центр рассеяния должен быть расположен таким образом, чтобы все размеры детали лежали в пределах допуска.

Выполнение первого условия обеспечивается правильным выбором точности станка для заданной работы, второго условия — правильной размерной наладкой инструмента.

Рассмотрим сначала вопросы, связанные с выбором станка по кривым нормального распределения (рис. 12.12). На чертеже детали указаны номинальный размер L и допуск. В практике работы возможны следующие три случая.

1. Случай, когда $\delta = 6\sigma$ (рис. 12.12, *а*) и центр рассеяния совпадает с серединой поля допуска. Размеры деталей, обработанных на станке, лежат в пределах допуска, брак отсутствует.

2. Случай, когда $\delta > 6\sigma$ (рис. 12.12, *б*), т. е. допуск больше поля рассеяния. Все детали годные, брак отсутствует.

Запас точности $\psi = \delta/(6\sigma)$ показывает, насколько надежно гарантировано отсутствие брака (при $\psi > 1{,}12$ процесс обработки считается надежным). Коэффициент точности наладки характеризует относительное смещение ΔL вершины кривой распределения от середины поля допуска: $l = \Delta L/\delta$. Значение ΔL может быть определено по формуле

$$\Delta L = L_{ср} - 0{,}5(L_{max} + L_{min}).$$

Наладка считается точной, если

$$l < l_{доп},$$

где $l_{доп}$ — допустимое значение коэффициента точности наладки:

$$l_{доп} = (\delta - 6\sigma)/(2\delta) = (\psi - 1)/(2\psi).$$

Планировать обработку с большим запасом точности экономически нецелесообразно. Точность станка определяет его технологические возможности, точность детали определяет ее сложность. Минимальными затраты на обработку будут в том случае, если технологические возможности оборудования соответствуют сложности выполняемой работы.

3. Случай, когда $\delta < 6\sigma$ (рис. 12.12, *в*). Брак неизбежен даже при $l = 0$. Колебания получаемых размеров превышают размеры допуска, и действительные размеры некоторых деталей лежат за пределами допуска. Можно определить процент брака, если взять отношение заштрихованных площадей к общей площади под кривой распределения. Можно также найти процент исправимого и неисправимого брака. При обработке валов площадь в правой части кривой распределения показывает объем исправимого брака, а в левой — объем неисправимого брака.

Часть систематических и случайных погрешностей определяется погрешностями изготовления самих станков. Некоторые характеристики геометрической

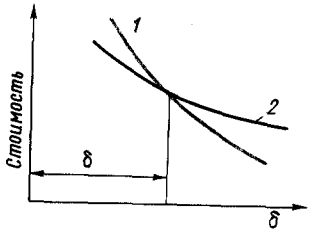


Рис. 12.13. Зависимость стоимости операции от способа обработки:

1 — точение; 2 — шлифование

точности станков общего назначения средних размеров: радиальное биение шпинделей токарных и фрезерных станков 0,01—0,15 мм; биение конического отверстия в шпинделе токарного и фрезерного станков (на длине оправки 300 мм) 0,02 мм; прямолинейность и параллельность направляющих токарных и продольно-строгальных станков (на длине оправки 1000 мм) 0,02 мм; прямолинейность продольных направляющих и столов фрезерных станков (на длине оправки 1000 мм) 0,03—0,04 мм.

Приведенные ориентировочные данные относятся к станкам нормальной точности (группы Н). Станки других групп точности имеют меньшие погрешности по сравнению со станками нормальной точности: повышенной точности (группа П) — на 60 %; высокой точности (группа В) — на 40 %; особо высокой точности (группа А) — на 25 %; особо точные (группа С) — на 16 %. Для станков с ЧПУ сохраняются те же группы точности, но исходные нормы точности выше, чем для станков общего назначения, за счет более высокой жесткости станков с ЧПУ.

Все сказанное относится к экономической точности при работе на налаженном оборудовании. В других случаях закономерности могут быть иными. Можно ли на относительно неточном станке добиться высокой точности? Можно, если рабочий имеет высокую квалификацию и использует специальные технологическую оснастку и инструмент при большой норме времени. Такую точность называют достижимой. Она достижима, но экономически нецелесообразна. Поэтому особенно важен вопрос соответствия технологических возможностей оборудования выполняемой работе. В различных производственных условиях есть границы экономически целесообразной точности. Они зависят от того, существуют ли пригодные для обработки данной детали другие, более точные способы и насколько они экономичны. На рис. 12.13 показаны зависимости стоимости обработки от точности при точении и шлифовании. Деталь с допуском больше δ выгоднее обрабатывать точением, а с допуском меньше δ — шлифованием.

Экономическая точность — точность, затраты на которую при данном способе обработки меньше затрат при другом способе обработки. Принято считать, что для токарных и фрезерных станков общего назначения экономически оправдана точность обработки по 9—11-му квалитету, а для станков с ЧПУ — по 6—9-му квалитету.

Пример 1. *Построение кривых нормального распределения размеров деталей, обработанных на станке с ЧПУ.* Проконтролируем какой-нибудь параметр в партии из 50 деталей, например наружный диаметр вала $50_{-0,03}$ мм, обточенного на токарном станке с ЧПУ. Разобъем полученные результаты измерений значения диаметров на группы с одинаковыми отклонениями в пределах определенного интервала (табл. 12.4 и 12.5).

В рассматриваемом примере размеры разбиты на семь групп через интервалы в 0,004 мм. В табл. 12.5 указаны абсолютная частота m появления размеров внутри каждого интервала и частость, равная отношению m/N, где N — общее число измерений. Результаты можно изобразить графически кривой распределения. Откладывая по оси абсцисс размеры или отклонения, а по оси ординат — частоту m для каждого интервала размеров (или частость), получим ломаную линию, которая при увеличении числа измерений и числа интервалов будет приближаться к плавной кривой (рис. 12.14).

По формуле (12.2) в соответствии с данными табл. 12.5 определим $L_{ср}=49{,}986$ мм. Среднее арифметическое на графике кривой

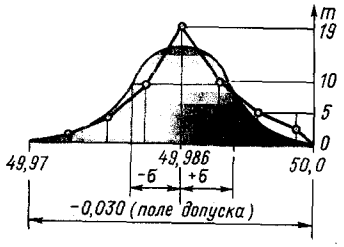


Рис. 12.14. Построение кривой распределения размеров обработанных деталей

Таблица 12.4. Результаты проверки наружного диаметра вала, мм

Порядковый номер детали	Размер, мм	Средний размер в группе, мм	Порядковый номер детали	Размер, мм	Средний размер в группе, мм
1	49,977		26	49,984	
2	49,975		27	49,986	
3	49,980	49,979	28	49,990	49,987
4	49,981		29	49,987	
5	49,982		30	49,989	
6	49,979		31	49,986	
7	49,979		32	49,986	
8	49,984	49,982	33	49,989	49,989
9	49,985		34	49,993	
10	49,985		35	49,990	
11	49,985		36	49,987	
12	49,981		37	49,989	
13	49,983	49,984	38	49,990	49,990
14	49,987		39	49,991	
15	49,983		40	49,995	
16	49,987		41	49,992	
17	49,984		42	49,988	
18	49,988	49,986	43	49,988	49,990
19	49,988		44	49,993	
20	49,985		45	49,991	
21	49,986		46	49,994	
22	49,982		47	49,992	
23	49,989	49,986	48	49,997	49,996
24	49,988		49	49,999	
25	49,988		50	49,999	

распределения совпадает с центром группирования и почти совпадает с серединой поля допуска 49,985 мм (рис. 12.14).

Среднеквадратическое отклонение находим по формуле (12.3), пользуясь данными табл. 12.6. Расчет надо вести последовательно по столбцам таблицы. В пятом столбце записаны квадраты величин предыдущего столбца, которые для удобства расчета умножены на 10^6 (практически отклонения в миллиметрах переведены в отклонения в микрометрах). В итоге при суммировании последнего столбца получаем

$$\sum_{i=1}^{k} m_i(L_i - L_{ср})^2 = 1312 \cdot 10^{-6}$$

Таблица 12.5. Частота m и частость m/N размеров деталей в партии

Интервал размеров, мм	m	m/N
Св. 49,972 до 49,976	1	0,02
» 49,976 » 49,980	4	0,08
» 49,980 » 49,984	9	0,18
» 49,984 » 49,988	19	0,38
» 49,988 » 49,992	10	0,20
» 49,992 » 49,996	5	0,10
» 49,996 » 50,000	2	0,04

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \left\{ \left[\sum_{i=1}^{N} m_i(L_i - L_{ср})^2 \right] / N \right\}^{1/2} =$$

$$= [(1312 \cdot 10^{-6})/50]^{1/2} = 0{,}00512 \text{ мм}.$$

Среднеквадратическое отклонение σ — единственный параметр, определяющий форму кривой нормального распределения, так как остальные члены в уравнении кривой являются постоянными величинами. Чем больше σ, тем более растянута кривая, т. е. больше рассеяние размеров (см. рис. 12.11). В интервале абсцисс $x = \pm 3\sigma$ находится 99,7 % размеров всех обрабатываемых деталей. Следовательно, если допуск на обработку больше 6σ, то поле рассеяния размеров и погрешность обработки меньше допуска и все детали окажутся годными.

В рассмотренном примере поле рассеяния $x_{max} - x_{min} = 6 \cdot 0{,}00512 = 0{,}031$ мм незначительно превышает допуск (0,030 мм). Практически в проверенной партии не встретилось ни одного случая брака, однако, поскольку поле рассеяния превышает допуск, имеется теоретическая вероятность его появления.

Опыт показывает, что кривые распределения размеров деталей, обработанных на станках с программным управлением, практически совпадают с кривыми нормального распределения. Этот важный вывод позволяет анализировать точность и предвидеть результаты обработки, используя зависимости, установленные

Таблица 12.6. Данные для расчета среднеквадратического отклонения σ

Размеры, мм	x_i, мм	m_i	$x_i - x_{ср}$, мм	$(x_i - x_{ср})^2 10^6$	$(x_i - x_{ср})^2 m_i \cdot 10^6$
Св. 49,972 до 49,976	49,974	1	−0,012	+144	144
» 49,976 » 49,980	49,978	4	−0,008	+64	256
» 49,980 » 49,984	49,982	9	−0,004	+16	144
» 49,984 » 49,988	49,986	19	0	0	0
» 49,988 » 49,992	49,990	10	+0,004	+16	160
» 49,992 » 49,996	49,994	5	+0,008	+64	320
» 49,996 » 50,000	49,998	2	+0,012	+144	288

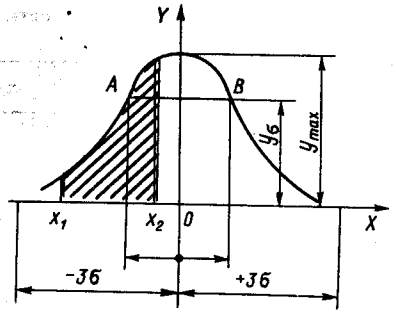


Рис. 12.15. Вероятность получения деталей в заданном интервале размеров

законом нормального распределения.

Вся ограниченная кривой распределения и осью абсцисс площадь определяет в некотором масштабе полное число деталей, по результатам измерения которых построена кривая. Часть площади, заключенная между ординатами, восстановленными из точек x_1 и x_2, кривой распределения и осью абсцисс (на рис. 12.15 заштрихована), соответствует в том же масштабе числу деталей, размеры которых лежат в интервале $x_2 - x_1$. Вероятность получения деталей в интервале размеров $x_2 - x_1$ определяется отношением заштрихованной площади ко всей площади, ограниченной кривой распределения и осью абсцисс.

Метод точечных диаграмм

Исследование точности обработки с помощью кривых распределения не отражает последовательности обработки, т. е. изменения точности операции во времени. Другим недостатком является то, что контроль осуществляется после обработки всех заготовок. Это затрудняет предупреждение или устранение брака. Закономерно изменяющиеся погрешности не отделяются от случайных, влияние тех и других проявляется как рассеяние размеров.

Метод точечных диаграмм лишен этих недостатков. По оси абсцисс откладывают номера последовательно обрабатываемых заготовок, а по оси ординат — размеры, полученные в результате обработки. Точки, расположенные между двумя параллельными прямыми, ограничивающими поле допуска, соответствуют годным деталям, а остальные точки характеризуют брак (рис. 12.16). Составление таких диаграмм в ходе выполнения операции позволяет своевременно установить момент, когда необходима подналадка станка.

Точки, соответствующие размерам деталей отдельных групп, должны располагаться внутри поля допуска δ, ограниченного линиями $Б_1—Б_1$ и $Б_1—Б_2$. Если при обработке детали замечают, что точка, обозначающая получаемый размер, расположилась вблизи контрольной прямой линии, это значит, что при дальнейшей обработке может появиться брак, поэтому необходимо прекратить обработку и наладить станок, подналадить или сменить инструмент.

Пример 2. *Построение точечной диаграммы для партии валов.* Построим точечную диаграмму по результатам проверки наружных диаметров (номинальный размер 50 мм) партии валов, рассмотренной в примере 1. Порядок обработки зафиксируем в соответствии с табл. 12.4 и 12.5.

По точечной диаграмме можно судить о закономерностях в действии переменной систематической погрешности и случайных

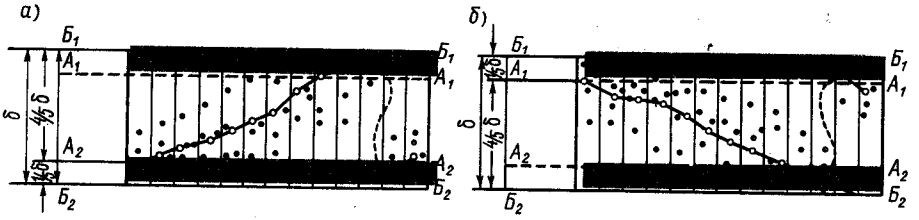


Рис. 12.16. Точечные диаграммы: *а* **— при обработке наружных поверхностей;** *б* **— при обработке внутренних поверхностей;**

δ — допуск на размер (поле контрольных границ); линия $Б_1—Б_1$ — верхнее отклонение размера; линия $Б_2—Б_2$ — нижнее отклонение; A_2 — уровень наладки при обработке наружных поверхностей; A_1 — уровень наладки при обработке внутренних поверхностей; линии $A_1—A_1$, $A_2—A_2$ — контрольные прямые, характеризующие рассеяние групповых средних размеров обработанных деталей

погрешностей. В результате размерного изнашивания резца средние размеры в группе постепенно увеличиваются от 49,979 до 49,996 мм. Разница между наибольшим D_{max} и наименьшим D_{min} диаметрами деталей, входящих в группу, составляет 0,008 мм (детали № 40 и № 36). Последний параметр называют размахом распределения:

$$W = D_{max} - D_{min}$$

Среднее значение для всех групп

$$W_{ср} = (W_1 + W_2 + \ldots + W_k)/k,$$

где k — число групп деталей.

В рассматриваемом случае $k = 10$. Тогда

$$W_{ср} = (0{,}007 + 0{,}006 + 0{,}006 + 0{,}004 + 0{,}007 + 0{,}006 + 0{,}007 + 0{,}008 + 0{,}005 + 0{,}007)/10 = 0{,}0063 \text{ мм}.$$

Размах распределения характеризует собственно случайные погрешности обработки.

На точечной диаграмме (рис. 12.17) прямая A_1—A_1 ограничивает верхнюю границу поля допуска, прямая A_2—A_2 — его нижнюю границу. С обеих сторон кривой линии, соединяющей средние размеры, проведем две эквидистантные кривые на расстоянии $W_{ср}/2$. Ниже прямой A_1—A_1 и выше прямой A_2—A_2 проведем две прямые $Б_1$—$Б_1$ и $Б_2$—$Б_2$ — также на расстоянии $W_{ср}/2$. Нижняя прямая ($Б_2$—$Б_2$) характеризует уровень наладки, а верхняя контрольная прямая ($Б_1$—$Б_1$) — уровень подналадки. Если наладить станок таким образом, чтобы средний размер первой группы (установочный размер) лежал несколько выше уровня наладки, т. е. выше линии $Б_2$—$Б_2$ (учитывая дальнейшее увеличение размеров вследствие изнашивания резца), то подналадку станка необходимо будет выполнять реже, чем при других вариантах наладок, и в то же время исключено появление брака. По мере изнашивания инструмента необходимо следить, чтобы размер детали не поднимался выше контрольной линии $Б_1$—$Б_1$. Не следует также допускать, чтобы средний групповой размер превышал этот уровень.

В рассматриваемом примере средний размер последней группы достиг уровня прямой $Б_1$—$Б_1$. Значительное возрастание размеров в последней группе свидетельствует о том, что размерное изнашивание резца достигло интенсивной стадии, поэтому резец следовало бы заменить после обработки 44-й детали.

Вывод о вероятности появления брака при точении вала диаметром 50 мм, сделанный на основе кривых распределения, теперь может быть углублен и уточнен. Из точечной диаграммы видно, что рассеяние размеров под воздействием случайных факторов невелико и позволяет уложиться при обработке в поле допуска. Требуется своевременно принимать решение о корректировке размеров. Например, если бы подналадка была выполнена после

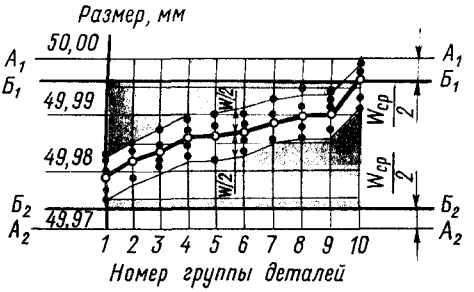


Рис. 12.17. Построение точечной диаграммы для партии валов

45-й детали, среднеквадратическое отклонение составило бы не 0,00512, а 0,0042 мм; поле рассеяния 6σ было бы равно 0,0252 мм (меньше допуска 0,03 мм); и мы сделали бы вывод о стабильности технологического процесса.

Полную картину точности обработки дает сочетание рассчетно-аналитического и обоих статистических методов исследования точности, так как они дополняют друг друга. Расчеты выполняют для определения наиболее существенных погрешностей при освоении новых типовых технологических процессов, а статистические методы применяют в условиях установившегося серийного производства.

Метод бесконечно малых линейных преобразований также позволяет получить явные выражения для оценки погрешностей при обработке на станках с ЧПУ и оценки характеристик точности станков [52]. Метод основан на использовании элементов векторной алгебры.

Метод точностных диаграмм

Выявить статическую нестабильность и закономерности ее проявления можно методом малых выборок, так как метод больших выборок, рассмотренный выше, дает представление о точности и устойчивости технологической операции только за время взятия выборки большого объема. Такие условия при дальнейшем рассмотрении процесса, как правило, не сохраняются. Следовательно, нельзя строить предположение, что условия обработки заготовок останутся неизменными.

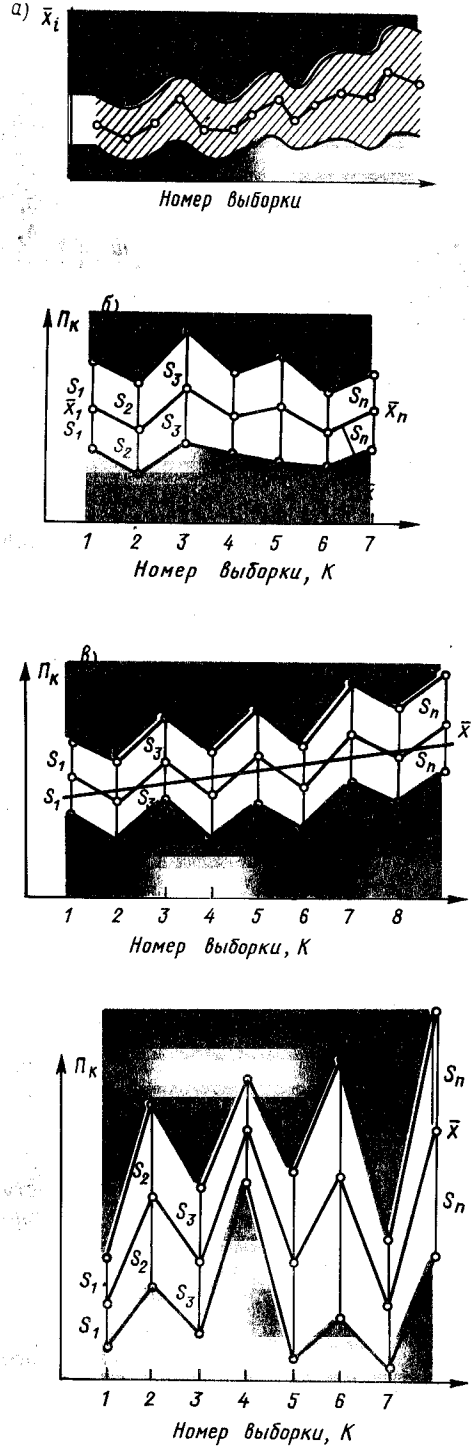


Рис. 12.18. Точностные диаграммы:
$П_к$ — статистическая характеристика; $\bar{x}$, S — статистические характеристики выборки

Метод малых выборок при значительно меньшем числе измерений и меньшем объеме вычислительных работ позволяет рассмотреть технологический процесс во времени (в динамике). Если малые выборки брать через определенные интервалы времени в течение, например, смены или рабочего дня, то можно получить информацию о точности и стабильности технологической операции за этот промежуток времени (рис. 12.18, *а*).

Для анализа технологической операции малыми выборками отбирают выборки объемом 3—10 изделий через определенные промежутки времени. При исследовании технологической операции за один межналадочный период первую выборку отбирают сразу же после наладки (подналадки) оборудования или инструмента, последнюю — перед очередной наладкой. Промежуток времени между двумя выборками устанавливается опытным путем в зависимости от производительности технологической операции и ряда других факторов. Обычно объем выборки принимают равным нечетному числу изделий, а количество выборок — не менее 10. Для каждой мгновенной выборки рассчитывают основные статистические характеристики $\bar{x}$, $\bar{x}+S$, $\bar{x}-S$.

Для оценки точности и стабильности технологической операции за время взятия выборок строят точностную диаграмму. По оси абсцисс откладывают номера малых мгновенных выборок или моменты времени взятия этих выборок. По оси ординат наносят соответствующие каждой выборке значения $\bar{x}$, $\bar{x}+S$ и $\bar{x}-S$. Все значения $\bar{x}$ соединяют прямыми линиями. То же относится к значениям $\bar{x}+S$ и $\bar{x}-S$ (рис. 12.18, *б*).

Статистические характеристики выборки $\bar{x}$ и S принимаются в качестве критериев оценки параметров теоретического распределения μ и σ генеральной совокупности:

$$\bar{x}=n^{-1}\sum_{i=1}^{n} x_i.$$

Среднеквадратическое отклонение рассчитывают по формуле

$$S=(n-1)^{-1/2}\left[\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x}^2\right]^{1/2}.$$

По изменению значений $\bar{x}$ можно проследить за изменением во времени центра наладки технологической операции. По изменению значений S можно судить о динамике процесса по рассеянию. Технологический процесс может быть статистически устойчивым или по уровню наладки и по рассеянию (рис. 12.18, *б*), или только по одному из этих параметров (рис. 12.18, *в*) или вообще неустойчивым (рис. 12.18, *г*).

Точностная диаграмма на рис. 12.18, *в* характеризует технологическую операцию, устойчивую по рассеянию, но не стабильную по уровню наладки. Однако уровень наладки изменяется монотонно, зависимость близка к прямолинейной, следовательно, данная технологическая операция имеет закономерно изменяющуюся систематическую погрешность, которая в данном случае является доминирующей. Причину такой погрешности следует искать, как правило, в изнашивании инструмента или оснастки.

Если точностная диаграмма показывает, что процесс изготовления изделий неустойчив (рис. 12.18, *г*), центр наладок и рассеяние имеют значительные колебания, это значит, что технологическая операция не отлажена, существуют неполадки во всех звеньях цепи СПИД и в технологическом режиме обработки.

Точностная диаграмма позволяет получить качественную оценку точности и стабильности технологической операции. Более точный анализ стабильности технологической операции можно проводить с помощью контрольных карт.

Контрольная карта служит для графического отображения изменения уровня наладки и точности технологического процесса. Применение контрольных карт преследует две цели: во-первых, выявить причины грубых нарушений технологической операции, причины ее нестабильности; во-вторых, выявить принципиальную возможность перевода данной операции на статистические методы контроля и регулирования.

12.3. МЕТОДЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Заданную точность обработки заготовок на станках можно достигнуть одним из двух принципиально отличных методов:

1) методом пробных ходов и измерений;

2) методом автоматического получения размеров на налаженных станках.

Первый метод используют в единичном и мелкосерийном производстве, второй — в серийном и массовом. Каждый из методов достижения требуемой точности неизбежно сопровождается погрешностями производства, вызываемыми различными причинами.

Точность обработки в значительной мере зависит от правильного выбора коэффициента точности наладки. Совокупность приемов выбора и обеспечения требуемого коэффициента точности наладки носит название *размерной наладки инструмента* (см. п. 13.3). •

Метод пробных ходов и измерений

Метод заключается в том, что с поверхности заготовки снимают пробную стружку (рис. 12.19). После этого станок останавливают, определяют полученный размер L_p и отклонение от него, вносят поправку и вновь производят обработку. Проделав это несколько раз, добиваются необходимого размера и обрабатывают заготовку по всей длине. При обработке следующей заготовки всю процедуру

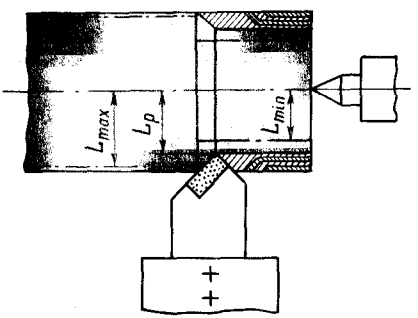


Рис. 12.19. Иллюстрация метода пробных ходов и измерений

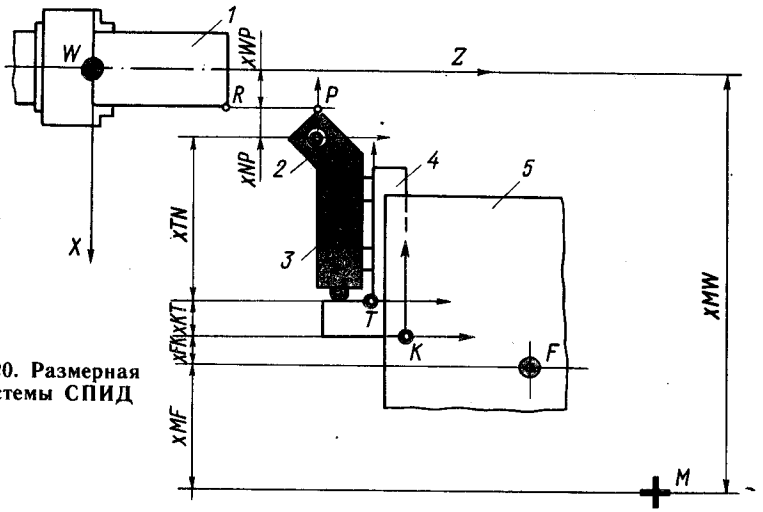


Рис. 12.20. Размерная цепь системы СПИД

установки инструмента путем пробных ходов и измерений повторяют. Метод очень трудоемок.

Метод автоматического получения размеров

Согласно этому методу, станок предварительно налаживают так, чтобы требуемая точность достигалась автоматически, независимо от квалификации рабочего. Задача обеспечения требуемой точности переходит на наладчика, выполняющего предварительную наладку станка, инструментальщика, изготовляющего специальные приспособления, и технолога, определяющего технологические базы, методы установки и закрепления заготовки и режимы резания. Суть метода — расчетное определение перемещения рабочего органа и решение размерных цепей для определения точности перемещения.

Размерной цепью называют совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что входящие в нее размеры, не могут назначаться независимо друг от друга, значение и точность по крайней мере одного из них определяется остальными. Размеры, входящие в размерную цепь, называют *звеньями размерной цепи. Замыкающим звеном* называют последнее звено размерной цепи, а *составляющими звеньями* — остальные. С изменением размеров и точности составляющих звеньев меняются размеры и точность замыкающего звена. Цепь называют *линейной*, если все ее звенья параллельны друг другу (ГОСТ 16319—80, ГОСТ 16320—80).

Характеристики размерной цепи. Система СПИД включает (рис. 12.20) станок с установленным на нем приспособлением, деталью *1* и инструментом *3*. Инструмент устанавливается в инструментальный блок *4*, а державка закрепляется в резцедержателе *5* (или револьверной головке). Резцедержатель ориентирован относительно нулевой точки *M* станка. Резец содержит многогранную неперетачиваемую пластину *2* с вершиной *P*. Эти элементы инструментальной системы участвуют в размерной наладке, каждый из них имеет свою систему координат, положение и погрешности.

Координаты элементов размерной наладки станка образуют размерную цепь: $xMW = xMF + xFK + xKT + xTN + xNP + xPW$, при этом выдерживаемый размер $xRW = xPW$. Здесь xMW — координата нуля станка в системе станка; xMF — вспомогательный ход резцедержателя; xFK — координата вспомогательного инструмента в системе резцедержателя; xKT — координата державки резца в системе вспомогательного инструмента; xTN — координата центра

пластины в системе державки; xNP — координата вершины резца в системе пластины; xRW — радиальный размер детали при статической наладке.

Цепь на рис. 12.20 является линейной. Последний размер — замыкающее звено, остальные — составляющие. Размер xMW — увеличивающее звено, остальные звенья — уменьшающие.

Увеличивающим называют звено, увеличение которого увеличивает замыкающее звено. *Уменьшающим* называют звено, увеличение которого уменьшает замыкающее звено. Замыкающее звено

$$N=\sum A_{\text{ув}}-\sum A_{\text{ум}},$$

где $\sum A_{\text{ув}}$ — сумма увеличивающих звеньев; $\sum A_{\text{ум}}$ — сумма уменьшающих звеньев.

Решение размерной цепи. Решение размерной цепи сводится к двум задачам:

1) определению предельных размеров замыкающего звена, если известны предельные размеры составляющих звеньев (прямая задача);

2) определению предельных значений составляющих звеньев при заданных предельных размерах замыкающего звена (обратная задача).

Существуют два основных метода решения размерных цепей: полной и неполной взаимозаменяемости.

Метод полной взаимозаменяемости сводит решение к расчету на максимум и минимум основного уравнения

$$\delta N=\sum \delta A_{\text{ув}}+\sum \delta A_{\text{ум}},$$

согласно которому допуск замыкающего звена равен сумме допусков всех размеров, входящих в цепь. Верхнее предельное отклонение замыкающего звена равно разности суммы верхних предельных отклонений увеличивающих звеньев и суммы нижних предельных отклонений уменьшающих звеньев:

$$\text{ВО}N=\sum \text{ВО}A_{\text{ув}}-\sum \text{НО}A_{\text{ум}}.$$

Нижнее предельное отклонение замыкающего звена равно разности суммы нижних предельных отклонений увеличивающих звеньев и суммы нижних предельных отклонений уменьшающих звеньев:

$$\text{НО}N=\sum \text{НО}A_{\text{ув}}-\sum \text{ВО}A_{\text{ум}}.$$

В этом случае применяют размерную наладку инструмента на станке. В размерную цепь включают все звенья инструментальной системы:

$$xPW=xMW-xMF-xFK-xKT-\\-xTN-xNP.$$

Суммарная погрешность Δx_{PW} статической наладки

$$\Delta x_{PW}=1{,}2(\Delta x_{MW}^2+\Delta x_{MF}^2+\Delta x_{FK}^2+\\+\Delta x_{KT}^2+\Delta x_{TN}^2+\Delta x_{NP}^2)^{1/2},$$

где Δx_i — погрешности: Δx_{PW} — статической наладки; Δx_{MW} — установки нулевой точки (детали) в системе станка; Δx_{MF} — позиционирования резцедержателя; Δx_{FK} — установки вспомогательного инструмента и поворота резцедержателя; Δx_{KT} — установки резца во вспомогательном инструменте; Δx_{TN} — установки центра пластины в системе координат державки; Δx_{NP} — установки вершины резца относительно центра пластины.

Метод полной взаимозаменяемости обеспечивает минимальную трудоемкость наладки, но при этом требуется высокая точность всех элементов инструментальной системы, а поэтому метод является очень дорогим.

Обычно для решения размерных цепей на станках с ЧПУ используют метод неполной взаимозаменяемости. Звенья xKT, xTN, xNP (см. рис. 12.20) заменяют одним звеном xKP. Размерная цепь становится короче $xPW=xMW-xMF-xFK-xKP$ и требуемую точность получить легче, чем в предыдущем случае. Наладку цепи $xKP=xKT+xTN+xNP$ осуществляют как вне станка, так и на станке.

При *размерной наладке инструмента вне станка* (рис. 12.21, *а*) используют специальные приспособления, что обеспечивает высокую точность обработки, причем станок в это время не простаивает. Этот метод наладки в настоящее время достаточно распространен. Однако следует указать на некоторые его недостатки: требуются специальные устрой-

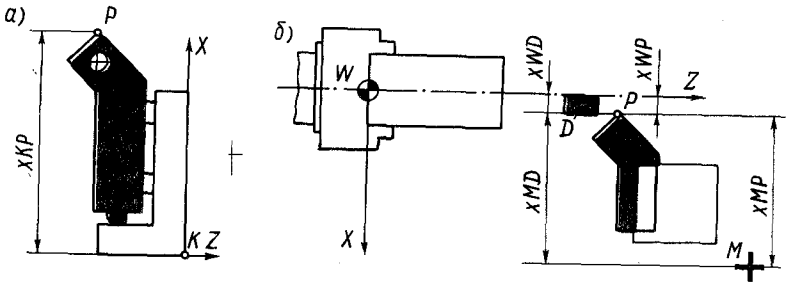


Рис. 12.21. Размерная наладка инструмента: *а* **— вне станка;** *б* **— на станке**

ства для наладки инструмента, дополнительная производственная площадь для их размещения; размерная цепь сокращается, но остается достаточно сложной; метод не компенсирует ошибок позиционирования, поворота револьверной головки, установки державки инструмента в головке и др.; не могут быть в полной мере реализованы преимущества многогранных неперетачиваемых пластин (эффект, связанный с их быстрым поворотом, становится не столь существенным, так как пластины поворачивают вне станка при снятом инструментальном блоке).

Размерная наладка инструмента на станке (рис. 12.21, *б*) может выполняться по-разному.

Во-первых, станок может быть оборудован прибором для измерения положения вершины резца. В этом случае резец, установленный в резцедержателе с определенной погрешностью, по программе перемещают к датчику, который выявляет погрешность положения вершины и автоматически вводит коррекцию в перемещение резца при позиционировании. Цель данного способа состоит в определении истинного расстояния xMP, т. е. положения вершины резца P относительно нуля станка M. При контакте резца с датчиком D оно выражается размером xMD. Тогда условно $xMW_i = xMD + xDW$ (цепь коррекции начального положения), и цепь точности статической наладки записывается в виде $xPW = xMW_i - xMP$.

Во-вторых, для размерной наладки на станке может быть использован автоматизированный метод пробных ходов: по программе резец перемещается к заготовке и снимает пробную стружку, далее автоматически определяется действительный размер и сравнивается с заданным, после чего происходит автоматическая коррекция траектории инструмента.

12.4. СУММАРНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПАРТИИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Погрешности, возникающие при обработке партии деталей, можно разделить на три группы: поле рассеяния размеров $\Delta_р$, поле погрешностей формы $\Delta_ф$, поле накопленной переменной систематической погрешности $\Delta_{сист}$ (рис. 12.22).

Общая суммарная погрешность

$$\Delta = (\Delta_р^2 + \Delta_ф^2 + \Delta_{сист}^2)^{1/2}.$$

Основные составляющие погрешности (рис. 12.22):

$\Delta_{р\,ЧПУ}$ — поле рассеяния размеров, обусловленное погрешностью системы ЧПУ;

$\Delta_{р.в}$ — поле рассеяния размеров, обусловленное погрешностями воспроизведения программ;

$\Delta_{р.в.поз}$ — поле погрешностей позиционирования;

$\Delta_{р.в.п}$ — поле погрешностей механизма подач;

$\Delta_{р.в.пр}$ — поле погрешностей привода станка;

$\Delta_{р.п}$ — поле рассеяния размеров, обусловленное погрешностями подготовки программ (управляющих);

$\Delta_{р.п.и}$ — поле погрешностей интерполяции;

$\Delta_{р.п.п}$ — поле погрешностей программирования;

$\Delta_{р.нал}$ — поле рассеяния размеров, обусловленное методом наладки;

$\Delta_{р.н.изм}$ — поле погрешностей измерения при наладке;

$\Delta_{р.н.ф}$ — поле погрешностей фиксации поворотного резцедержателя или револьверной головки станка;

$\Delta_{р.н.б}$ — поле погрешностей установки блока на станке при наладке;

$\Delta_{р.н.н}$ — поле погрешностей предварительной наладки инструмента в блоке;

$\varepsilon_{уст}$ — поле погрешностей установки заготовки;

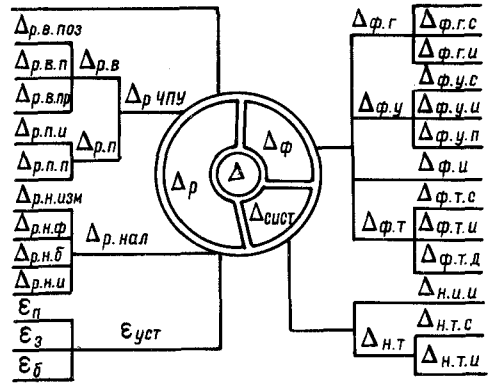


Рис. 12.22. Схема образования поля суммарной погрешности Δ при обработке партии деталей на станке с ЧПУ

Таблица 12.7. Баланс точности при обработке на токарных и фрезерных станках

Группа погрешности	Составляющие погрешности	Погрешность станка, мкм			
		18К2ПФ3 (наладка)		654РФ3 (обработка)	
		без корректировки	с корректировкой	позиционная	контурная
$\Delta_р$	$\varepsilon_{уст}$:				
	$\varepsilon_б$	8	8	20	20
	$\varepsilon_з$	8	8	20	20
	$\varepsilon_п$	8	8	20	20
	$\Delta_{р.нал}$:				
	$\Delta_{р.н.и}$	5—10	—	5—10	5—10
	$\Delta_{р.н.б}$	10—15	—	—	—
	$\Delta_{р.н.ф}$	10—15	10—15	—	—
	$\Delta_{р.н.изм}$	10—15	10—15	10—15	10—15
	$\Delta_{р\,ЧПУ}$:				
	$\Delta_{р.п.п}$	10—15	3—5	10—15	10—15
	$\Delta_{р.п.и}$	15	3—5	5	15
	$\Delta_{р.в.пр}$	10—20	5—10	10	40—50
	$\Delta_{р.в.п}$	10—20	5—10	50—70	50—70
	$\Delta_{р.в.поз}$	5—10	5—10	5—10	5—10
$\Delta_ф$	$\Delta_{ф.г}$:				
	$\Delta_{ф.г.с}$	10—15	10	20	30
	$\Delta_{ф.г.и}$	—	—	10	10
	$\Delta_{ф.у}$:				
	$\Delta_{ф.у.с}$	10—15	—	5—10	10—20
	$\Delta_{ф.у.и}$	—	—	20—25	50
	$\Delta_{ф.и}$	15	—	10	10
	$\Delta_{ф.т}$:				
	$\Delta_{ф.т.с}$	10—20	5—10	—	—
	$\Delta_{ф.т.и}$	10—20	—	—	—
	$\Delta_{ф.т.д}$	10—20	—	10—15	10—15
$\Delta_{сист}$	$\Delta_{н.и.и}$	10—20	5—10	—	—
	$\Delta_{н.т}$:				
	$\Delta_{н.т.с}$	10—20	5—10	—	—
	$\Delta_{н.т.и}$	10—20	5—10	—	—
	Δ:				
	$\Delta_{расч}$	45—70	25—30	70—90	958110
	$\Delta_{эксперим}$	50—80	30	70	120

$\varepsilon_п$ — поле погрешностей приспособления;

$\varepsilon_з$ — поле погрешностей закрепления заготовки;

$\varepsilon_б$ — поле погрешностей базирования заготовки;

$\Delta_{ф.г}$ — поле погрешности от геометрических параметров;

$\Delta_{ф.г.с}$ — поле погрешностей от геометрических параметров деталей и сборки узлов станка с ЧПУ;

$\Delta_{ф.г.и}$ — поле погрешностей от геометрических параметров режущих инструментов;

$\Delta_{ф.у}$ — поле погрешностей от упругих деформаций системы СПИД;

$\Delta_{ф.у.с}$ — поле погрешностей от упругих деформаций станка;

$\Delta_{ф.у.и}$ — поле погрешностей от упругих деформаций инструмента;

$\Delta_{ф.у.п}$ — поле погрешностей от упругих деформаций приспособления;

$\Delta_{ф.и}$ — поле погрешностей от размерного износа режущего инструмента;

$\Delta_{ф.т}$ — поле погрешностей от тепловых деформаций;

$\Delta_{ф.т.с}$ — поле погрешностей от тепловых деформаций станка;

$\Delta_{ф.т.и}$ — поле погрешностей от тепловых деформаций инструмента;

$\Delta_{ф.т.д}$ — поле погрешностей от тепловых деформаций детали;

$\Delta_{н.и.и}$ — поле накопленной систематической погрешности от размерного износа резца;

$\Delta_{н.т}$ — поле накопленной систематической погрешности от тепловых деформаций;

$\Delta_{н.т.с}$ — поле накопленной систематической погрешности от тепловых деформаций станка;

$\Delta_{н.т.и}$ — поле накопленной систематической погрешности от тепловых деформаций инструмента.

В табл. 12.7 приведены погрешности для токарного и фрезерного станков.

ГЛАВА 13
НАЛАДКА СТАНКОВ С ЧПУ

13.1. ЗАДАЧИ НАЛАДКИ

Наладка станка является одним из ответственных этапов его эксплуатации. Правильная наладка способствует повышению производительности труда, качества продукции и сохранению долговечности оборудования.

ГОСТ 3.1109—82* (СТ СЭВ 2064—79, СТ СЭВ 2522—80, СТ СЭВ 2523—80) устанавливает два термина: наладка и подналадка.

Наладка — подготовка технологического оборудования и технологической оснастки к выполнению технологической операции.

Подналадка — дополнительная регулировка технологического оборудования и (или) технологической оснастки при выполнении технологической операции для восстановления достигнутых при наладке значений параметров.

Под наладкой следует понимать большой комплекс действий, направленных на подготовку как нового, так и находящегося в эксплуатации станка к работе и на поддержание его в работоспособном состоянии. Сокращение времени наладки особенно важно в связи с расширением области использования станков с ЧПУ в мелкосерийном производстве.

Наладка станка с ЧПУ включает в себя подготовку режущего инструмента и технологической оснастки, размещение рабочих органов станка в исходном для работы положении, пробную обработку первой детали, внесение корректив в положение инструмента и режим обработки, исправление погрешностей и недочетов в управляющей программе.

В единичном и мелкосерийном производстве, когда требуемая точность обра-

ботки достигается методом пробных ходов и измерений, задачами наладки являются:

1) установка приспособления и режущих инструментов в положения, обеспечивающие наивыгоднейшие условия обработки (высокая производительность обработки и стойкость режущего инструмента, требуемое качество обрабатываемой поверхности и хорошие условия стружкообразования);

2) установка режимов работы станка.

В серийном и массовом производстве, когда требуемая точность достигается методом автоматического получения размеров на налаженных станках, помимо задач предыдущего метода встает задача обеспечения точности взаимного расположения режущих инструментов, приспособления, кулачков, упоров, копиров и других устройств, определяющих величину и направление перемещения инструментов относительно обрабатываемых заготовок.

13.2. БАЗИРОВАНИЕ И ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЗАГОТОВОК. НАЛАДКА ПРИСПОСОБЛЕНИЙ

При определении схемы базирования заготовки на столе станка необходимо знать конструктивные особенности стола (*рис.* 13.1), в *частности его элементов*, обеспечивающих базирование приспособления или заготовки. Необходимо также решить вопрос об использовании при обработке заготовки координатной плиты (см. гл. 4).

Возможны различные схемы установки заготовок на столе станка с ЧПУ; непосредственно на столе станка (рис. 13.2, *а*); в приспособлении, которое установлено на столе станка (рис. 13.2, *б*); в приспособлении, установленном на координатной плите, которая является промежуточным элементом между приспособлением и столом станка (рис. 13.2, *в*); непосредственно на координатной плите (рис. 13.2, *г, д*).

Непосредственно на столе станка деталь устанавливают в том случае, если она имеет большие габаритные размеры, хорошую опорную поверхность и удобные поверхности для закрепления на станке. Кроме того, объем выпуска деталей должен быть сравнительно небольшим, а трудоемкость обработки — высокой. Типичный пример — небольшие партии крупных корпусных деталей, обрабатываемых на фрезерных и многоцелевых станках при высокой концентрации обработки.

Если деталь имеет небольшие размеры, отсутствуют удобные поверхности для установки и крепления, повышается объем выпуска, сокращается концентрация обработки, повышаются требования к точности обработки и быстросменности детали, то целесообразно использовать *приспособления*.

Приспособление устанавливают непосредственно на столе или на координат-

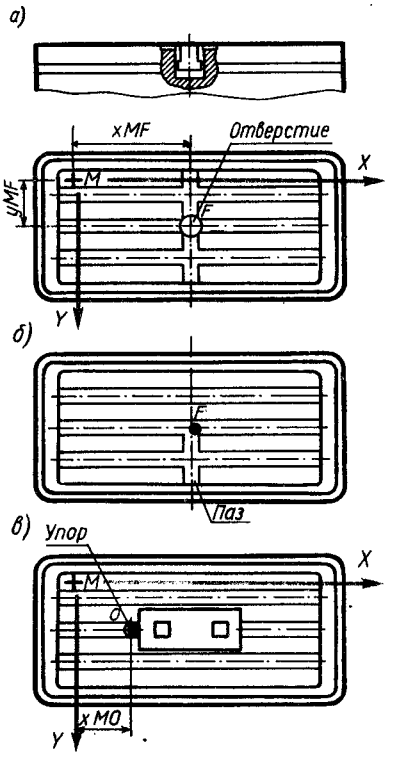


Рис. 13.1. Типы столов на станках с ЧПУ: *а* **— с центральным отверстием;** *б* **— с центральным поперечным пазом;** *в* **— с центральным продольным пазом**

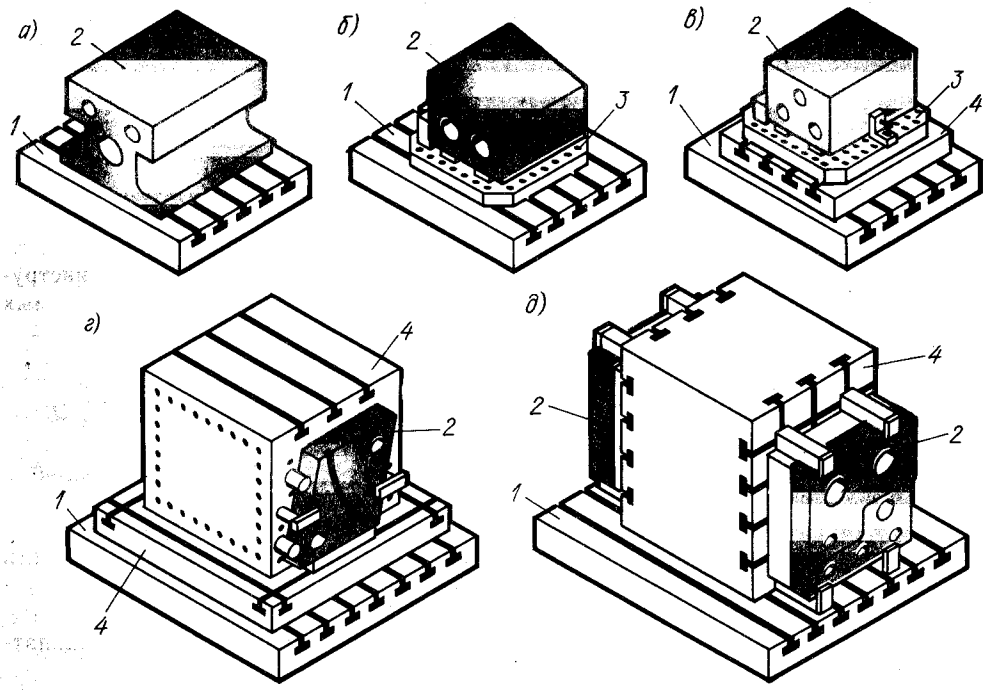


Рис. 13.2. Установка деталей на станках с ЧПУ:
1 — стол станка; *2* — деталь; *3* — приспособление; *4* — координатная плита

ной плите. Последняя позволяет повысить точность установки приспособления и его быстросменность. Координатная плита имеет сетку Т-образных пазов или отверстий, что расширяет технологические возможности станка, упрощает задачу размещения и крепления деталей или приспособлений, снижает время их установки. Координатные плиты могут иметь вертикальные и регулируемые наклонные плоскости; они также могут быть многогранными, что позволяет установить несколько приспособлений. Самое же главное, координатные плиты облегчают выверку положения детали или приспособления и размерную наладку инструмента. Координатные плиты наиболее характерны для сверлильных станков.

Важным свойством координатных плит является то, что они быстро могут быть точно установлены относительно базовых поверхностей стола станка. Отдельные точки плит могут быть точно определены в системе координат станка.

Наладка подготовленных вне станка приспособлений заключается в правильном размещении их относительно рабочих поверхностей станка. Угловое расположение приспособления всегда должно быть верно выдержано, а вариантов линейного расположения может быть несколько.

1. Приспособление может занять единственно возможное положение. В таком случае выверять приспособление не требуется. К этому варианту относятся крепление к шпинделю токарного станка самоцентрирующего зажимного патрона и подводковых устройств, установка глухого центра в шпиндель и вращающегося в пиноль задней бабки.

2. Управляющей программой допускается произвольное расположение приспособления вдоль осей координат. Такое размещение приспособления на столе свойственно сверлильным, фрезерным и расточным станкам в том случае, когда обработка ведется с одной стороны. Приспособление можно установить в

любом месте на столе, выверив его в угловом направлении относительно линейных координат.

3. Приспособление должно занять относительно рабочих органов станка единственно допустимое управляющей программой положение из большого числа возможных. К этому варианту можно отнести настройку станка для обработки детали с нескольких сторон при повороте стола станка. При установке на столе станка приспособление необходимо выверить в угловом направлении, так же как и в предыдущем варианте, а в линейном направлении — по отношению к оси поворота.

На столе станка приспособления можно ориентировать по-разному.

Если стол имеет точный продольный Т-образный паз и центральное отверстие, положение которых определено относительно нуля станка (см. рис. 13.1, *а*), то опорная плита приспособления должна иметь две шпонки и базовый палец (рис. 13.3, *а*).

При наличии у стола станка поперечного паза на поверхности опорной плиты приспособления делают три шпонки: две продольных и одну поперечную (рис. 13.3, *б*). Такой способ установки приспособлений позволяет сравнительно точно разметить базовые элементы приспособления относительно начала координат станка.

Если стол станка имеет только продольные пазы (см. рис. 13.1, *в*), то ориентировать приспособление, опорная плита которого имеет две шпонки, в продольном направлении можно упором, положение которого предварительно выверяют и устанавливают на размер xMO.

При отсутствии у приспособления элементов ориентации на столе станка или при необходимости более точной установки приспособления относительно базовой точки стола станка применяют способ выверки приспособлений по оси шпинделя. Так, если необходимо (рис. 13.4, *а*) выверить положение базовых поверхностей элементов *3* приспособления *4* (размеры A и B) относительно базовой точки F — центра поворота стола *1* станка, то можно применить мерную оправку *2* и набор мерных плиток

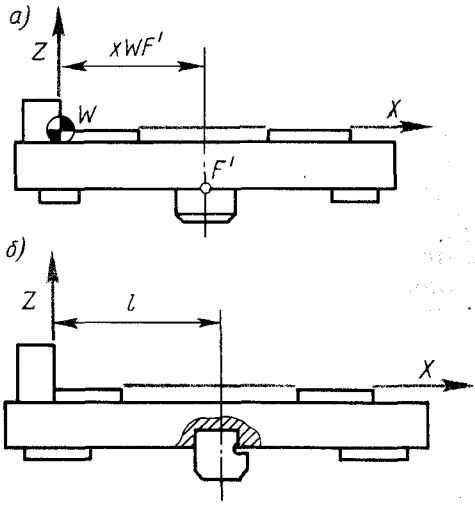


Рис. 13.3. Базовые элементы приспособлений

(размер a). Мерную оправку диаметром d закрепляют в шпинделе. Ось шпинделя совмещают с вертикальной плоскостью, проходящей через ось поворота стола, т. е. базовую точку F стола станка. Это положение (заранее известное по паспорту станка) определяется по приборам индикации положения стола в направлении оси X. Затем в режиме ручного управления ввода перемещают стол вправо на расстояние $C = A - a - d/2$ до соприкосновения поверхности оправки с блоком плиток (размером a). Правильность размера A и определяется с помощью набора мерных плиток. По результатам замеров приближают или отодвигают приспособление по оси X относительно оси поворота. После поворота стола на 90° выверяют размер B.

Используя мерную оправку совместно с блоком плоскопараллельных концевых мер, а также с набором щупов, калибрами, шаблонами, штангенинструментом, можно достаточно точно и просто выверить положение плоскостей базовых элементов приспособления или поверхностей детали в продольном направлении (рис. 13.4, *б*) и в поперечном, последовательно перемещая стол *1* станка из одного положения в другое и устанавливая заданный на требуемой длине L размер (набор плиток) между поверхностью оправки *2* и выверяемой поверхностью *3*.

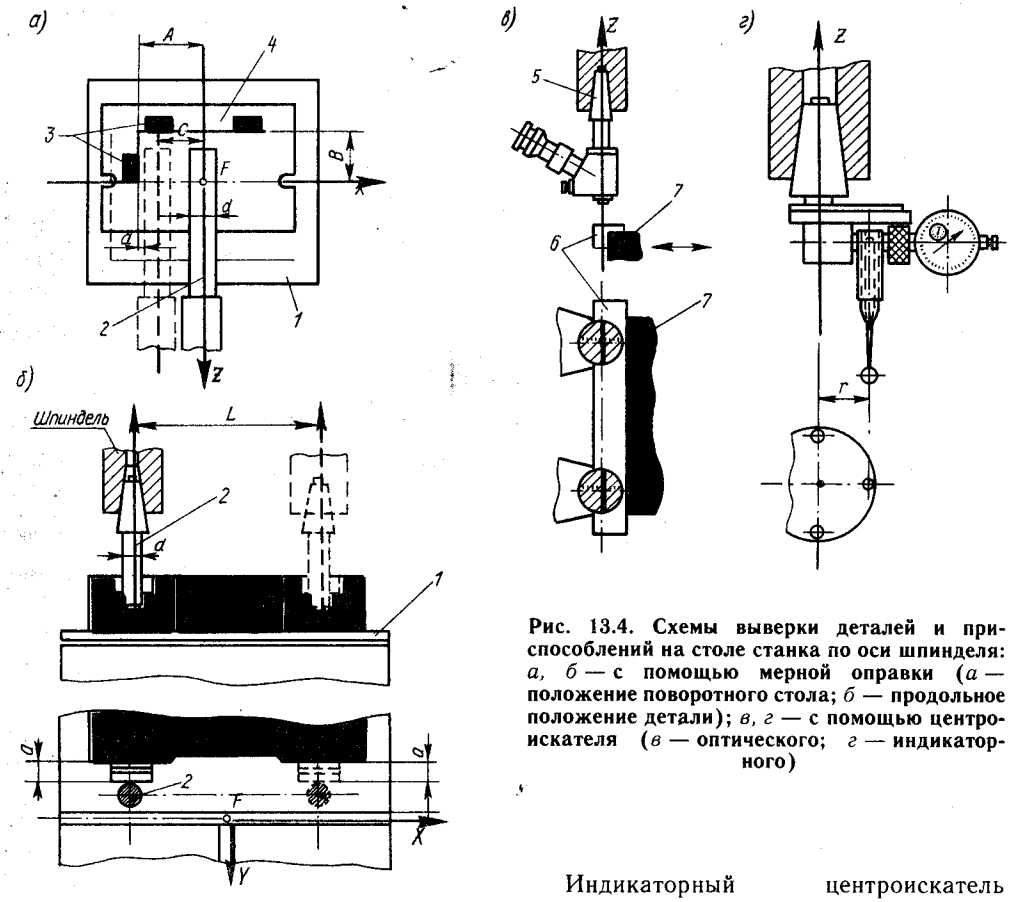


Рис. 13.4. Схемы выверки деталей и приспособлений на столе станка по оси шпинделя: *а, б* — с помощью мерной оправки (*а* — положение поворотного стола; *б* — продольное положение детали); *в, г* — с помощью центроискателя (*в* — оптического; *г* — индикаторного)

В станках с ЧПУ используют и специальные центроискатели: оптический и индикаторный.

Оптический центроискатель (рис. 13.4, *в*) устанавливают с помощью хвостовика *5* в шпинделе станка. На деталь *7* или базовые элементы приспособления помещают угольник *6*, на верхней полированной поверхности которого имеется риска. Деталь перемещают вдоль плоскости стола до совпадения риски с перекрестием центроискателя.

Индикаторный центроискатель (рис. 13.4, *г*) помещают в шпиндель станка. Он фиксирует положение детали относительно оси шпинделя. Установив измерительную ножку прибора на расстоянии *r* относительно хвостовика, можно достаточно просто совместить ось базового отверстия (на детали или приспособлении) или наружной цилиндрической поверхности с осью шпинделя (поворачивая шпиндель или подводя последовательно измерительную ножку к разным точкам базовой поверхности).

13.3. НАЛАДКА И УСТАНОВКА РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Наладка режущего инструмента на размер

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 перпендикуляр-

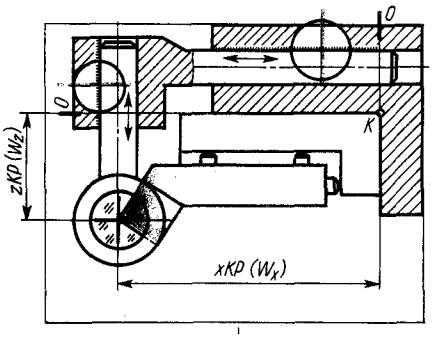


Рис. 13.5. Схема прибора для наладки инструментов вне станка

ных направлениях: одновременно по линейкам можно отсчитывать численные значения перемещений каретки (рис. 13.5). 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 (W_x и W_z).

С помощью оптических приборов можно проверять правильность и точность исполнения режущей части инструмента. На рис. 13.6 показаны изображения на экране проектора режущей части резцов и сверла. Используя поворот перекрестия подвижного экрана, можно проверить значения главного φ и вспомогательного φ_1 углов в плане, а с помощью кольцевых линий — значение радиуса при вершине. Правильность угла заточки сверла и отклонение от симметричности кромок можно наблюдать визуально. Ценным качеством прибора является возможность контроля величины и расположения зачистной режущей кромки, которой снабжаются многие

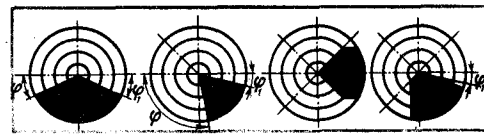


Рис. 13.6. Изображения вершин режущих инструментов на экране проектора

финишные инструменты (резцы, развертки). Эта кромка имеет небольшую длину, а вспомогательный угол в плане φ_1 составляет всего 0—2°, причем в большинстве случаев допуск на угол задается односторонним и не превышает нескольких минут.

На рис. 13.7 показана оптическая система прибора АНИС-75 для наладки инструмента вне станка. Прибор имеет 10-кратное увеличение. Информация о направлении и перемещении оптической системы фиксируется на пятиразрядных табло цифровой индикации. Оптическая система представляет собой эпидиаскоп, работающий в проходящем свете. Теневое изображение инструмента, отразившись в системе зеркал, проецируется на стеклянный матовый экран с нанесенным на нем перекрестием. Оптическая система настраивается по эталону. Время наладки одного инструментального блока на приборе АНИС-75 не превышает 2 мин.

Автоматизированное микропроцессорное устройство для наладки и контроля режущего инструмента к станкам с

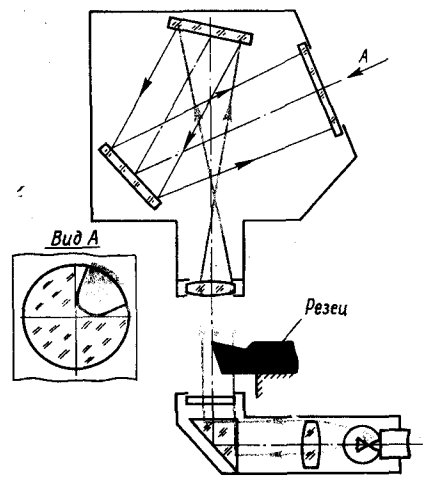


Рис. 13.7. Оптическая система устройства АНИС-75

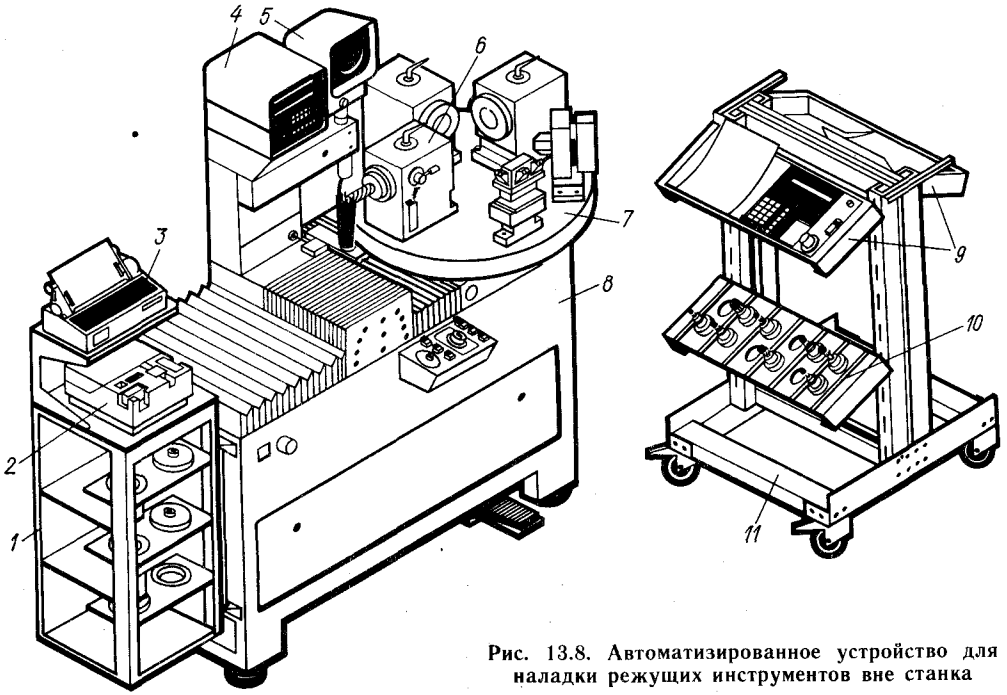


Рис. 13.8. Автоматизированное устройство для наладки режущих инструментов вне станка

ЧПУ показано на рис. 13.8. На тумбе *8* размещен поворотный стол *7*. На столе закреплены стойки, базовые отверстия (поверхности) которых соответствуют базовым отверстиям (поверхностям) под режущий инструмент у тех или иных моделей станков с ЧПУ. На тумбе смонтированы также оптическое контрольное устройство *5* с экраном и система кодирования информации *4*, включающая мини-ЭВМ. На стеллаже *1*, прикрепленном к тумбе, установлены устройство печати *3* и перфоратор *2*.

Режущий инструмент, закрепленный в оправках, подводится к устройству на специальной тележке *11*, имеющей стеллаж *10* под инструмент. На столиках *9* тележки размещают необходимую для наладки и контроля инструмента техническую документацию, универсальные средства контроля и т. д.

Для наладки (контроля) инструмент с оправкой крепят в гнезде стойки *6*, размещенной в рабочей позиции стола *7*. В этой стойке закрепленный режущий инструмент находится в положении, аналогичном положению, которое он будет занимать в шпинделе станка перед началом работы. Оптическое контрольное устройство *5* позволяет определить (по экрану) положение рабочей точки (вылет) инструмента по соответствующим осям, т. е. значения коррекции по диаметру и длине. Эти величины вместе с кодом оправки и инструмента вводятся через клавиатуру в память мини-ЭВМ системы кодирования. После проверки всех заданных инструментов и введения коррекций на каждый инструмент по команде с пульта системы *4* печатающее устройство выдает бланк наладки инструмента для данного станка. Одновременно всю информацию по коррекции можно получить на перфоленте от перфоратора *2*. С этой перфоленты данные по коррекции инструмента вводят в УЧПУ станка при подготовке его к работе.

В условиях автоматизированного производства контроль инструмента полностью автоматизирован. Обычно контроль сочетают с предварительной наладкой инструментальных блоков, с комплектацией инструментальных магазинов и обязательно с кодированием инструмента.

В оптико-электронной измерительной машине (рис. 13.9) инструмент в зажимной патрон измерительного устройства

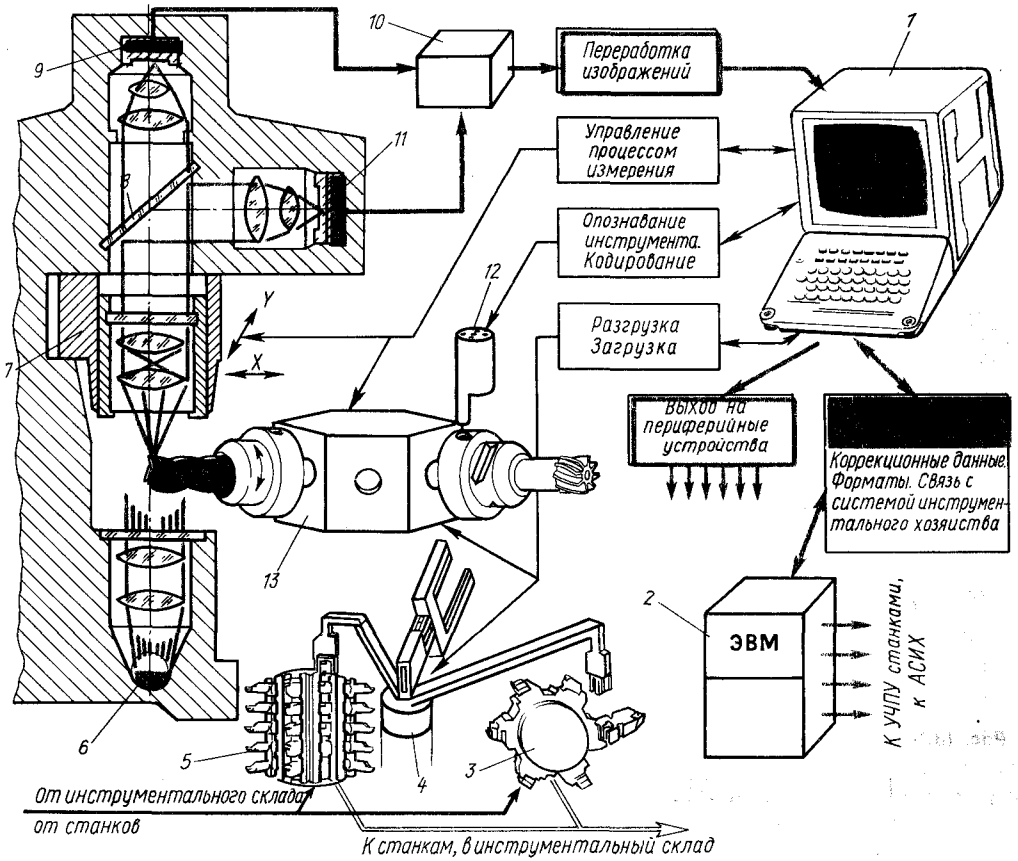


Рис. 13.9. Схема оптико-электронной измерительной машины в зоне проверки и наладки инструмента автоматизированной системы инструментального хозяйства (АСИХ):

1 — управляющая ЭВМ; *2* — внешняя (руководящая) ЭВМ; *3* — комплектуемая съемная револьверная головка; *4* — робот; *5* — инструментальный магазин; *6* — источник света; *7* — оптическое измерительно-фокусирующее устройство; *8* — лучеразделительное устройство; *9, 11* — приемники изображений; *10* — устройство переработки и кодирования изображений; *12* — кодировщик-опознаватель; *13* — стойка крепления инструмента

подается из палеты специальным роботом. Специальное устройство служит для опознавания инструмента по его коду. Управляющая процессом измерения ЭВМ вызывает из библиотеки все данные об инструменте: число режущих пластин, заданные углы пластин, их форму, размеры и т. п.

Оптическое устройство машины работает по принципу проходящего света. При этом замеряются не только длина и диаметр инструмента, но и угол поворота — по позициям, заданным в измерительной программе.

Из отдельных шагов замера ЭВМ создает кажущееся изображение инструмента и сравнивает его с заданным. По отклонениям (например, вследствие изнашивания инструмента) ЭВМ определяет пригодность инструмента для дальнейшего использования. После контроля необходимые параметры инструмента, в частности координаты центра режущей части и др., передаются в память основной ЭВМ, а также в УЧПУ, фиксируются на каком-то периферийном устройстве или специальным кодом записываются на кодоносителе самого инструмента. В последнем случае уже сам инструмент будет являться своеобразным программоносителем информации о себе самом. Такой вариант считается в настоящее

Рис. 13.10. Резцовый блок с кодовой вставкой

время наиболее удобным, что резко упрощает систему обмена информацией между элементами производственного комплекса, сокращает и упрощает информационные потоки между инструментальными складами, участками контроля и наладки инструмента, системами ЧПУ и др. Кроме того, этим обеспечивается активный диалог между УЧПУ станков и системами инструментообеспечения без какой-либо компьютерной сети между объектами ГПС.

Для этого каждый инструментальный блок (рис. 13.10) имеет носитель информации. Носитель — полупроводникового типа с электрически стираемой программируемой памятью. Он оформлен в виде миниатюрной вставки и крепится сверху в гнездо инструментального блока. Информация на микросхему вставки передается через пять контактных входов, имеющихся на верхней плоскости вставки. В эти входы при записи или считывании информации входят пять штырей специальной считывающей головки. Такими головками должны быть оснащены приборы и устройства контроля и кодирования инструмента на инструментальном складе, на участке подготовки и наладки инструмента и магазины инструмента у каждого станка с ЧПУ.

Информационная емкость вставки инструментальных блоков достаточно велика. В двоично-десятичном коде во вставке можно хранить 256 кодовых цифр со знаками плюс — минус. Это позволяет в каждом инструментальном блоке записать его кодовый номер, номер инструмента в управляющей программе и номер самой программы, позицию инструмента в магазине, размеры инструмента, расчетные данные о стойкости и т. д. Одновременно на период эксплуатации инструмента на вставку можно записывать различную статистическую информацию (общее время работы, уровень сил резания, причину поломки и т. д.), что обеспечит через инструмент своеобразную обратную связь в линии станок — инструментальный склад — участок подготовки инструмента. Это способствует децентрализации информационных потоков по инструменту, поскольку каждый станок связывается с инструментальным складом индивидуально и снабжается инструментом (в зависимости от режимов и характера работы) напрямую, минуя центральную ЭВМ.

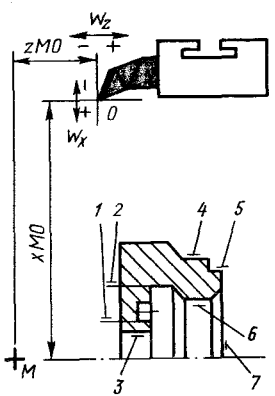
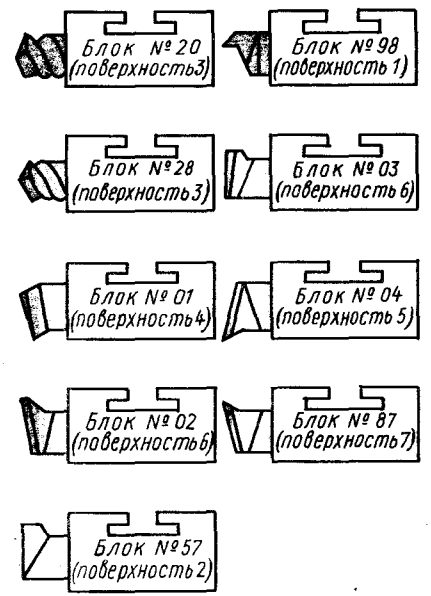
Естественно, что рассмотренная система кодирования инструмента требует определенной организации в инструментообеспечении оборудования.

Установка режущего инструмента

Режущий инструмент при наладке станка с ЧПУ устанавливают в шпинделе или на суппорте с помощью вспомогательного инструмента в соответствии со специальной картой наладки.

Такая карта разрабатывается совместно с программой и предназначается для оператора или специального наладчика (в зависимости от принятого в конкретных условиях порядка обслуживания станков с ЧПУ). В карте наладки

Таблица 13.1. Карта наладки инструмента (форма)

Наладка инструмента				Карта наладки	Конструкторский код	Лидер
Номер блока	W_z	W_x	Инструмент		№ 74, 318 014	1111
№ 20	−7	−125	Сверло ∞ 25, 130 Р18			№ программы 125
№ 28	+7	−125	Сверло ∞ 50, 130 Р18			Модель станка АТПР2М12У
№ 01	0	0	Резец 2102-0005 Т15К6			УЧПУ 2С42
№ 02	+28	−15	Резец 5110-4030 Т15К6			Сменные шестерни А53
№ 98	+28	−15	Резец 5110-4086 Т15К6			Общая высота кулачка $l=57$
№ 03	+28	−15	Резец 5110-4030 Т15К6			Координаты нулевых точек
№ 57	+28	−10	Резец 5110-4053 Т15К6			x_0 z_0
№ 04	0	0	Резец 2103-0007 Т15К6			281 140
№ 87	+28	−10	Резец 5110—4030 Т15К6			

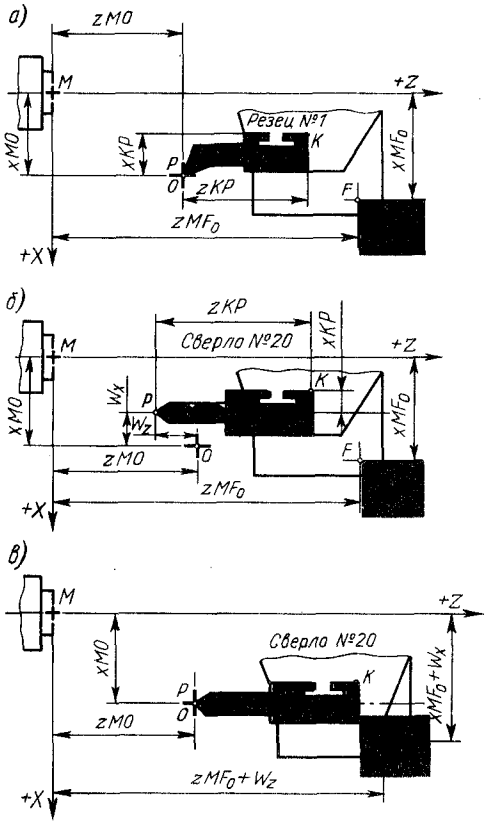


Рис. 13.11. Размещение инструмента в системе координат станка

для любого станка с ЧПУ должны быть указаны: модель станка; модель системы ЧПУ; номер управляющей программы; шифр и основные характеристики станочного приспособления; шифры и основные характеристики применяемых инструментов с номерами блоков или позиций револьверной головки и с данными для предварительной наладки инструментов на размер вне станка; последовательность наладки инструментов при выполнении цикла обработки; координаты точек начала обработки или координаты исходных положений рабочих органов.

В качестве примера в табл. 13.1 приведена карта наладки токарного станка модели АТПР2М12У с автоматической сменой инструментальных блоков (из числа хранящихся в магазине) и нестандартным расположением осей координат. Каждый из блоков имеет условный номер и налаживается для обработки той или иной поверхности (номер поверхности указан на блоке в скобках). Так, резцом, закрепленным в блоке № 01, обтачивается поверхность *4*, резцом блока № 57 растачивается канавка *2*, резцом блока № 87 подрезается поверхность *7* и т. д. В таблице наладки приведены значения W_z и W_x, зависящие от конкретного вылета инструмента, который налажен заранее (на приборах) относительно базовых точек вспомогательного инструмента.

Карту наладки обычно составляет технолог-программист в процессе разработки УП. Поскольку в станках с ЧПУ программируется движение базовых точек перемещающихся элементов станка, то для начала работы по программе необходимо знать расположение центра инструмента относительно базовой точки и положение его относительно нуля программы, т. е. точки с которой начинается программируемое перемещение инструмента.

Например, если базовая точка F суппорта станка (рис. 13.11, *а*) перед началом обработки размещена на заданных (исходных) расстояниях от нуля станка zMF_0 и xMF_0, то центр P резца № 1 точно совпадает с точкой *0* программы, которая задана в системе координат станка координатами *zM0* и *xM0*. При этом предполагается, что резец № 1 заранее настроен в резцедержателе с вылетом относительно точки K на xKP и zKP. Теперь, если при данном положении суппорта повернуть револьверную головку и попытаться совместить с нулем программы центр сверла (инструмент № 20), то окажется, что этот центр (рис. 13.11, *б*) смещен относительно точки *0*, например в минус по оси Z на 125 мм и в минус по оси X на 7 мм (см. карту наладки). Вот эти смещения для каждого инструмента и указываются в карте наладки как величины W_z и W_x. Значения этих величин позволяют при настройке станка для каждого инструмента установить значения W_z и W_x (заданные в карте наладки) с соответствующими знаками (противоположными по сравнению с картой) на корректорах, каждый из которых закреплен (в УП) за конкретным инструментом. При отработке кадров УП (по команде «коррекция») центр каждого инструмента автоматически смещается на W_z и W_x. Это

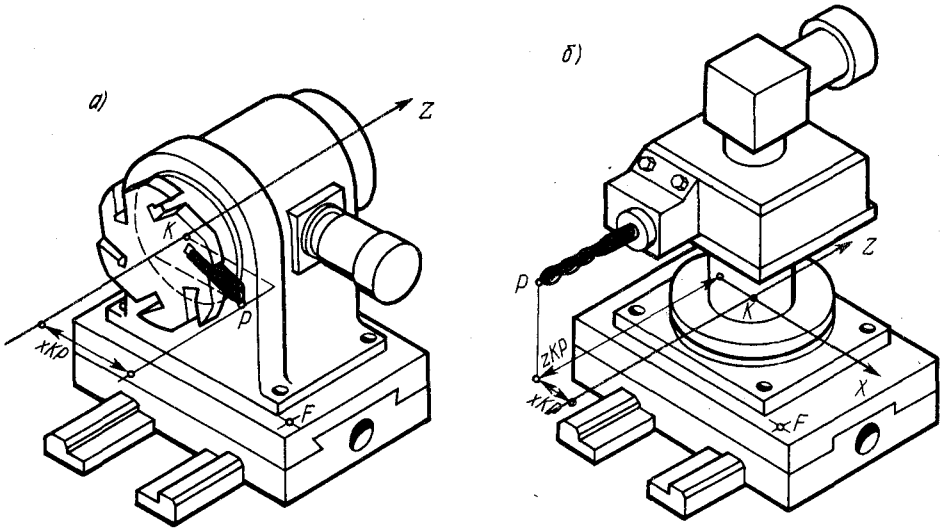


Рис. 13.12. Расположение режущего инструмента на токарном станке в револьверной головке: *а* — с горизонтальной осью вращения; *б* — с вертикальной

обеспечивает совмещение центра инструмента в самом начале его работы с нулем программы.

В ряде УЧПУ смещение (коррекция) начального положения инструмента осуществляется с пульта УЧПУ путем набора величины смещения на декадном переключателе. При такой команде произойдет совмещение центра инструмента с нулем программы, т. е. точка F суппорта (рис. 13.11, *в*) займет положение, определяемое размерами $zMF_0 + W_z$ и $xMF_0 + W_x$.

Форма карт наладки может быть различной. Обычно разрабатываются типовые карты на группу сходных по конфигурации и близких по размерам деталей. Для каждой конкретной детали в карту заносят свои числовые значения данных.

В отдельных случаях при обработке заготовки ограниченным набором инструментов (расточные, фрезерные станки) карта наладки в виде отдельного документа не составляется, а данные для наладки станка приводятся по установленной форме на распечатке текста управляющей программы, выдаваемой оператору.

На рис. 13.12 показаны положения инструмента в револьверных головках токарных станков.

Система инструментообеспечения

Процесс подготовки и наладки инструмента должен сочетаться с другими процессами производства, так как он органически связан с ними общей единой цепью автоматизированного инструментообеспечения. Укрупненная схема такого инструментообеспечения COROPLAN (SANDVIK) показана на рис. 13.13. Система на базе единого ПМО имеет модульную структуру, в которой прослеживаются четкая взаимосвязь и общая направленность инструментального потока. Система предусматривает применение инструментальных блоков с электронными кодовыми датчиками и специальных устройств идентификации и кодирования инструмента, автоматических устройств контроля и наладки, систем диагностики инструмента и т. д.

В системе четко организованы работы в каждой из зон, налажен обмен данными между всеми зонами, а также между зонами и управляющей ЭВМ, часть операций автоматизирована. Так, при подаче инструмента на станок (рис. 13.14) осуществляются операции: опознавание инструмента, ввод его параметров в УЧПУ станка, установка в магазин

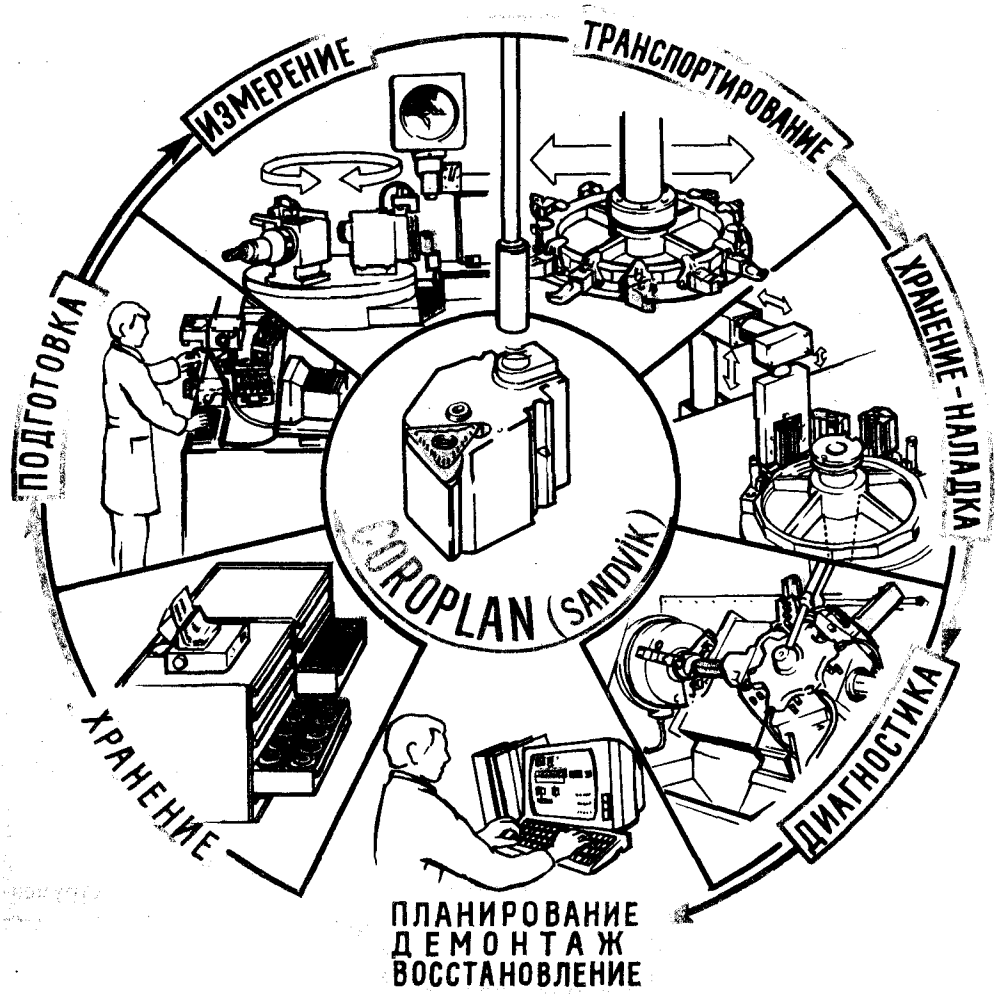


Рис. 13.13. Укрупненная схема автоматизированного инструментообеспечения COROPLAN

станка. В период эксплуатации инструмента на станке (зона *A*) непрерывно регистрируются данные: действительное время работы, состояние, фактические значения параметров и др. Полученная информация записывается в память ЭВМ УЧПУ, передается в центральную управляющую ЭВМ, а часть информации фиксируется в электронном кодовом датчике на каждом инструменте.

Снятый со станка инструмент проходит зону очистки и промывки (зона *B*) и подается на участок проверки, демонтажа и восстановления (зона *C*). Здесь после опознания инструмента он сравнивается с фактическими данными и исходными параметрами, после чего определяется его пригодность для дальнейшего использования. Здесь же изношенный инструмент демонтируют и восстанавливают (заточка, замена режущих пластин, изношенных оправок и т. п.). Пригодные для использования и восстановленные инструменты передаются на центральный инструментальный склад (*E*), где они регистрируются и хранятся. Вся информация об инструменте, хранящемся на складе, используется в процессах разработки ТП и УП для станков с ЧПУ. Информация концентрируется на центральном пункте планирования и использования инструмента (*D*). Здесь

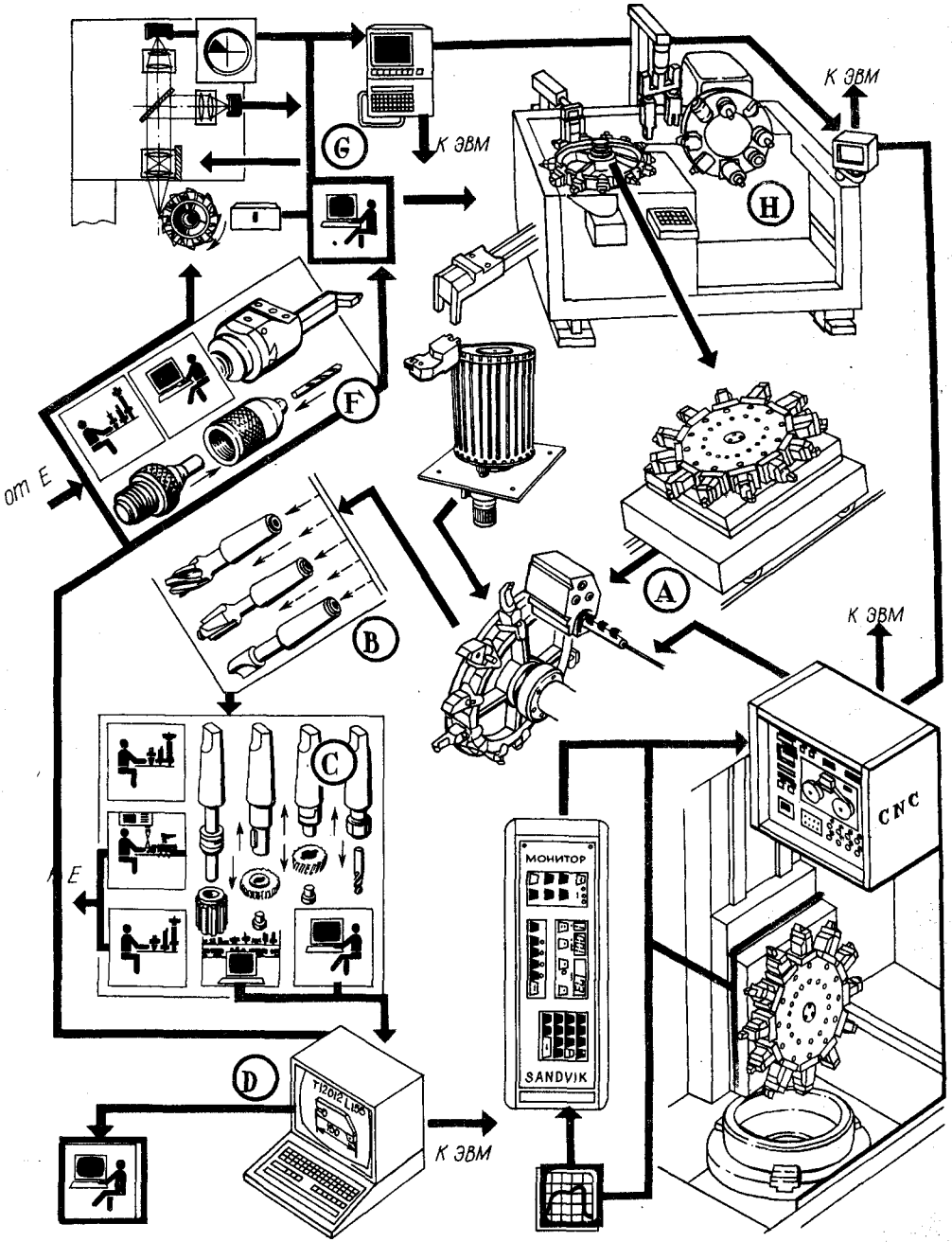


Рис. 13.14. Общая схема инструментального и информационно-инструментального потока в автоматизированном производстве на примере блочно-модульного инструмента SANDVIK

же решаются вопросы пополнения склада новыми конструкциями инструмента, планируется восстановление запаса и т. п.

Следующим этапом инструментального потока является выдача инструмента со склада, его регистрация и транспортировка к рабочему месту (F) — на участок предварительной комплектации, сборки и монтажа. В ряде случаев это рабочее место может быть совмещено с зоной предварительной настройки инструмента (G). Тогда здесь инструмент опознается, измеряется, проходит полный окончательный контроль и кодируется. В кодовый датчик вводятся необходимые параметры, данные об инструменте передаются в центральную управляющую ЭВМ.

Промежуточный склад инструментальной оснастки (H) обеспечивает регистрацию, хранение и организацию использования комплектов инструмента. Здесь осуществляются комплектация специальных инструментальных магазинов, сменных револьверных головок, дисков и т. п.; распределение комплектов инструмента по станкам; формирование файла данных по параметрам инструментов для использования системой ЧПУ; передача этих данных через центральную ЭВМ в УЧПУ конкретных станков. (Как уже указывалось, часть данных может быть передана через кодовые датчики инструментов.)

Транспортированием полностью подготовленного инструмента к станкам и (при необходимости) загрузкой его в станочные инструментальные магазины круг инструментального потока замыкается.

В реальных условиях степень автоматизации работ по инструментообеспечению в отдельных зонах и межзонному транспортированию различна.

13.4. УСТАНОВКА РЕЖИМОВ РАБОТЫ СТАНКОВ С ЧПУ

Виды режимов. Станки с ЧПУ могут работать в нескольких режимах, из которых основными являются автоматический, полуавтоматический, ручной ввод (преднабор) и ручной.

В *автоматическом* режиме УП, введенная от программоносителя, отрабатывается станком безостановочно до одной из вспомогательных команд останова М00, М01, М02, М03.

В *полуавтоматическом* режиме после отработки каждого кадра УП рабочие органы останавливаются, движение подачи возобновляется только после нажатия кнопки «Пуск».

Режим *ручного ввода* заключается в наборе на пульте управления информации и последующей ее отработки при нажатии кнопки «Пуск». Вводить информацию можно по всем адресам, но объем ввода не должен превышать объема одного кадра, т. е. можно иметь не более одной команды по каждому из адресов, за исключением некоторых, не противоречащих друг другу команд с адресами G (подготовительные функции) и M (вспомогательные функции), которых может быть несколько.

В *ручном* режиме можно включать все механизмы станка и осуществлять перемещения рабочих органов. Современные станки с ЧПУ имеют обычно два-три пульта, оснащенных органами управления и сигнализации.

Органы управления. Для работы в ручном режиме предусмотрены чаще всего следующие органы управления: кнопки включения и останова шпинделя, зажима-отжима инструмента, смены инструментов; переключатели выбора инструментов, частот вращения шпинделя, направления перемещения рабочих органов вдоль координатных осей (переключатели имеют три позиции: «+», «—» и «0»; позиция «+» соответствует перемещению вдоль осей в положительном направлении, позиция «—» — в обратном); кнопка возврата рабочих органов в нуль станка; переключатели и кнопки дискретных перемещений.

На оперативном пульте станка имеются сдублированные с пультом УЧПУ кнопки (или тумблеры) «Пуск» и «Стоп». Кнопкой «Пуск» дается команда на отработку информации в режимах ручного ввода, полуавтоматическом и автомати-

ческом. Кнопкой «Стоп» прерывается отработка геометрической информации (технологические команды продолжают действовать). Практически это означает, что при нажатии на кнопку «Стоп» прекращается движение подачи, а вращение шпинделя продолжается с той частотой, на которой было прервано движение подачи, эмульсия продолжает поступать, вся информация сохраняется в памяти УЧПУ.

Органы управления, необходимые для работы в автоматическом режиме, в большинстве случаев расположены на пульте УЧПУ и частично дублированы на оперативном пульте станка. Все без исключения станки имеют специальный переключатель, позволяющий регулировать запрограммированную подачу в пределах 0—120 %, а станки с бесступенчатым регулированием частоты вращения двигателя главного движения снабжены регулятором частоты вращения шпинделя.

Важнейшими органами управления, определяющими возможность повышения точности обработки, пока еще являются корректоры положения осей координат, длины и радиуса инструментов (в новейших СЧПУ коррекция вводится в память системы управления). Корректоры конструктивно выполнены на пульте УЧПУ в виде набора декадных переключателей. Для токарных станков корректоры положения инструментов сведены в пары по осям X и Z, для фрезерных, расточных и многоцелевых станков имеются корректоры длины и радиуса инструмента.

С помощью корректоров можно компенсировать систематические погрешности отработки УП, смещая вершину режущего инструмента. Например, в токарных станках можно компенсировать неточности наладки режущих инструментов, нежесткость системы СПИД, температурные деформации, размерный износ режущих инструментов.

Каждому переключателю коррекции на пульте управления присвоен свой номер. Переключателем набираются знак и величина смещения по соответствующей оси координат: знак плюс свидетельствует о смещении вершины инструмента в положительном направлении оси координат, знак минус — в противоположном направлении. Информация от корректора того или иного номера вызывается по командам УП. Размер коррекции назначает наладчик: или по данным наладки инструмента на размер до начала обработки, или по результатам пробных ходов и контроля размеров обработанных поверхностей.

Органы сигнализации. Органы сигнализации можно разделить на три группы: оперативные сигнальные лампы, диагностические сигнальные лампы, устройство цифровой индикации.

Оперативные лампы сигнализируют о включенном состоянии или готовности к выполнению цикла соответствующими агрегатами: включение станка в сеть, включение УЧПУ, включение режима ручного управления (от станка), подтверждение готовности устройств, определяющих смену инструмента к осуществлению нового цикла смены, подтверждение нахождения рабочих узлов в исходном положении и др. Некоторые лампы горят в момент выполнения механизмами станка определенных действий и гаснут при их завершении. Эти лампы могут сигнализировать о неисправности в случае прекращения нормальной работы.

Важным органом сигнализации является устройство цифровой индикации, которое на пульте ЧПУ оформлено в виде светового табло. На табло индицируются численные значения команд по различным адресам. Используют четыре вида сигнальных устройств: электронные индикаторные лампы, светодиоды, проекционные табло и электронно-лучевую трубку (дисплей). Объем индикации в современных станках различен: от нескольких команд до полного содержания нескольких кадров. Имеется одно табло на шесть-семь разрядов и переключатель адресов. Последовательно «опрашивая» адреса, можно высветить на табло информацию по каждому из них.

Программоноситель. Одним из режимов станков с ЧПУ является проверка перфоленты. Эта проверка обязательна при настройке станка в период отладки новой УП.

В новой перфоленте возможно существование таких ошибок, которые не

позволяют нормально отрабатывать программу. Ошибки лучше всего выявлять при работе в режиме «проверка программоносителя», при котором происходят ускоренные считывание и проверка информации перфоленты на неработающем станке. Выявляются следующие ошибки: нарушение четности числа пробивок по каждой из строк перфоленты в коде ISO или нечетности в коде EIA; нарушение правильности структуры кадра (фразы); нарушение нормального расположения строк и дорожек.

Если через устройство ввода проходит кадр, имеющий одну из указанных ошибок, дальнейшая отработка программы прекращается и на пульте управления появляется сигнал «ошибка считывания» («Ввод»). В ранее исправной перфоленте в связи с изнашиванием также могут появляться подобные ошибки, приводящие к приостановке отработки программы. Если остановки редки и не носят систематического характера, то можно продолжать автоматическую работу, однако не с кадра, в котором произошла остановка, а с ближайшего предшествующего кадра, в котором рабочие органы занимают начальное положение (нуль программы) и технологическая информация полностью восстановлена. Такие кадры называют главными, в программе их помечают символом: (признак восстановления информации).

В грамотно составленной УП всегда чередуются серия рабочих кадров, выполняемых в течение нескольких минут, с главными кадрами, так как во время работы могут происходить неожиданные остановки и перерывы автоматического цикла.

Некоторые УЧПУ имеют режим ускоренной отработки. В этом режиме станок отрабатывает управляющую программу, включая все геометрические и технологические команды, в ускоренном темпе, что позволяет при малых затратах времени просмотреть без отработки всю УП от начала до конца.

Наиболее удобно проверять программоноситель на станках с УЧПУ класса CNC. На таких УЧПУ вводимая с перфоленты УП транслируется покадрово на дисплей, и контрольные системы УЧПУ высвечивают на экране дисплея коды тех или иных ошибок, часто с указанием конкретного ошибочного кадра.

13.5. УСТАНОВКА РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТАНКА В ИСХОДНОЕ ДЛЯ РАБОТЫ ПОЛОЖЕНИЕ

Установка рабочих органов станка в нуль программы — важный этап подготовительных работ перед началом обработки на станке с ЧПУ. В практике эта задача решается по-разному.

Методы установки рабочих органов станков в исходное положение

Предварительная наладка всех элементов станка, приспособления и инструмента. В ряде случаев обязательно решение достаточно сложных размерных цепей.

В станках, налаженных по предварительным расчетам размерных цепей, выход инструмента в нуль программы (если положение нуля программы заранее точно определено координатами) может быть запрограммирован в одном из первых кадров УП. Однако напомним, что при наладке станка приспособление для крепления детали должно быть установлено на столе станка и его базовые поверхности должны быть выверены по осям относительно базовой точки стола, а инструмент заранее налажен относительно базовых точек (см. рис. 13.11).

Рассмотренный метод не всегда удобен. Во-первых, он требует сложных расчетов и сравнительно длительной наладки станка, а во-вторых, не гарантирует от ряда ошибок (ошибки расчетов, ошибки наладки и т. п.).

Разработка УП, в которой за нуль программы принимают какой-либо элемент приспособления или детали. Подобный элемент приспособления

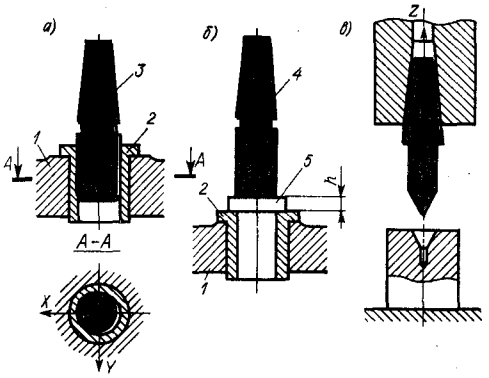


Рис. 13.15. Установка элементов станка в исходное положение с использованием базовых втулок

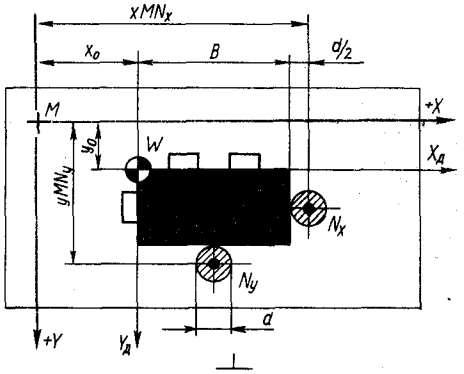


Рис. 13.16. Установка элементов станка в исходное положение по осям *X* и *Y* с помощью мерной калиброванной оправки

может быть выполнен, например, в виде точной втулки *2* (рис. 13.15, *а*), запрессованной в корпус *1* приспособления. Во втулку при настройке станка вводят оправку *3*, установленную в конусе шпинделя станка. Это позволяет выверить исходные положения рабочих органов по осям *X* и *Y*. Затем оправку выводят из втулки и заменяют фрезой *4* (рис. 13.15, *б*). Исходное положение по вертикали (ось *Z*) выверяют по торцу фрезы с помощью концевой меры *5* заданной высоты *h*.

Оправка для выверки может быть выполнена с конусом, а соответствующая базовая втулка — с центровым отверстием (рис. 13.15, *в*).

При наладке приспособлений положение базовых втулок может быть точно выверено относительно начала координат станка, если предполагается работа в абсолютной системе координат. Подобные втулки быстро обеспечивают установку инструмента в нуль программы, если работа ведется в приращениях.

Если за нуль программы принимается какой-либо элемент обрабатываемой детали, то инструмент выверяют относительно этого элемента. В случае, если за нуль программы принят центр какого-то заранее выполненного в заготовке базового отверстия, для установки инструмента в нуль программы используют различные центроискатели (см. выше).

Наладка станков, УЧПУ которых снабжены плавающим нулем. Смысл плавающего нуля в том, что начало отсчета в системе координат станка можно смещать в пространстве во всем диапазоне перемещений рабочих органов. Если при любом положении рабочих органов на пульте УЧПУ нажать соответствующую кнопку сброса геометрической информации, то на табло цифровой индикации загорятся нули. Начало отсчета координат при этом смещается в новую точку, соответствующую данному расположению рабочих органов. Положение этой точки относительно нуля станка можно зафиксировать с помощью имеющегося на пульте УЧПУ набора декадных переключателей, которые называются переключателями смещения нуля и сдвига нуля.

При наличии у системы плавающего нуля наладка рассматриваемого станка заключается в следующем. Деталь (или приспособление) устанавливают на столе станка без строгой фиксации положения относительно базовой точки стола. Необходимо лишь обеспечить параллельность базовых плоскостей соответствующим осям. Далее при ручном управлении перемещениями стола боковой поверхностью калиброванной (мерной) оправки диаметром *d*, закрепленной в шпинделе, поочередно касаются боковых плоскостей установленной детали (рис. 13.16). Вместо калиброванной оправки можно использовать любой калиброванный режущий инструмент, например фрезу, и определять момент касания вращающегося инструмента по следу базовой по-

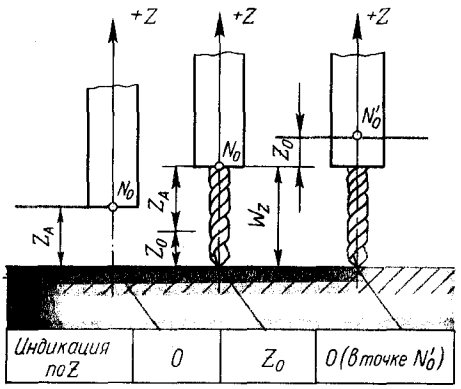


Рис. 13.17. Установки нуля по оси Z

верхности. При этом на табло индикации фиксируют цифровые значения координат xMN_x и yMN_y. Совершенно ясно, что искомые координаты нулевой точки детали составят:

$$x_0 = xMN_x - B - d/2; \quad y_0 = yMN_y - H - d/2.$$

Диаметр калиброванной оправки известен, известны также размеры H и B заготовки (или детали).

Значения x_0 и y_0, полученные расчетом, необходимо набрать на соответствующих декадных переключателях сдвига нуля на пульте УЧПУ. Это означает, что начало системы координат станка (точка M) совместилось с нулевой точкой детали W и все отсчеты координат будут выполняться относительно нее. Теперь для совмещения оси инструмента с нулевой точкой достаточно (ручным управлением) добиться положения рабочих органов, при котором на табло цифровой индикации будут нули. Кроме того, пользуясь индикацией, можно установить инструмент в любой точке, определенной в системе координат детали, т. е. в той системе, в которой рассчитана УП.

Еще проще устанавливается нуль по оси Z. Для этого инструментом, закрепленным в шпинделе (при этом не обязательно знать его вылет), касаются зеркала стола или базовой (по оси Z) поверхности приспособления. Затем на декадном переключателе смещения нуля по оси Z набирают цифры, которые были зафиксированы на табло цифровой индикации. Например, если табло показало цифры z_0, то они со знаком минус и должны быть набраны. Это и определит новый нуль по оси Z (рис. 13.17).

Установка истинного положения детали или базовых элементов приспособления с помощью съемного настроечного кубика с мерным пазом на одной из сторон. За счет встроенных в поверхность корпуса *1* постоянных магнитов *2*, *3* и *4* (рис. 13.18, *а*) кубик может довольно устойчиво прикрепляться к базирующим поверхностям приспособлений. Для повышения износостойкости кубик закален до высокой твердости. Он предназначен для отсчета размера K от плоскости, к которой прикреплен. В шпиндель станка устанавливают оправку с закрепленным в ней рычажным индикатором (рис. 13.18, *б*). Наконечник индикатора вводят в паз кубика, касаются одной из боковых сторон паза, настраивают индикатор на нуль, поворачивают шпиндель на 180° и фиксируют показания индикатора при касании нако-

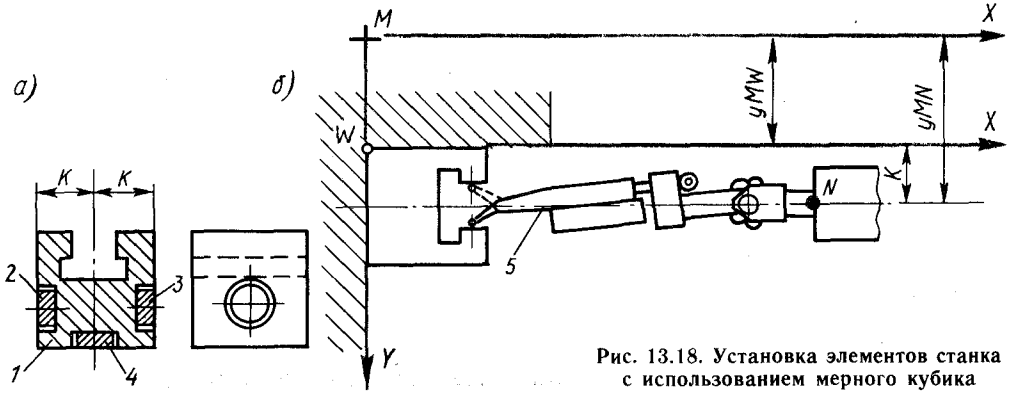


Рис. 13.18. Установка элементов станка с использованием мерного кубика

нечником противоположной стороны паза. Смещая шпиндель относительно стола, добиваются положения, когда ось шпинделя совпадает с осью симметрии паза. Это означает, что шпиндель по соответствующей координате отстоит от базовой поверхности приспособления, к которой кубик прикреплен, на расстояние K (размер K отгравирован на кубике). Используя показания цифровой индикации (индицируется размер yMN), легко подсчитать расстояние yMW от начала координат станка до базирующей поверхности приспособления в данном координатном направлении: $yMW = yMN - K$. Величина yMW и будет размером, на который надо сместить нуль по оси Y.

Рассмотренный метод установки элементов стали в исходное положение при использовании мерной оправки достаточно точен, если размеры H и B заготовки в процессе обработки на данном станке не изменяются и две из сторон заготовки приняты за базовые, а оси координатной системы детали совпадают с ними.

В ряде случаев при программировании начало координатной системы связывают с деталью, т. е. с элементами поверхностей, которые обрабатываются на данном станке, поскольку большей частью программирование (составление РТК) ведется исходя из чертежа готовой детали. Поэтому на практике применяют другие методы установки элементов станка с ЧПУ в исходное положение.

Отыскание нуля программы путем проб. Оператор (наладчик) с малым опытом чаще всего отыскивает положение нуля программы путем нескольких проб. По карте наладки он выясняет, на каком расстоянии от обрабатываемой поверхности заготовки располагается точка, характеризующая исходное положение рабочих органов. В эту точку он с большой долей приближенности смещает рабочие органы, отмеряя расстояние между инструментом и заготовкой универсальными измерителями (линейкой, штангенциркулем). Во избежание брака оператор несколько отдаляет за счет положения нуля программы инструмент от заготовки, проводит по программе пробную обработку некоторых поверхностей, проверяет результаты обработки, замеряя размеры обработанных поверхностей. По результатам пробной обработки и замера уточняется нулевое положение программы путем изменения фактического расположения рабочих органов. После повторной обработки оператор вносит поправку в положение нуля программы. Убедившись в правильности расположения нуля программы, надо сбросить показания цифровой индикации и, нажимая на кнопки, направить рабочие органы в нуль станка. Показания цифровой индикации означают расстояния между нулем станка и нулем программы. Очевидно, что описанный метод наладки не является самым рациональным, так как требуемое положение нуля программы достигается в результате нескольких проб.

Отыскание нуля программы по цифровой индикации. Опытные операторы (наладчики) для быстрого и точного определения расстояния между нулем станка и нулем программы в ручном режиме обрабатывают в размер крайние в сторону инструментов поверхности заготовки и в этом положении сбрасывают на нуль показания цифровой индикации. Отведя рабочие органы в нуль станка, рассматривают показания цифровой индикации по каждой из координат как сумму величин, где первая — искомое расстояние между нулем станка и нулем программы (смещение нуля), а вторая — перемещение по программе из нуля программы до обрабатываемых поверхностей. Вторую часть суммы берут из текста программы или карты наладки.

Пример 1. *Отыскание положения нуля программы при наладке токарного станка.* Программист в карте наладки указал, что программируемая отсчетная точка F_2 (рис. 13.19) при положении суппорта в нуле программы отстоит от начала координат программы (точка W) на расстояние $x_0 = 195$ мм и $z_0 = 365$ мм. Начало координат программы выбрано на пересечении оси вращения и правого чистового торца детали. Нетрудно подсчитать, что вершине резца № 1 для достижения точки 0 нужно пройти по оси X путь $x_1 = x_0 - W_{x1} = 45$ мм, а по оси Z — путь $z_1 = z_0 - W_{z1} = 210$ мм. Естественно, что положение вершины резца известно и задано относительно точки F_2 резцедержателя величинами $W_{x1} = 150$ мм и $W_{z1} = 155$ мм.

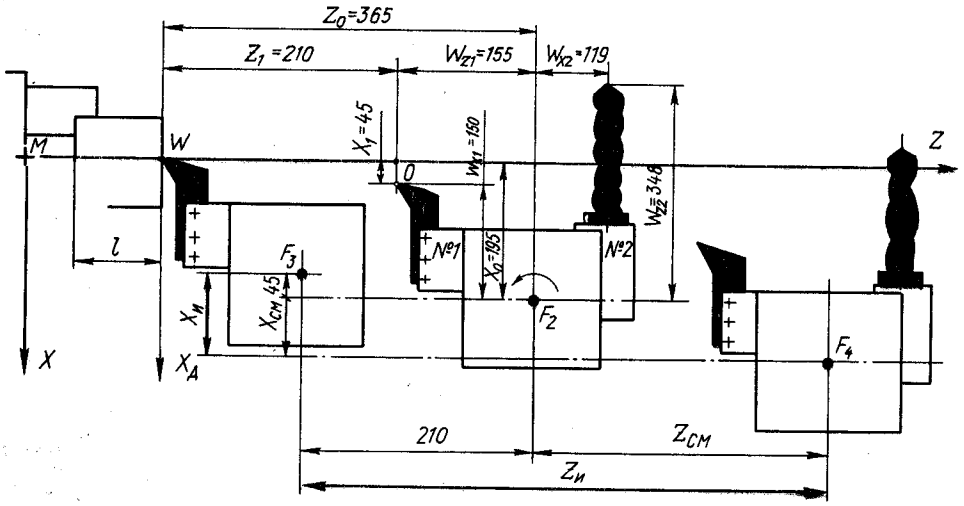


Рис. 13.19. Установка элементов токарного станка в исходное положение

Можно предложить следующий порядок работы:

1) переключатель режима работ установить в положение «ручное управление»;

2) подвести резец к заготовке;

3) подрезать торец заготовки, проверяя полученный размер l, до выхода вершины резца на ось; центр револьверной поворотной головки занимает положение F_3;

4) сбросить на нуль показания цифровой индикации;

5) передвинуть суппорт в положение F_4, определенное заранее относительно нуля станка; центр поворотной головки смещается в положение F_4;

6) записать показания цифровой индикации по осям X и Z (соответственно величины $x_и$ и $z_и$); они представляют собой координатные расстояния между точками F_3 и F_4;

7) подсчитать размеры смещения нуля; $x_{см} = x_и - 45$ мм; $z_{см} = z_и - 210$ мм;

8) набрать на декадных переключателях устройства смещения нуля значения $x_{см}$ и $z_{см}$ со знаком минус.

Переход рабочих органов из нуля станка в исходную точку может быть заранее запрограммирован и осуществляется автоматически при обработке программы, причем команда на смещение нуля (например, G58M61) носит условный характер, в ней нет размерной информации. При обработке этой команды УЧПУ смещает рабочие органы в положение, которое определено числовыми значениями, набранными на декадных переключателях смещения нуля на пульте УЧПУ. Изменения чисел на переключателях вызовет изменение смещения при той же самой команде (G58M61). После выполнения всех перемещений, заданных УП, рабочие органы вернутся в исходную точку, если в программе смещение нуля не было отменено. А это может быть осуществлено введением в УП соответствующей команды (например, G53M61).

Наладка в станках с оперативным управлением. Наладка расположения инструмента в координатной системе программы предельно облегчена в станках с оперативным (ручным программным) управлением. Здесь возможна работа не налаженным вне станка инструментом, так как УЧПУ имеет специальный режим размерной привязки инструмента.

На станках 16К20Т1 и 16К30Ф333, оснащенных устройством оперативного управления «Электроника НЦ-31», процедура размерной привязки осуществляется следующим образом:

1) выбирают начало координат программы, например на правом чистовом торце детали;

2) вызывают нужный инструмент, например упорно-проходной резец;

3) включают вращение шпинделя и в режиме ручного управления резец подводят к заготовке;

4) управляя маховичком, производят наружное обтачивание заготовки на

длине, достаточной для измерения наружного диаметра;

5) останавливают шпиндель и измеряют диаметр проточенной поверхности;

6) УЧПУ переводят в режим размерной привязки инструментов и измеренный диаметр нажатием на клавиши вводят в память устройства;

7) включают вращение шпинделя, в режиме ручного управления резец подводят к торцу заготовки и обрабатывают торец;

8) инструмент отводят по оси X, останавливают шпиндель, измеряют расстояния по оси Z от начала координат программы до проточенного торца;

9) УЧПУ переводят в режим размерной привязки инструментов и измеренную величину вводят в память.

УЧПУ обладают еще одним достоинством, близким по значению к плавающему нулю; позволяют пересчитывать положение программируемой точки. Эту возможность используют при работе несколькими инструментами или при обработке деталей, закрепленных в многопозиционных приспособлениях. Она реализуется командой G92 управляющей программы при работе в абсолютной системе. Команда G92 подтверждает любое новое положение программируемой точки относительно начала координат программы (или наоборот). Суть использования этой команды покажем на примере.

Пример 2. *Токарная обработка деталей двумя инструментами.* Программируемая точка F_2 (см. рис. 13.19), принадлежащая суппорту, имеет относительно точки W координаты: $x_0=195$ мм; $z_0=365$ мм. Координаты вершины инструмента № 1 (резца) относительно программируемой точки: $W_{x1}=150$ мм; $W_{z1}=155$ мм. Координаты инструмента № 2 (сверла): $W_{x2}=119$ мм; $W_{z2}=348$ мм. Координаты вершины первого инструмента, когда он находится в нуле программы (точка 0) относительно начала координат (точки W): $x_1=45$ мм; $z_1=210$ мм; вершина второго инструмента после поворота револьверной головки окажется в нуле программы, определенном координатами $x_2=76$ мм; $z_2=17$ мм.

Начало программы работы резца описывается таким кадром: G90 X45 Z210 (геометрическая информация записана условно в миллиметрах). Этим кадром программируемая точка совмещается с вершиной резца, имеющей координаты $x_1=45$ мм; $z_1=210$ мм, и одновременно подтверждается положение *начала координат в точке W*. Никаких перемещений суппорта не происходит. Все дальнейшее программирование выполняется в удобном для расчета и проверки программы виде, например: приближение резца к торцу заготовки без смещения по оси X — кадр G01 X45 Z0; перемещение вершины резца в точку W — кадр G01 X0 Z0; уход в нуль программы — кадр G01 X45 Z210 и т. д.

После смены инструмента рабочее положение займет сверло. Координаты вершины сверла ($x_2=76$ мм; $z_2=17$ мм) отличаются от координат резца, однако с помощью команды G92 можно пересчитать положение программируемой точки *таким образом, что программирование будет выполняться в удобном виде*: G92 X76 Z17. Происходит пересчет положения программируемой точки, которая смещается в точку с координатами $x=76$ мм; $z=17$ мм; тем самым она совмещается с вершиной сверла.

Таким образом, команда G92 предшествует работе каждого нового инструмента. По этой команде без фактических перемещений рабочих органов станка смещается положение отсчетной программируемой точки (точки F) относительно одного и того же начала координат (точки W) и происходит ее совмещение с *вершиной инструмента*.

Можно использовать команду G92 также для облегчения программирования и отладки программы обработки нескольких деталей, установленных в разных позициях одного приспособления, или нескольких приспособлений на одном рабочем столе станка. В этом случае управляющую программу рассчитывают не в единой системе координат, а в нескольких (для каждой обрабатываемой детали). Многопозиционную обработку часто выполняют на сверлильных, фрезерных, расточных и многоцелевых станках.

Установка в исходное положение рабочих органов токарно-карусельных станков с контурными СЧПУ

Токарно-карусельные станки с контурными СЧПУ (например, Н55-2) работают при задании размеров как в абсолютных значениях, так и в приращениях. У этих станков начало осей координат системы находится в правой верхней точке конца перемещения суппорта по

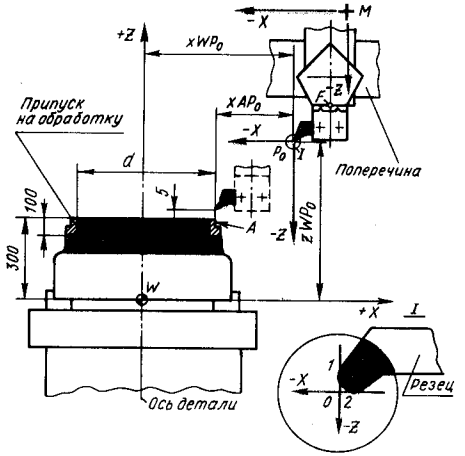


Рис. 13.20. Установка режущих инструментов на токарно-карусельном станке с контурной СЧПУ при задании размеров в абсолютных значениях

поперечине (рис. 13.20) — в точке M (нуль станка).

С изменением положения поперечины по высоте изменяется и положение точки M относительно торцовой поверхности планшайбы. Выход суппорта в положение нуля по оси X регистрируют для данного положения поперечины конечным выключателем.

Если работать на станке с отсчетом размеров, определяющих положение точки F относительно точки M (в координатной системе станка), то это при обработке детали (размеры детали даны в системе ее координат zWX) вызовет существенные неудобства. При такой работе на табло индикации станка будут выводиться числовые значения положения точки F относительно точки M, а не удобные для работы значения положения вершины резца P_0 относительно точки W. Напомним, что при программировании за основу берется чертеж детали в системе координат детали zWX. Поэтому, чтобы получить размеры в соответствии с чертежом, чтобы не лишиться удобства и наглядности при обработке, необходимо произвести сдвиг нуля станка (точки M) так, чтобы режущие кромки резца были привязаны к началу отсчета размеров детали, т. е. к точке W.

После этого УЧПУ будет давать отсчет координат точки P_0 относительно точки W оси вращения планшайбы (см. рис. 13.20). Суть привязки инструмента к детали и заключается в определении параметров сдвига нуля станка: xWP_0 и zWP_0.

Порядок привязки по оси X при задании размеров в абсолютных значениях следующий:

1) нажать на панели «Пульт оператора» кнопки «Сброс коррекций» и «Сброс памяти»; на табло цифровой индикации устанавливается размер 000000;

2) проточить пробную контрольную цилиндрическую поверхность A на детали в режиме «преднабор»;

3) не двигая суппорт по оси X, записать показание табло цифровой индикации xAP_0, т. е. координату режущей кромки резца при проточке относительно начала его отсчетной системы P_0 в исходном положении суппорта (напомним, что перед тем, как из положения P_0 перемещать суппорт для проточки пояска A, табло цифровой индикации станка было сброшено на нуль);

4) измерить диаметр пробной проточки d;

5) определить сдвиг нуля по оси X, суммируя радиус пробной проточки $d/2$ и показания табло цифровой индикации xAP_0 (радиус в системе координат XP_0Z принимают с минусом);

6) переключателем сдвига нуля по оси X на панели корректоров установить значение сдвига по оси X, равное xWP_0, со знаком минус.

Поясним порядок привязки на примере.

Пример 1. *Привязка инструмента к координатной системе станка.* Пусть диаметр пробной проточки $d = 640{,}56$ мм. Показание табло индикации $xAP_0 = -405{,}71$ мм. Тогда сдвиг нуля по оси X составит $xWP_0 = -d/2 + xAP_0 = -320{,}28 + (-405{,}71) = -725{,}99$ мм.

Переключателями сдвига нуля по оси X устанавливаем величину $-725{,}99$ мм. Привязка резца по оси Z производится аналогично, сдвиг нуля по оси Z устанавливается переключателями сдвига нуля по оси Z.

Управляющей программой, согласно чертежу, предусматривается обработка поверхности диаметром 640 мм на длине 100 мм (добавляем к ним запас на врезание еще 5 мм). После сдвига нуля индикация вершины резца происходит относительно точки W условно в системе координат детали, поэтому опорные

точки при обработке задаются в этой же системе. Пример программы обработки этой поверхности:

```
N001          T01 M06
N002 G27 M04
N003       S010
N004 G01 X+032000 Z+030500 L20 L21
          F3330
N005 G01 G95 Z+020000 R+000040
```

и т. д.

В кадре N004 коррекции L20 и L21 введены для случая обработки в несколько рабочих ходов, а также для учета изнашивания резца и т. д. Кроме того, при обработке одним резцом нескольких поверхностей рекомендуется предусматривать отдельную коррекцию для каждой координаты, определяющей положение этих поверхностей.

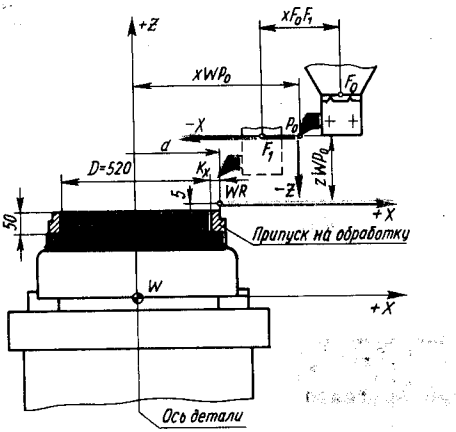


Рис. 13.21. Установка режущих инструментов на токарно-карусельном станке с контурной СЧПУ при задании размеров в приращениях

При задании размеров детали в приращениях, программируя обработку детали, технолог определяет исходную точку для резца. На рис. 13.21 это точка WR. Предполагается, что резец обрабатывает диаметральную поверхность верхнего пояска. Координату x точки WR определяют относительно оси детали, координату z — относительно торца, принятого за базовый.

Суть привязки резца к детали состоит в определении координат xWP_0 и zWP_0 — расстояний, на которые ось детали и базовый торец отстоят от точки начала отсчетной системы резца P_0.

Последовательность привязки по оси X следующая:

1) нажать на пульте оператора кнопки «Сброс коррекции» и «Сброс памяти» (при этом на табло цифровой индикации загорится размер 0000,00);

2) проточить контрольный поясок на детали в режиме «преднабор»;

3) не сдвигая суппорт по оси X, записать показание по этой оси, т. е. полученную при проточке контрольного пояска координату точки WR (в которой должна находиться точка P режущей кромки резца) относительно начала отсчетной системы P_0 (при исходном положении суппорта в F_0);

4) измерить диаметр контрольного пояска d;

5) определить координату оси детали xWP_0 относительно начала отсчетной системы резца P_0, суммируя радиус контрольного пояска $d/2$ и показания табло цифровой индикации xF_0F_1 (радиус в системе координат XP_0Z принимают с минусом);

6) определить коррекцию K_x по оси X, вычитая из полученной суммы радиус $d/2$ поверхности, протачивание которой предусматривается программой (радиус принимают с минусом);

7) переключателями корректора, номер которого указан в кадре и карте наладки, набрать полученное значение коррекции K_x со знаком минус.

Точно так же определяют коррекцию по оси X и для других резцов, входящих в наладку, поочередно подводя их до касания с проточенным контрольным пояском.

Пример 2. *Привязка инструмента по оси X.* Диаметр контрольного пояска после измерения $d = 522{,}08$ мм. Показание табло индикации $xF_0F_1 = -464{,}95$ мм. Координата xWP_0 оси детали относительно P_0 составляет $xWP_0 = xF_0F_1 + (-d/2) = -464{,}95 - 261{,}04 = -725{,}99$ мм.

Управляющей программой предусмотрено, согласно чертежу, протачивание поверхности диаметром 520 мм на длине 50 мм (добавляем к ним на врезание еще 5 мм). Пример программы обработки:

```
N001      T01 M06
N002      M04
N003      S011
```

```
N004 G01 X-000000 Z-000000 L20 L21
     F3330
N005 G01 G95 Z-005500 R+000020
```

Коррекция K_x на сдвиг точки P_0 по оси X, вводимая в кадре № 004 функцией L20, должна составлять $K_x = xWP_0 - (-520/2) = -725{,}99 + 260 = -465{,}99$ мм. Это значение перед пуском программы набирается переключателями корректора L20 на пульте коррекции УЧПУ.

При привязке инструмента к детали по оси Z протачивают контрольную торцовую поверхность и определяют ее положение относительно базовой торцовой поверхности детали — основания детали или ее верхнего торца. В остальном привязка по оси Z аналогична привязке по оси X. После определения коррекции по оси Z ее набирают переключателями корректора, номер которого соответствует номеру коррекции по оси Z карты наладки. В приведенном примере это L21.

13.6. УПРАВЛЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ НАЛАДКОЙ

Одним из непременных условий, обеспечивающих получение требуемой точности детали при обработке на станках, работающих в автоматическом цикле, в частности с системой ЧПУ, является равенство фактических размеров, получаемых при статической наладке, размерам, заданным в программе. Выполнение этого условия зависит от сохранения первоначально установленного положения режущих кромок инструмента и баз станка относительно начала отсчета. Для этого необходимо компенсировать погрешность статической наладки, развивающуюся в результате изнашивания режущего инструмента и температурных деформаций системы СПИД, а также в результате замены режущего инструмента и перемещения рабочих органов в новое исходное положение.

Для решения этой задачи используют автоматические системы, обеспечивающие коррекцию точности статической наладки в исходном положении. Принципиальная схема системы автоматической коррекции представлена на рис. 13.22. Система состоит из измерительного устройства *1*, задающего устройства *2* и блока коррекции *3*. С помощью измерительного устройства, состоящего из одного или нескольких датчиков, измеряется точность положения вершины режущей кромки инструмента и базы станка относительно начала отсчета. Точность относительного положения измеряется перед обработкой очередной партии деталей, при этом рабочие органы станка находятся в исходном положении или выводятся по программе в определенную контрольную позицию (контрольный размер). Информация о точности статической наладки с измерительного устройства поступает в блок коррекции; туда же с задающего устройства подается сигнал о требуемой точности статической наладки. Получаемый в результате сравнения сигнал рассогласования, соответствующий погрешности статической наладки, подается в блок ЧПУ *4*. В соответствии с этим сигналом в блоке *4* управляющая программа автоматически корректируется. Таким образом, все следующие детали обрабатываются по откорректированной программе.

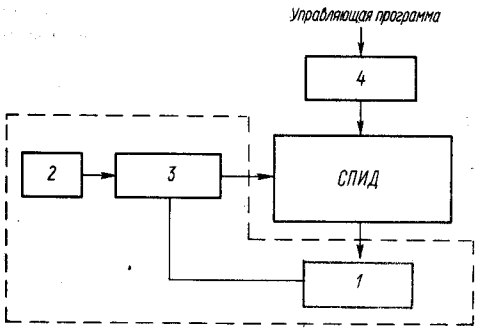


Рис. 13.22. Принципиальная схема автоматической системы, обеспечивающей коррекцию статичной наладки в исходном положении

Коррекция точности статической наладки в исходном положении необходима при переналадке станка непосредственно перед обработкой первой детали очередной партии. Именно на этом этапе погрешность статической наладки, как правило, составляет наибольшее значение, и ее необходимо автоматически

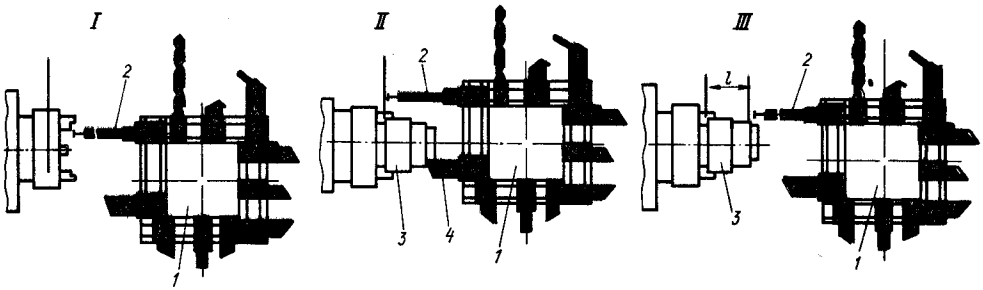


Рис. 13.23. Схема обработки заготовки на станке с ЧПУ, имеющем систему автоматической коррекции

компенсировать. Автоматическую коррекцию статической наладки можно выполнять также непосредственно в процессе обработки партии деталей, после одного или нескольких циклов. Это повышает точность обработки за счет уменьшения влияния систематически действующих факторов.

Станки с ЧПУ имеют специальную систему управления точностью, основанную на коррекции статической наладки. Регулируемым параметром в этом случае является точность диаметральных размеров обрабатываемой детали, заданным значением уставки — теоретически достигаемая на станке точность. Рассмотрим некоторые из таких систем.

Система автоматической коррекции положения нулевой точки. В одной из позиций револьверной головки крестового суппорта вместо режущего инструмента устанавливают однокоординатный измерительный щуп, служащий для автоматического получения информации о погрешности статической наладки. Местом измерения является контрольный палец, в зависимости от решаемой технологической задачи устанавливаемый или в патроне станка, или в любом участке цилиндрической поверхности обрабатываемой детали, полученном путем проточки чистовым резцом. Измерительный щуп перемещается на позицию контроля в автоматическом цикле с помощью системы программного управления. Траектория относительного перемещения измерительного щупа, так же как траектория относительного перемещения режущего инструмента, должна быть запрограммирована заранее и задана в УП.

Последовательность работы системы автоматической коррекции показана на рис. 13.23.

Перед обработкой деталей новой партии корректируется положение нулевой точки (поз. *I*). С этой целью перед установкой обрабатываемой детали револьверная головка *1* в соответствии с заданной программой выводит измерительный щуп *2* на контрольную позицию. Щуп упирается в расположенный в патроне контрольный палец, фиксируя отклонения в радиальном направлении между шпинделем и режущим инструментом, обусловленные температурными деформациями звеньев системы СПИД. В соответствии с результатом измерения система выполняет автоматическую коррекцию путем смещения начала отсчета. Затем в патрон устанавливается заготовка *3*, и производится ее предварительная обточка по контуру.

Перед чистовой обработкой система выполняет вторую коррекцию. Для этого по программе на коротком участке цилиндрической поверхности детали выполняется пробная проточка чистовым резцом *4* (поз. *II*).

Далее путем перемещения револьверной головки по прямоугольной траектории измерительный щуп выводится на новую контрольную позицию, где измеряется точность размера *l* (поз. *III*). В результате измерения определяются отклонения статической наладки, обусловленные погрешностью выставки инструмента и размерным износом. В соответствии с этим в программу автоматически вводится дополнительная коррекция статической наладки для соответствующего режущего инструмента. Таким образом, следующие детали обрабаты-

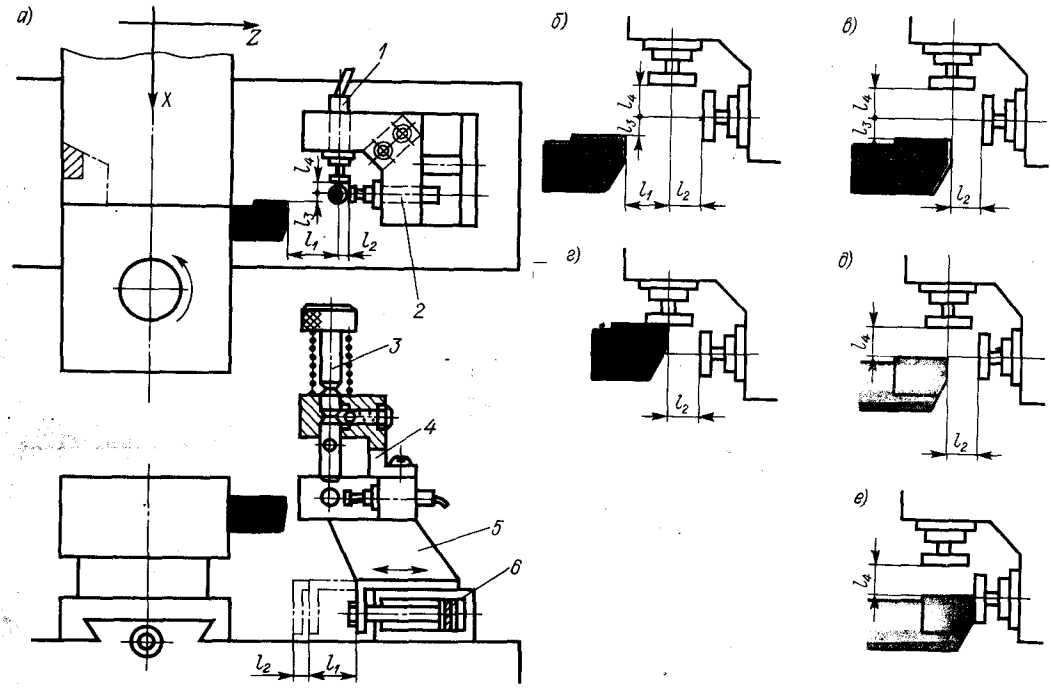


Рис. 13.24. Измерительное устройство для коррекции точности статической наладки в исходном положении по двум координатам: *а* **— схема устройства;** *б—е* **— позиции, занимаемые режущим инструментом и датчиками в процессе измерения**

ваются с учетом внесения корректирующей поправки в технологические цепи системы СПИД.

С помощью переключателя, установленного на пульте управления токарного полуавтомата, оператор имеет возможность заранее установить требуемый цикл программной обработки детали. В цикле могут быть предусмотрены: коррекция положения нулевой точки относительно оси вращения шпинделя: коррекция относительного наружного и внутреннего точения; последовательное выполнение первой и второй коррекции с несколькими пробными проточками.

В циклах обработки всех следующих деталей партии также может быть предусмотрено проведение соответствующей коррекции статической наладки. Это обеспечивает гарантированную точность обрабатываемых деталей при одновременном повышении производительности. Производительность повышается в результате уменьшения простоев оборудования и сокращения вспомогательного времени, необходимого на подналадку станка и отработку УП.

Описанная система управления точностью применяется на программных токарно-револьверных полуавтоматах с горизонтальным расположением револьверной головки, а также на токарных полуавтоматах с вертикальным расположением 12-позиционной револьверной головки.

Система автоматической коррекции точности статической наладки. На рис. 13.24 показано измерительное устройство, применяемое для коррекции точности статической наладки в исходном положении на токарном станке с ЧПУ. Это устройство фиксирует отклонения вершины режущей кромки инструмента вследствие изнашивания, температурных деформаций или замены пластины. Отклонение вершины режущей кромки резца от требуемого положения измеряется в двух перпендикулярных направлениях, соответствующих образованию линейных и радиальных размеров детали.

Устройство устанавливается на продольных салазках станка (рис. 13.24, *а*). Оно состоит из двух индуктивных датчиков *1* и *2*, неподвижно закрепленных на кронштейне *5*, выполненном в виде салазок, и гидроцилиндра *6*, перемещающего кронштейн с датчиками в осевом направлении. При помощи угольника *4* на кронштейне установлена калиброванная оправка *3* для выставки датчиков на нуль. Оправка имеет два фиксированных положения: верхнее — исходное и нижнее — рабочее, при котором ограничивается перемещение измерительных наконечников датчиков. Процесс измерения осуществляется по определенной программе в положении инструмента, предшествующем основной рабочей позиции.

При подаче команды с системы ЧПУ револьверная головка выводится в определенное положение, при котором резец в измерительной позиции устанавливается относительно датчиков (рис. 13.24, *б*).

При помощи гидроцилиндра *6* кронштейн с датчиками перемещается на расстояние l_1 (рис. 13.24, *в*), после чего происходит дополнительное установочное перемещение револьверной головки в направлении оси X на расстояние $l_3 + l_4$ (рис. 13.24, *г*). В этой позиции резец нажимает режущей кромкой на измерительный наконечник датчика *1*, фиксирующего отклонение размера статической наладки в осевом направлении.

Затем револьверная головка отводится по оси X на расстояние l_4 (рис. 13.24, *д*), после чего дается команда на подвод кронштейна с датчиками на расстояние l_2 (рис. 13.24, *е*). При этом измерительный наконечник упирается в вершину режущей кромки инструмента и датчик *2* фиксирует отклонение размера статической наладки в радиальном направлении.

Описанное устройство позволяет контролировать отклонения относительного положения режущей кромки различных резцов, расположенных в револьверной головке. Время на замер одного инструмента составляет 12 с.

На основании результатов измерения производится автоматическая коррекция в блоке ЧПУ, позволяющая компенсировать изменение положения режущей кромки инструмента.

На рассматриваемом станке коррекция статической наладки производится, как правило, перед окончательным проходом. В результате повышаются точность и производительность обработки, так как отпадает необходимость в пробных ходах и промежуточных замерах детали.

13.7. ПРОВЕРКА И ОЦЕНКА НОВОЙ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Весьма ответственным этапом работы является отладка новой УП. Этим занимается или сам технолог-программист, или опытный наладчик (оператор) станков с ЧПУ. В ходе отладки УП проверяют ее оптимальность по параметрам производительности, качества обработки, отсутствия вибраций, стойкости инструментов, приемлемого схода стружки. По результатам обработки пробной детали корректируют (редактируют) программу. *Этот процесс в наибольшей степени* требует глубоких теоретических знаний и творческого подхода.

Работа начинается с выявления ошибок, не позволяющих вообще нормально осуществлять процесс обработки. Чаще всего встречаются следующие ошибки первоначальной редакции УП:

1) нуль программы выбран за пределами рабочей зоны, т. е. за нулем станка;

2) использованы технологические команды, не выполняемые станком, чаще всего завышенные рабочие перемещения и завышенные частоты вращения шпинделя;

3) инструменты при холостых перемещениях и сменах задевают за элементы станка, крепежную оснастку или обрабатываемую деталь.

Целесообразно с точки зрения безопасности выявлять первые две ошибки при отработке программы в холостом режиме, т. е. без заготовки, однако это приводит к лишним затратам времени.

Наибольшего внимания требует проверка вероятности наличия в программе третьего вида ошибок, которые могут при-

вести к возникновению аварийной ситуации. Новую незнакомую программу лучше всего отрабатывать в полуавтоматическом режиме. Сверяясь с текстом УП и выявив кадр, невозможный или нежелательный для обработки, не следует нажимать на клавишу «Пуск». Аварийная ситуация возможна также при наборе неправильной информации на декадных переключателях смещения нуля и коррекции.

При холостых подводах инструментов к заготовке в сомнительных ситуациях надо снижать скорость перемещения рабочего органа, пользуясь регулятором подачи. При незапланированной встрече перемещающихся инструментов с заготовкой, элементами станка или приспособления следует нажать кнопку «Стоп подачи», а при встрече инструментов с препятствием в момент их смены нажать аварийную кнопку «Стоп».

Для оценки оптимальности УП следует помнить принципы построения технологических процессов на станках с ЧПУ. Основная характерная черта — интеграция обработки, т. е. последовательное выполнение в одной операции большого числа переходов, осуществляемых различными инструментами. Для правильно построенной операции характерен последовательный переход от черновой обработки к чистовой и от чистовой к отделочной, чтобы деформации, вызываемые внутренними напряжениями при обдирке и непосредственно в первый момент после нее, не отразились на конечной точности обработки.

Следующий этап проверки оптимальности УП — оценка правильности выбора режимов резания. При черновых проходах необходимо достичь наивысшей производительности. Критерием выбора режимов является экономическая стойкость инструмента, при которой затраты на обработку становятся наименьшими. При чистовых рабочих ходах определяющую роль в выборе режимов играют требования к достижению геометрической точности и шероховатости обработанной поверхности.

В процессе отладки программы необходимо проверить соответствие заложенных в ней режимов резания возможностям инструмента и станка, надежность закрепления заготовки, условия благоприятного осуществления процесса резания (по отсутствию вибраций, характеру схода стружки).

Режущий инструмент может наложить ограничения из-за того, что ширина среза превысит длину режущей кромки инструмента. Другое ограничение связано с превышением условий допустимой прочности режущей части, а в более редких случаях — корпуса или других элементов инструмента.

Силовые возможности станка характеризуются мощностью главного привода и крутящим моментом на каждой ступени частот вращения шпинделя, тяговым усилием приводов подач и виброустойчивостью. Надо оценить перегрузку станка по показаниям амперметров, резкому уменьшению частоты вращения и скорости перемещения, звуку.

При программировании сложно совместить условия высокопроизводительной и в то же время безвибрационной обработки. Вибрации вредны, так как они разрушают инструмент, ослабляют крепление в приспособлении обрабатываемой заготовки, способствуют повышенному изнашиванию деталей и узлов станка. О возникновении вибраций можно судить по колебаниям частей станка и заготовки или по характерному звуку различной тональности, на обработанной поверхности появляются следы «дробления».

При возникновении вибраций нет возможности без переработки УП изменить глубину резания — параметр, наиболее существенно влияющий на состояние виброустойчивости системы. Поэтому необходимо проверить и максимально увеличить жесткость всех элементов системы СПИД. Начинать эту работу надо с проверки жесткости крепления заготовки в приспособлении, самого приспособления, режущих инструментов и механизмов станка. При проверке станка следует обратить первоочередное внимание на зазоры в направляющих и шпиндельной опоре.

Погасить вибрацию можно изменением скорости резания и подачи. Наиболее часто вибрации возникают при сре-

зании тонких стружек, поэтому самый простой прием гашения вибрации — увеличение подачи на оборот. Возникновению вибрации способствует также очень острая кромка инструмента; при ее затуплении вибрации могут самопроизвольно прекратиться. Надежно гасит вибрации специальная фаска на режущей кромке, притупляющая лезвие. Эту фаску шириной около 0,1 мм выполняют на передней поверхности режущей части инструмента под углом $\alpha_1 = -15°$. Фаску можно нарезать с помощью алмазного надфиля или абразивного бруска, не снимая инструмент со станка.

При токарной обработке и сверлении существенным показателем правильно выбранных режимов резания является характер схода стружки. Сливная стружка представляет угрозу для целостности режущего инструмента, так как не удаляется самостоятельно из зоны резания. При сливной стружке затруднено многостаночное обслуживание, нарушаются безопасные условия работы, так как оператор вынужден прерывать автоматический цикл и вручную удалять стружку непосредственно из зоны резания при вращающемся шпинделе станка. Удовлетворительной считается форма стружки, которая не удерживается на инструменте, не опутывает деталь и инструмент, не пакетируется в отверстии и не повреждает режущих кромок. Наилучшей по всем показателям считают дробленую стружку.

Решать проблему стружкодробления можно тремя путями:

1) изменениями движений рабочих органов;

2) приданием соответствующей формы передней поверхности режущей части инструмента;

3) режимами резания.

Изменять характер движения при обработке на станке с ЧПУ достаточно сложно. Можно лишь периодически с помощью кнопки «Стоп подачи» прерывать цикл и тем самым разрывать стружку. Наибольший интерес представляет дробление стружки с помощью правильно осуществленной заточки передней поверхности инструмента. Устойчивое стружкодробление в большом диапазоне подач (0,12—1,0 мм/об) обеспечивают фаска на передней поверхности режущей кромки и одна-две стружкодробящие лунки, расположенные непосредственно за фаской. Если геометрия инструмента не отвечает описанной, дробление стружки может происходить только тогда, когда произведение ширины стружки на ее толщину достигает некоторого критического значения. Поэтому дробления стружки можно добиться увеличением подачи.

В процессе проверки УП в ряде случаев выполняют прорисовку контуров (особенно сложных криволинейных) на планшете, который закрепляют на столе станка вместо приспособления. Для прорисовки применяют специальное устройство (КД № 84-243-40), состоящее из цилиндра, поршня, хвостовика, крышки, пружины и пишущего узла с цангой и закрепляемое хвостовиком в цанговом патроне шпинделя станка. Устройство может быть использовано на фрезерных станках с ЧПУ всех систем и многоцелевых станках.

В особо сложных случаях (при наличии у станков УЧПУ класса CNC) возможен вывод траекторий при проверках УП на экран графического дисплея или малогабаритный графопостроитель. Особенно это удобно для станков с УЧПУ класса DNC, поскольку программа для управления станком может одновременно подаваться от центральной ЭВМ на станок и на любое контрольное устройство.

13.8. ПРОБНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛИ. КОРРЕКТИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ

Схема пробной обработки. Наладку станка завершают пробной обработкой первой детали партии. Этим как бы подводят итог правильности выполнения всех предшествующих этапов наладки: ознакомления с картой наладки и текстом УП; проверки программоносителя; подготовки, наладки и установки на стан-

ке наборов режущих и вспомогательных инструментов; подготовки крепежного приспособления, базирования и закрепления заготовки; установки рабочих органов в нуль программы; подготовки контрольно-измерительных инструментов.

Возможна следующая общая схема подготовительных работ.

1. Проверить правильность набора на декадных переключателях смещения нуля и коррекции (положения рабочих органов, длины и радиуса инструментов).

2. Включить станок и при необходимости отдельные системы (смазочные, гидравлические).

3. Прогреть гидравлическую систему, а для выполнения точных работ — шпиндельную бабку (в течение 15—20 мин).

4. Переключить управление на режим ручной работы, вывести рабочие органы из нуля станка на 100—150 мм по каждой координате.

5. Вернуть рабочие органы в нуль станка.

6. Отпустить кнопку-клавишу «Исключаемые кадры».

7. Переключить управление на режим автоматической работы.

8. Закрыть кожухи ограждения, наблюдать за дальнейшей работой через прозрачные смотровые экраны.

9. Осуществить пуск автоматического цикла.

10. После обработки первых поверхностей нажать на кнопку «Стоп» и прервать автоматический цикл.

11. Переключить управление на ручной режим работы.

12. Отвести режущий инструмент от заготовки на несколько миллиметров, используя переключатель дискретных перемещений.

13. Произвести измерения, убедиться в правильности выполнения размеров и достижении требуемой шероховатости поверхности.

14. Восстановить взаимное расположение режущего инструмента и заготовки.

15. Переключить управление на автоматический режим.

16. Продолжить обработку в автоматическом режиме до завершения цикла.

17. Осмотреть обработанную деталь, произвести необходимые измерения.

18. Набрать на корректорах необходимые поправки, корректирующие возникшие погрешности.

19. Повторить обработку в автоматическом режиме.

Такая схема рекомендуется для пробной обработки детали с циклом обработки в несколько минут. При бо́льших затратах времени следует прерывать автоматический цикл после обработки каждой из поверхностей, производить контроль, при необходимости вводить коррекцию и повторно обрабатывать данную поверхность.

Корректирование УП. Ход выполнения операции и результаты обработки позволяют сделать вывод о необходимости корректирования УП, поскольку в процессе ее проверки может возникнуть необходимость в изменении некоторых элементов технологического процесса: порядка выполнения переходов, базирования и закрепления заготовки, вида режущих инструментов, режимов резания и др. В соответствии с полученными данными технолог-программист корректирует УП. Обычно это заканчивается изготовлением новой перфоленты. Затем УП проверяют повторно. И если вновь обнаружатся какие-то сбои, опять следуют корректировка и изготовление новой перфоленты, и так до тех пор, пока УП не будет отлажена. На станках, оснащенных УЧПУ третьего поколения и др., имеется возможность редактировать текст УП непосредственно на рабочем месте. Это в значительной мере упрощается и ускоряет процесс ее отладки.

Кратко рассмотрим некоторые наладочные режимы при корректировании УП на станках с УЧПУ класса CNC. Панель одного из таких УЧПУ показана на рис. 13.25. УЧПУ позволяет вводить программы ручным способом, с кассеты, а также с перфолент (с переносного устройства ввода), с телетайпа или по каналу связи от внешней ЭВМ. В общей памяти УЧПУ может одновременно храниться до 99 программ,

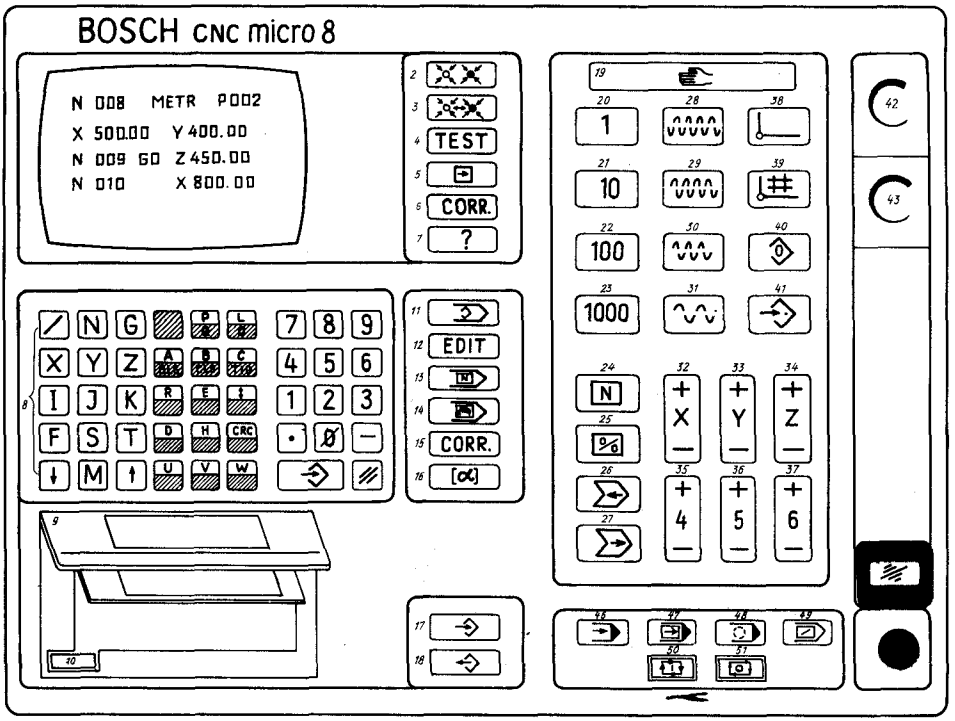


Рис. 13.25. Панель УЧПУ класса CNC:

1 — экран дисплея; *Выбор индикаций на дисплее: 2* — заданное/фактическое значение; *3* — заданное значение расстояния; *4* — заданное значение выбега; *5* — кадры; *6* — таблицы коррекций; *7* — состояние; *8* — алфавитно-цифровая клавиатура; *Элементы кассетного магнитофона: 9* — крышка; *10* — кнопка для открывания; *Клавиши программирования: 11* — программная память; *12* — редактирование (EDIT); *13* — поиск кадра; *14* — ручной ввод (MDI); *15* — коррекция на инструмент; *16* — ввод текста; *17* — загрузка программы; *18* — выдача программы; *19* — наладочный режим; *Выбор инкрементов: 20* — 1 инкремент; *21* — 10 инкрементов; *22* — 100 инкрементов; *23* — 1000 инкрементов; *Функции наладки устройства ввода: 24* — перемотка ленты вперед/назад до следующего знака конца записи; *25* — перемотка ленты вперед/назад до следующего знака начала программы; *26* — пробег носителя данных назад в режиме поиска; *27* — пробег носителя данных вперед в режиме поиска; *Выбор скорости ручной подачи: 28* — медленная; *29* — средняя; *30* — быстрая; *31* — ускоренный ход; *Выбор направления перемещения: 32* — +/— по оси *X*; *33* — +/— по оси *Y*; *34* — +/— по оси *Z*; *35* — +/— по 4-й оси; *36* — +/— по 5-й оси; *37* — +/— по 6-й оси; *Подрежимы; 38* — подход к точке отсчета; *39* — подход к сеточной точке; *40* — сброс на нуль; *41* — программирование обучением; *Потенциометры: 42* — потенциометр шпинделя; *43* — потенциометр подачи; *Клавиши управления: 44* — исходное положение; *45* — аварийный останов; *46* — автоматический режим; *47* — режим отдельного кадра; *48* — произвольный останов вкл./выкл.; *49* — пропуск кадра вкл./выкл.; *50* — запуск цикла; *51* — останов подачи; *Специальные клавиши (программы, составляемые пользователем): 52* — переключатель на символы нижней половины клавиш; CPC — вызов программы пользователя через клавиатуру; $\frac{B}{CLS}$ — вызов подпрограммы через клавиатуру; $\frac{A}{BLS}$ — поиск кадра без номера кадра; $\frac{C}{T1D}$ — ввод номеров программ пользователя для обозначения программ; ⌇ — ввод коэффициента повторения и выбор параметров при вызове подпрограмм без диалога через клавиатуру; ↓ ↑ — шаговое перемещение (обратное — прямое) записанной программы

обычно индексированных номерами с адресом P, например P1, P2, P12, P35.

I. Обслуживание после включения. Если УЧПУ было отключено, а также если вводится новая программа, надо выполнить следующие операции (см. рис. 13.25);

1) нажать два раза на клавишу *44* (выбор исходного положения);

2) нажать на клавишу *38* (выбор режима «точка отсчета»);

3) выбрать оси, которые должны достигнуть точки отсчета (нажать на соответствующие клавиши *32—37*).

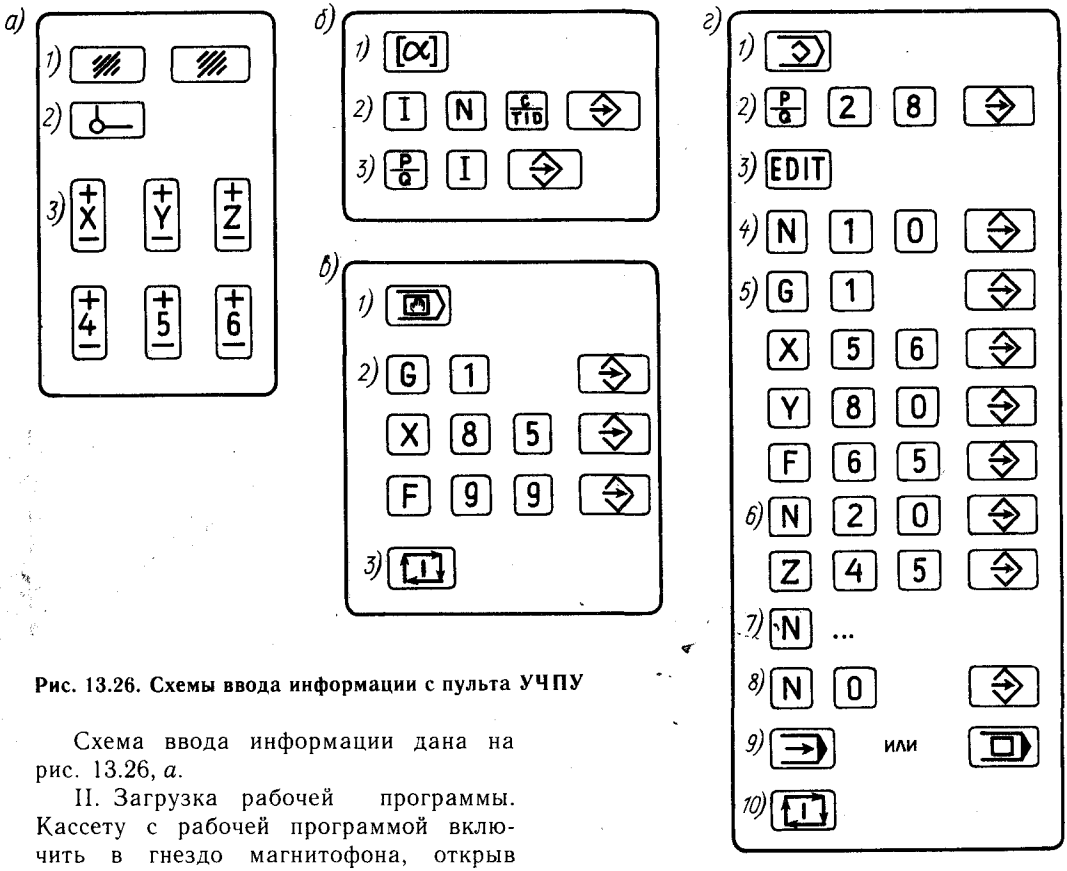


Рис. 13.26. Схемы ввода информации с пульта УЧПУ

Схема ввода информации дана на рис. 13.26, *а*.

II. Загрузка рабочей программы. Кассету с рабочей программой включить в гнездо магнитофона, открыв крышку *9* с помощью кнопки *10* (см. рис. 13.25). Далее на пульте необходимо выполнить следующее:

1) переключить УЧПУ на ввод текста (клавиша *16*);

2) указать источник ввода программы (IN CAS), нажав последовательно на кнопки I и N (группа *8*), кнопку C и кнопку загрузки программы *17*.

3) ввести рабочую программу последовательным нажатием на кнопки P и др.

Схема ввода информации дана на рис. 13.26, *б*.

III. Ручной ввод одиночного кадра и его отработка. Последовательность операций (рис. 13.26, *в*):

1) указывают режим «ручной ввод одиночного кадра» (клавиша *14*);

2) отдельными словами с помощью алфавитно-цифровой клавиатуры *8* вводят кадр УП, например G1 X85, F99;

3) нажатием на клавишу *50* (запуск цикла) включается отработка кадра на станке.

Далее можно ввести следующий кадр и так же его отработать.

IV. Ручной ввод программы обработки детали. С пульта УЧПУ можно полностью ввести рабочую программу обработки детали. Являясь программой пользователя, она должна иметь определенный номер, под которым и хранится в УЧПУ. Порядок ручного ввода программы следующий (рис. 13.26, *г*):

1) указывают режим «программная память»;

2) указывают номер программы, например P28;

3) вводят режим «редактирование»;

4) вводят номер первого кадра, например N10;

5) вводят информацию первого кадра, например G1 X56 Y80 F65;

6) вводят второй кадр, например N20 Z45;

7) вводят третий кадр и т. д.;

8) указывают первый (исходный)

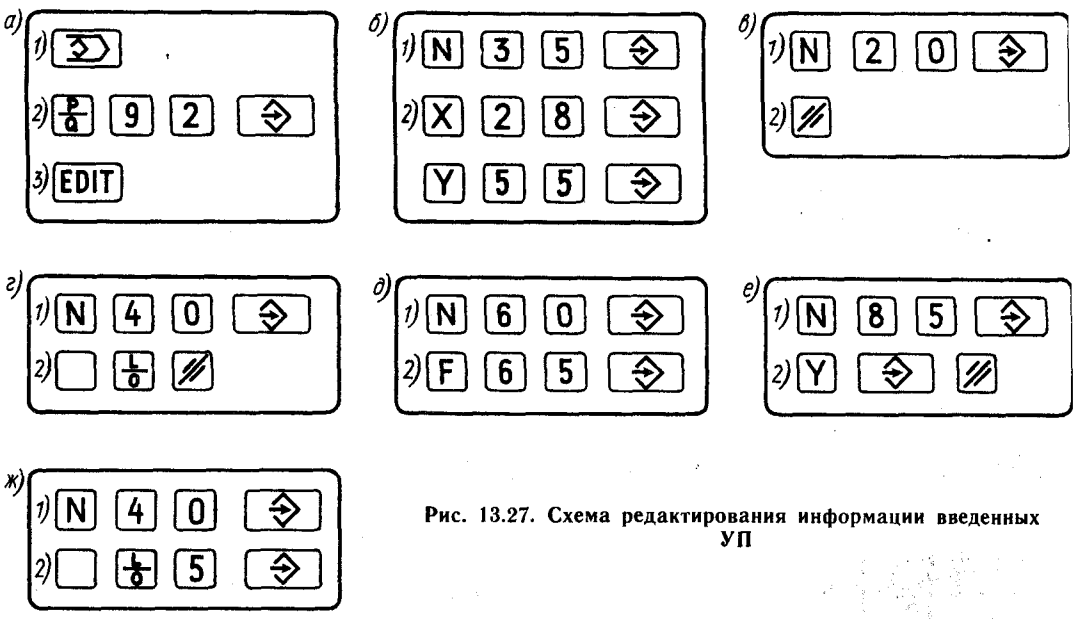


Рис. 13.27. Схема редактирования информации введенных УП

кадр N0 — начало программы, поскольку в конце ввода программы необходимо возвратиться к ее началу;

9) устанавливают режим отработки программы: автоматический или покадровый;

10) запускают введенную программу на обработку детали.

В процессе ввода программы можно ее редактировать, устранять ошибочно введенную информацию, удалять или заменять кадры, слова, отдельные символы или числовые значения.

Процесс редактирования введенных в УЧПУ программ выполняется после введения режима редактирования. Его вводят следующим образом (рис. 13.27, *а*):

1) указывают режим «программная память»;

2) указывают номер той программы обработки деталей, которую необходимо редактировать, например P92;

3) указывают режим «редактирование».

Целые (новые) кадры включают в программу в такой последовательности (рис. 13.27, *б*):

1) вводят номер кадра, например N35;

2) вводят информацию этого кадра, например X28 Y55.

Стирание целого кадра без номера кадра выполняют в следующем порядке (рис. 13.27, *в*):

1) вводят номер кадра, информацию которого надо удалить (например, N20);

2) дают команду на удаление информации; при этом слово «номер кадра» (N20) остается в памяти УЧПУ.

Удаление из программы целого кадра с номером (рис. 13.27, *г*):

1) вводят номер кадра, который необходимо удалить, например N40;

2) дают команду на полное удаление кадра из программы (вместе с номером). Нажатие клавиши без индекса (поз. *52* на рис. 13.25) вводит в действие нижний индекс следующей клавиши. В данном случае это индекс 0.

Замена или включение слова в кадр программы (рис. 13.27, *д*):

1) вводят номер кадра, где необходимо заменить или включить слово (например, N60).

2) вводят слово, которое дополняет информацию кадра или заменяет слово с тем же адресом. Например, введенное слово F65 заменит в кадре N60 слово F... (или дополнит кадр, если в нем не было информации с адресом F).

Стирание слова в кадре (рис. 13.27, *е*):

1) вводят номер кадра, где необхо-

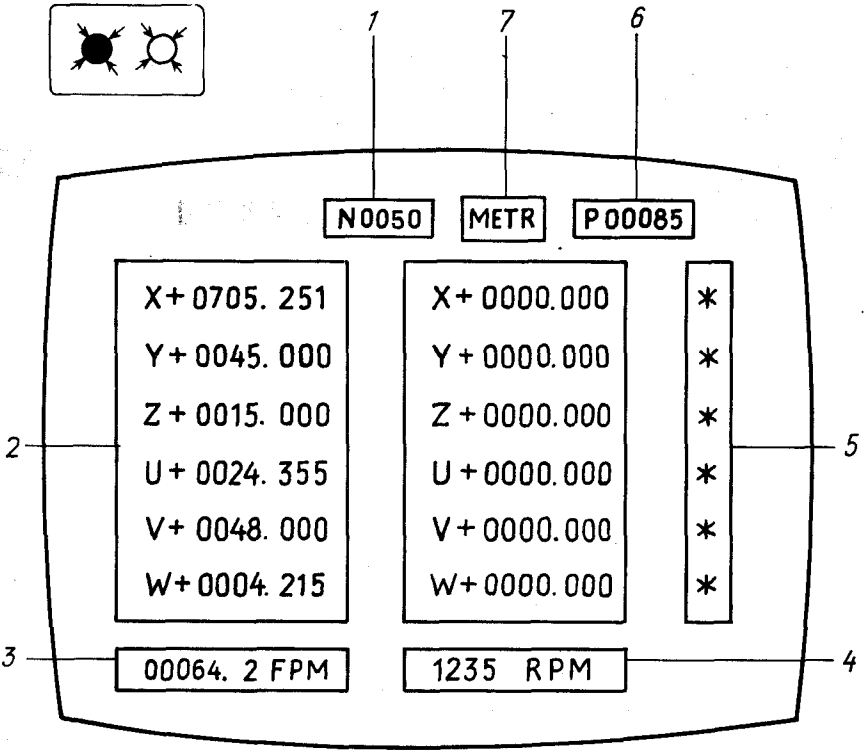


Рис. 13.28. Схема индикации информации на дисплее УЧПУ в рабочем режиме:
1 — активный номер кадра; *2* — заданное значение координат; *3* — активное значение подачи; *4* — активная частота вращения шпинделя; *5* — позиция достигнута; *6* — номер программы; *7* — индикация системы единиц или наличия ошибок

димо стереть слово, например N85;

2) вводят стираемое слово (вводится только адрес) и удаляют его (например, из кадра N85 удаляется информация Y54).

Замена номера кадра (рис. 13.27, *ж*):

1) вводят номер кадра, который заменяется, например N40;

2) вводят новый номер кадра, например N5, который заменит номер N40.

После завершения всего процесса редактирования необходимо ввести информацию N0 (начало программы), чтобы вернуться к началу данной программы.

При работе с УЧПУ возможны и другие режимы. Практически во всех режимах работы для индикации информации используют дисплей. Используют его и для индикации текущей информации. Например, включение индикации заданного и фактического значений координат (клавиша *2* на рис. 13.25) обеспечивает покадровую индикацию большого числа параметров, включая действительные значения подачи и частоты вращения шпинделя, заданное и текущее значения координат и т. д. (рис. 13.28).

Пример. *Отладка УП для УЧПУ модели 2У32.* На пульте управления УЧПУ модели 2У32 (рис. 13.29) слева сверху в два ряда размещены лампы цифровой индикации *1*, справа сверху — лампы *2*, сигнализирующие об отказах и о выполнении различных режимов работы станка. Под лампами цифровой индикации расположены кнопки ввода цифр *3*, букв *4* и символов *5*. Под сигнальными лампами размещен набор кнопок-клавиш *8* с подсветкой, с помощью которых управляют станком и редактируют управляющие программы, а также кнопки «Пуск» *7* и «Стоп» *6*.

В режиме автоматической работы в каждом из двух рядов цифровой индикации *1* по выбору можно высветить команды с различными адресами. В режиме редактирования в верхнем ряду высвечивается то, что есть в УП, в нижнем ряду — то, чем мы заменяем.

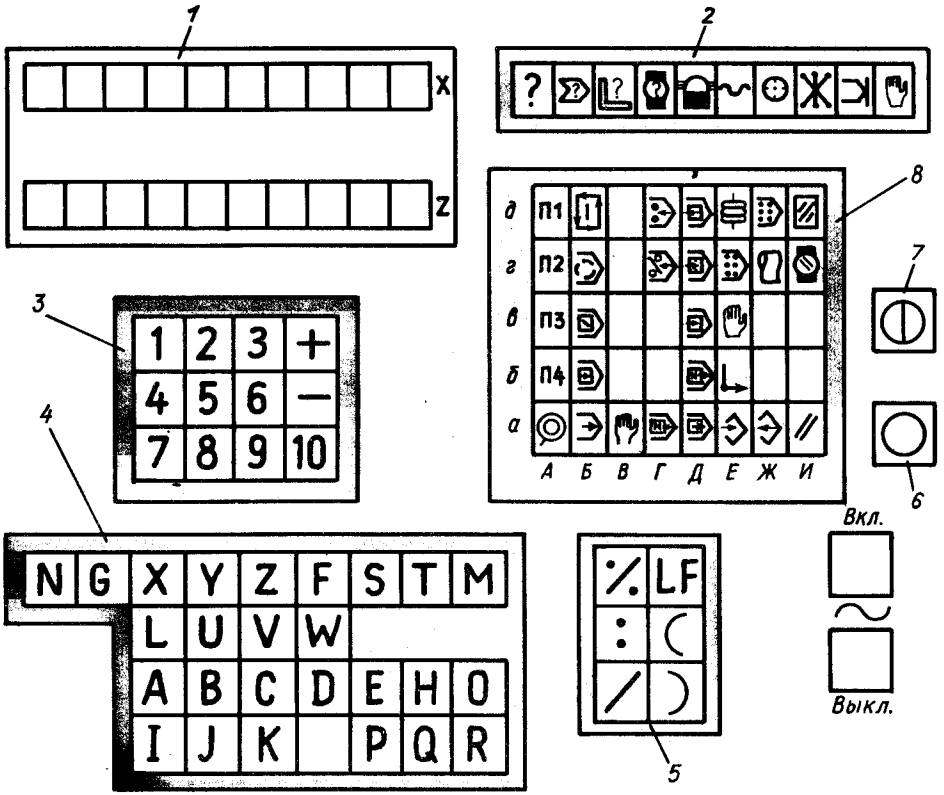


Рис. 13.29. Схема пульта УЧПУ модели 2У32

Четыре (слева-направо) сигнальные лампы *2* загораются при сбоях и ошибках в следующих устройствах и механизмах: УЧПУ, устройстве ввода УП, станке, приводах подач; пятая лампа — при перегреве УЧПУ. Пять следующих сигнальных ламп горят при нормальной отработке: идет подача; происходит выдержка времени; окончена отработка кадра (при полуавтоматическом режиме); окончена отработка программы; работа происходит в ручном режиме.

Набор кнопок-клавиш *8* образует пять горизонтальных рядов, обозначенных для удобства дальнейшего пояснения буквами *а—д*, и восемь вертикальных столбцов, обозначенных буквами *А—И*. Важнейшим является нижний ряд *а*, нажатием на кнопку-клавишу которого выбирают один из следующих режимов работы: диагностика (*Аа*), автоматическая работа (*Бб*), ручная работа (*Ва*), поиск кадра (*Га*), редактирование (*Да*), ввод в память (*Еа*), вывод из памяти (*Жа*), сброс (*Иа*). Одновременно может быть нажата только одна из кнопок нижнего ряда, т. е. работа может происходить только в одном режиме. Верхние кнопки работают только при нажатой нижней кнопке данного вертикального столбца, ими уточняют выбранный режим.

После нажатия кнопки *Аа* (диагностика) можно поочередно опросить различные участки *П1—П4* электронной системы станка.

Режим автоматической работы (столбец *Б*) имеет дополнительные подрежимы: полуавтомат (кнопка Бб), исключаемые кадры (*Бв*), технологический останов (*Бг*), бесконечный цикл (*Бд*).

Кнопкой *Га* (поиск кадра) можно вызвать набранный кнопками ввода кадр, кнопкой *Гг* — начало программы, кнопкой *Гд* — очередной главный кадр.

Столбец *Д* содержит кнопки, с помощью которых осуществляется редактирование (см. ниже).

Кнопка *Еа* задает режим ввода в память. Кнопка *Еб* позволяет ввести любую численную величину в заданные управляющей программой корректоры положения инструментов. Нажатием на кнопку *Ев* включается режим ручного ввода. При нажатии кнопки *Ег* в память УЧПУ записывается информация с перфоленты, при нажатии кнопки *Ед* запись идет с электронно-вычислительной машины (при управлении станком от единой ЭВМ).

Столбец *Ж* служит для задания режима вывода из памяти. В этом режиме можно получить отредактированную программу на перфоленте, подключив перфоратор при утоп-

ленной кнопке *Жд*, отпечатать текст УП, подключив пишущую машинку при утопленной кнопке *Жг*.

Последний правый столбец *И* служит для приведения устройства в исходное состояние и имеет кнопки *Иг* (сброс приводов) и *Ид* (сброс памяти). Кнопки-клавиши набора *И* только задают режимы и подрежимы, а само выполнение команд осуществляется после нажатия кнопки *7* «Пуск».

Рассмотрим подробнее процесс редактирования УП (режим столбца *Д*). Кнопкой *Дб* можно вызванный из памяти и высвеченный в верхнем ряду цифровой индикации текст УП вернуть на одно слово назад к началу программы. Верхняя кнопка *Дд* означает «исключить», следующая кнопка *Дг* — «заменить», кнопка *Дв* — «включить».

Например, кадр N047 программы имеет следующий вид:

N047 G01X+004730M08 F10152.

Пусть программист пришел к выводу, что надо изменить перемещение по адресу X, убрать команду на включение охлаждения M08, дополнить кадр командой на смену частоты вращения шпинделя S042. Тогда кадр должен иметь вид

N047 G01X+004743 S042 F10152.

Редактирование надо выполнять по следующей схеме:

1) нажать на кнопку-клавишу *Га*;

2) набрать кнопками ввода *3* и *4* команду N047; в нижнем ряду цифровой индикации *1* высвечивается N047;

3) нажать на кнопку *7* «Пуск»; в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается N047;

4) нажать на кнопку *Да* (редактирование); подсветка кнопки *Га* гаснет;

5) нажать на кнопку *7*; в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается следующее слово кадра G01;

6) нажать на кнопку *7*, в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается следующее слово X+004730;

7) нажать на кнопку *Дг* («заменить»);

8) набрать кнопками ввода *3* и *4* команду X+004743; в нижнем ряду цифровой индикации высвечивается X+004743;

9) нажать на кнопку *7*; в верхнем ряду цифровой индикации слово X+004730 заменяется словом X+004743; изменение в программе команды по адресу X произведено;

10) повторным нажатием выключить кнопку-клавишу *Дг* («заменить»); подсветка клавиши гаснет;

11) нажать на кнопку *7*; в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается слово M08;

12) нажать на кнопку-клавишу *Дд* («исключить»);

13) нажать на кнопку *7*; команда M08 исчезает на цифровой индикации и стирается в памяти программы; в верхнем ряду цифровой индикации высвечивается F10152;

14) нажать на кнопку-клавишу *Дб* («возврат на одно слово»);

15) нажать на кнопку *7*; в верхнем ряду цифровой индикации загорается X+ +004743;

16) погасить кнопку-клавишу *Дб* повторным нажатием;

17) нажать на кнопку-клавишу *Дв* («включить»);

18) набрать кнопками ввода *3* и *4* команду S042; команда высвечивается в нижнем ряду цифровой индикации;

19) нажать на кнопку *7*; команда S042 высвечивается в верхнем ряду цифровой индикации и вводится в память программы;

20) нажать на кнопку-клавишу *Дб* и, последовательно нажимая на кнопку *7*, вернуть текст УП до N047;

21) погасить кнопку-клавишу *Дб* повторным нажатием;

22) последовательно нажимая на кнопку *7*, просмотреть в верхнем ряду цифровой индикации все слова исправленного кадра N047 G01X+004743 S042 F10152.

Переходами 1—3 был вызван из памяти 47-й кадр УП, переходами 6—9 произведена замена команды по адресу X, переходы 11—13 обеспечили исключение команды M08, переходами 17—19 программа дополнена командой S042, переходы 20—22 направлены на проверку правильности выполнения редактирования.

В большинстве УЧПУ класса CNC отредактированная программа может быть выведена на перфоратор или на распечатку.

Еще большие возможности при редактировании имеют УЧПУ класса CNC, имеющие канал связи с центральной ЭВМ или встроенную ЭВМ с увеличенными возможностями. Пульт таких УЧПУ обычно имеет алфавитно-цифровой дисплей. Наличие в памяти ЭВМ специальных подпрограмм, организующих процесс редактирования УП, позволяет ввести этот процесс с пульта УЧПУ станка в разных режимах, в том числе и в режиме диалога с ЭВМ. На экране дисплея могут быть высвечены любые участки редактируемого текста УП и с помощью управляемого курсора-указателя, подводимого к редактируемому символу или группе символов, с клавиатуры дисплея могут быть внесены намеченные корректировки. При необходимости из памяти ЭВМ на экран дисплея могут быть вызваны стандартные циклы, в которые тут же можно внести изменения. Для вызова стандартного технологического цикла достаточно задать его код и параметры. Можно выз-

вать на экран дисплея ранее заполненные строки и группы строк УП, указывая лишь их номер по порядку, и т. д. При этом система ЭВМ обеспечивает формирование новой (отредактированной) программы (например, происходят автоматическое перенумерование кадров с любого заданного, перестановка кадров в необходимой последовательности, введение нового кадра за кадром с указанным номером и др.), непрерывно осуществляется ее контроль. Если вдруг в процессе редактирования произошла какая-то ошибка (например, превышен ход по какой-то координате), эта ошибка тут же будет указана соответствующим кодом на экране дисплея, а в определенных случаях будет предложен вариант ее исправления (указан, например, новый порядок ввода, высвечено предельно возможное для данного станка значение перемещения и др.).

ГЛАВА 14
ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ

14.1. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ РАБОТ ПО ОСВОЕНИЮ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СТАНКОВ С ЧПУ

Практика применения станков с ЧПУ на отечественных заводах и за рубежом показала, что внедрение станков, техническая подготовка производства и эксплуатация производственных участков наиболее эффективны при наличии на предприятиях специальных технологических служб, структура которых позволяет оперативно решать все возникшие задачи. Такая служба, как правило, является заводской и представляет собой технологический отдел программного управления ПУ. Анализ проблем, связанных с внедрением и эксплуатацией станков с ЧПУ, позволяет сформулировать основные этапы внедрения систем ПУ табл. 14.1:

технологическая проработка чертежа детали и подготовка производства;

расчет траектории движения инструмента;

запись программ обработки;

отладка программы и внедрение технологии обработки детали на станке с ПУ;

наладка и эксплуатация станков с ЧПУ.

В конкретных условиях производства функциональная схема может быть скорректирована.

Таблица 14.1. Последовательность работ по освоению и промышленной эксплуатации станков с ЧПУ

Этапы	Содержание работ
Исходная информация: чертеж детали, маршрутная технология	
1. Технологическая проработка чертежа детали и подготовка производства:	
1.1. Технологическая проработка чертежа	1. Технико-экономическое обоснование выбора детали 2. Выбор типа станка и схемы ориентации заготовки 3. Выбор последовательности обработки и числа операций 4. Выбор баз и типа оснастки 5. Расчет значений подачи по участкам
1.2. Подготовка технологической документации	6. РТК с траекторией движения режущего инструмента

Продолжение табл. 14.1

Этапы	Содержание работ
1.3. Подготовка конструкторской документации	7. Операционная технология для цеха 8. ТУ на проектирование режущего инструмента 9. ТУ на проектирование приспособлений 10. ТУ на проектирование контрольно-измерительной оснастки 11. Техническое задание на расчет управляющей программы 12. ТУ на поставку заготовки 13. ТУ на поставку детали 14. Рабочие чертежи (шифр) режущего инструмента 15. Рабочие чертежи приспособления 16. Рабочие чертежи контрольно-измерительной оснастки
2. Расчет траектории движения инструмента	17. Исходные данные для расчета 18. Расчет траектории (вручную или на ЭВМ)
3. Запись УП	19. Контроль счета 20. Контроль управляющей (промежуточной) информации
4. Внедрение технологии обработки заготовки на станке с программным управлением	21. Контроль УП на координатографе 22. Контроль УП на станке 23. Доводка приспособлений 24. Наладка станка. Изготовление пробной детали 25. Корректировка геометрии инструмента и параметров режима резания 26. Отработка процесса стружкообразования 27. Редактирование УП 28. Изготовление контрольной партии деталей 29. Хронометраж основного и вспомогательного времени 30. Составление акта о переводе обработки деталей на станок с ЧПУ
5. Наладка и эксплуатация станка	31. Запуск и отладка новых станков с ЧПУ 32. Наблюдение за ППР станков и пультов 33. Ремонтно-наладочные работы по СЧПУ 34. Контроль точности станков по графику 35. Восстановление пришедших в негодность УП 36. Сбор, учет и анализ данных по обработке на станках с ЧПУ

14.2. ПОДГОТОВКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ОПЕРАЦИИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ НА СТАНКАХ С ЧПУ

При проектировании документов на операции, выполняемые на станках с ЧПУ, следует применять в соответствии с ГОСТ 3.1404—86 следующие виды документов:

карту технологического процесса (КТП) — формы 1 и 1а;

операционную карту (ОК) — формы 2, 3 и 2а;

карту наладки инструмента (КН/П) — формы 4 и 4а;

карту кодирования информации (ККИ) — формы 5 и 5а.

По усмотрению разработчика допускается применять следующие вспомогательные документы:

карту заказа на разработку управляющей программы (КЗ/П) — формы 6 и 6а;

ведомость обрабатываемых деталей (ВОД) — формы 7 и 7а.

Карту технологического процесса (КТП) применяют для операционного описания при разработке единичных, типовых и групповых технологических процессов.

Пример оформления КТП приведен на рис. 14.1.

ГОСТ. 3.1404 – 86 Форма 1

| | | |

Операционную карту (ОК) применяют для описания единичных технологических операций (типовых и групповых). Ее составляют по результатам проектирования технологической операции. В этом первичном документе приводят операционный эскиз; указывают все переходы операции, используемый станок, шифр приспособления и инструмента; отмечают координаты исходных точек траектории движения инструмента и время обработки.

Операционная карта является основным документом, по которому определяют требуемые материалы, оснастку, рабочую силу, решают вопросы организации и планирования производства.

На основании операционных карт обработки детали на станках с ЧПУ и на обычных станках с ручным управлением окончательно формируют технологический маршрут с включением в него специальных операций термообработки и покрытия (см. гл. 5 и 6). Предварительную работу по проектированию схемы маршрута выполняют на начальной стадии разработки технологического процесса. На заключительном этапе, когда определены условия выполнения операции и переходов, рассчитывают основное и штучное время, окончательно упорядочивают состав каждой операции и их рациональную последовательность в маршруте. При необходимости вносят коррективы в операционную технологию, после чего оформляют всю остальную технологическую документацию. Пример оформления ОК для станка с ЧПУ приведен на рис. 14.2.

Карту наладки инструмента (КН/П) применяют для указания полного состава вспомогательного и режущего инструмента в технологической последовательности его применения совместно с документом, содержащим описание операции (ОК, МК, КТП). КН/П используют при наладке инструмента вне станка и установке его на станке в соответствии с выбранной наладкой.

В карту записывают координаты вершин всех инструментов наладки и показания прибора для их настройки вне станка. На рис. 14.3 приведен пример оформления КН/П совместно с картой эскизов (КЭ).

Карту кодирования информации (ККИ) применяют для кодирования информации при разработке управляющих программ совместно с ОК, МК, КТП и КЭ. Пример оформления ККИ ручным способом приведен на рис. 14.4, а распечатка ККИ при автоматизированном способе — на рис. 14.5.

Карту заказа на разработку управляющей программы (КЗ/П) применяют для указания исходных данных, необходимых при разработке УП для станка с ЧПУ. (рис. 14.6). На основании КЗ/П разрабатывают расчетно-технологическую карту (РТК), которая содержит полную информацию о всех решениях, принятых на этапах проектирования маршрутной и операционной технологии. Ее оформляют в определенной последовательности (см. гл. 5 и 6).

Ведомость обрабатываемых деталей (ВОД) применяют на станках с ЧПУ для указания исходных данных, необходимых для расчета загрузки одной единицы оборудования рис. 14.7.

Акт внедрения УП является заключительным документом, в котором отражаются результаты пробной обработки одной или нескольких заготовок на станке с ЧПУ по подготовленной УП. В акте отмечают соответствие обработанных поверхностей требованиям к их точности и шероховатости, рациональность режимов резания; приводят данные хронометража. Акт подписывают контролер ОТК, мастер участка станков с ЧПУ, технолог ОГТ и начальник БПУ. Если деталь ранее изготовлялась на станке с ручным управлением, то в акте обосновывают экономическую эффективность ее перевода на станок с ЧПУ, после чего акт служит основанием для изменения технологического процесса на предприятии. Акт оформляют в соответствии с рекомендациями ЕСТД Р 50-67—88.

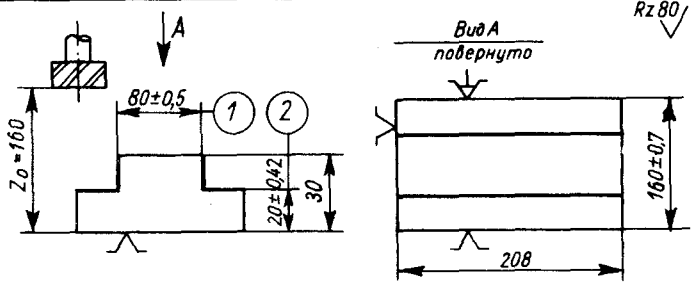
Комплектность и форма технологической документации, используемой при подготовке УП, могут меняться в зависимости от принятого на данном предприятии документооборота и метода программирования — ручного или с помощью ЭВМ.

ГОСТ 3.1404-86 Форма 2

Дубл.			
Взам.			
Подп.			

							2	1

Разраб.			10.12.89	НПО	АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	ХХХХХХ. ХХХХХХХХ	К. ХХХХХ. ХХХХХ
Нормир.			11.12.89				
Н. контр.			12.12.89	Плита			02 05 – 010



Наименование операции	Материал
Фрезерная	30ХГСА

Твердость	ЕВ	МД	Профиль, разм. заготов.	МЗ	КОИД
	кг	2,650	Лист 208×160×30	3,150	1

Оборудование, устройство ЧПУ	Обозначение программы
6Т12К-1; Н22-1М	ХХХХХ. ХХХХХ

T_o	$T_в$	$T_{пз}$	$T_{шт}$	Сож
5,04	2,38	3,15	8,27	Эмульсия

Р		ПИ	D или В	L	t	i	S	n	v
О Ф1	1. Фрезеровать полки по всей длине, выдерживая размеры 1 и 2							1,52	3,4
Т Ф2	АБВГ. ХХХХХ. ХХХ тиски; АБВГ. ХХХХХ. ХХХ втулка; АБВГ. ХХХХХ. ХХХ фреза ВК8								
Ф3	АБВГ. ХХХХХ. ХХХ шаблон; БВГ. ХХХХХ ХХХ контрольное приспособление								
Р Ф4		021	40			21			
Ф9									
10									
ОК									

Рис. 14.2. Оформление ОК на технологическую операцию, выполняемую на станке с ЧПУ

а)

ГОСТ 3.1404-86 Форма 4

Дубл.												
Взам.												
Подп.												
											2	1
Разраб.			10.12.89	НПО	АБВГ XXXXXX.XXX					6214233.00045		
Утв.												
Н.контр.			11.12.89	Стакан						05 01 —		015

У	Опер.	Обозначение программы, оборудования, устройства ЧПУ				
Т	Пер.	ПИ	Вспомогательный и режущий инструмент (код, наименование)	Наладочные размеры	Коректр. разм.	НК
У Ø1	—	15009	12003 управляющая программа; станок 16К30Ф3; устройство ЧПУ Н22-1М			
Т Ø2	1	1	АБВГ XXXXXX.XXX державка; АБВГ XXXXXX.XXX резец	$W_x = 127$; $W_z = 230$	$70_{-0.74}$	1Z
Ø3	2	2	АБВГ XXXXXX.XXX державка; АБВГ XXXXXX.XXX резец	$W_x = 145$; $W_z = 235$	$Ø425^{-0,19}_{-0,57}$	2X
Ø4					$42_{-0,46}$	2Z
Ø5	3	3	АБВГ XXXXXX.XXX державка; АБВГ XXXXXX.XXX резец	$W_x = 137$; $W_z = 235$	$Ø368 \pm 0,5$	3X
Ø6					$22,5_{-0,52}$	3Z
Ø7	4	4	АБВГ XXXXXX.XXX державка; АБВГ XXXXXX.XXX резец	$W_x = 125$; $W_z = 185$	$Ø370^{+0,38}$	4X
Ø8					$22_{-0,52}$	4Z
Ø9						
10						
11						
16						
КН/П						

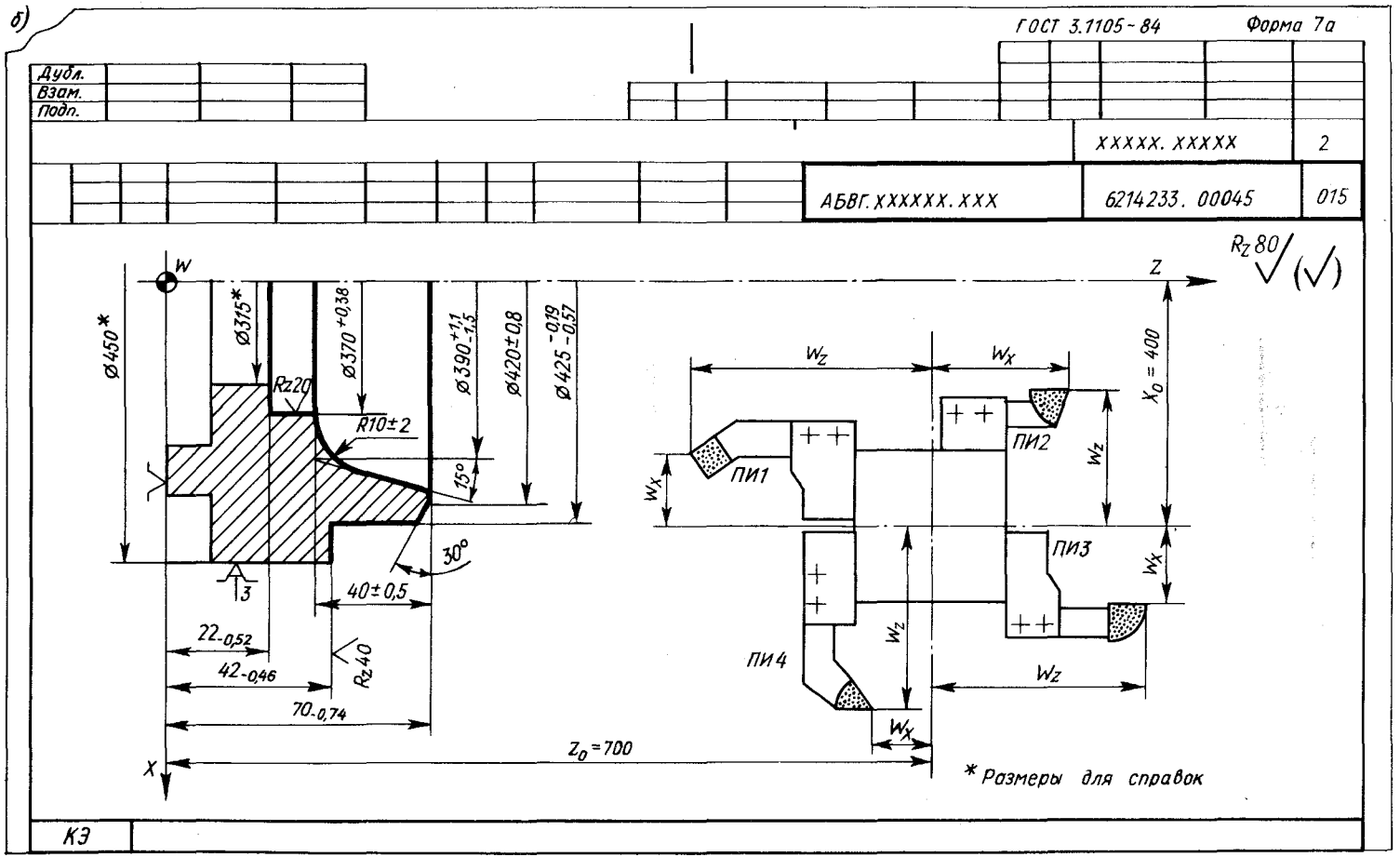


Рис. 14.3. Оформление КН/П для станков с ЧПУ совместно с картой эскизов: *а* **— карта наладки инструмента;** *б* **— карта эскизов**

ГОСТ 3.1404-86 Форма 5

		1	1
НПО	АБВГ XXXXXX. XXX		XXXXX. XXXXX
Корпус редуктора		25 01 —	005

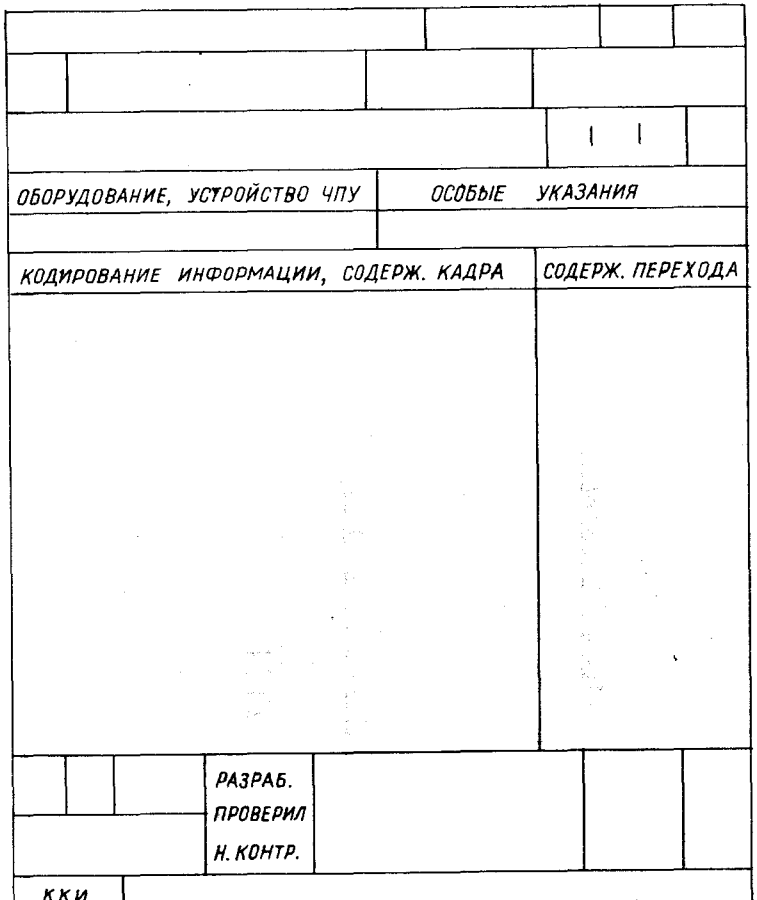
Оборудование, устройство ЧПУ	Особые указания
Токарный 1К20Ф3С5, Н22-1М	

Кодирование информации, содержание кадра	Содержание перехода
N001 G27 S029 M114T 101 F10600	
N002 G58	
N003+G00 G00Z+0000	
N004 G26	
N005 G10X 0080 L31	
N006 G11 F70000 X-7600	
N007 F10200 X-1060	
N008 F10180 X+0640 Z-0320	
N009 F10240 Z-0630	
N000 F10040 X-0200	
N011 Z-0150	
N012 F10180 X+0460	
N013 X+9000 Z-0150	
N014 F10250 Z-1850	
N015 F10050 X-0140	
N016 Z-0200	
N017 F10180 X+0600 Z-0300	
N018 F70000 Z-3300	
N019 F10050 X-0300	
N020 Z-0200	
N021 F10180 X+0280 Z-0140	
N022 F10240 Z-1360	
N023 X10080	
N024 Z-1760	
N025 X+0260	

						Разраб.			25.06.89
						Н. контр.			25.06.89
ККИ									

Дубл. Взам. Подл.

Рис. 14.4. Оформление ККИ, применяемой при ручном способе заполнения



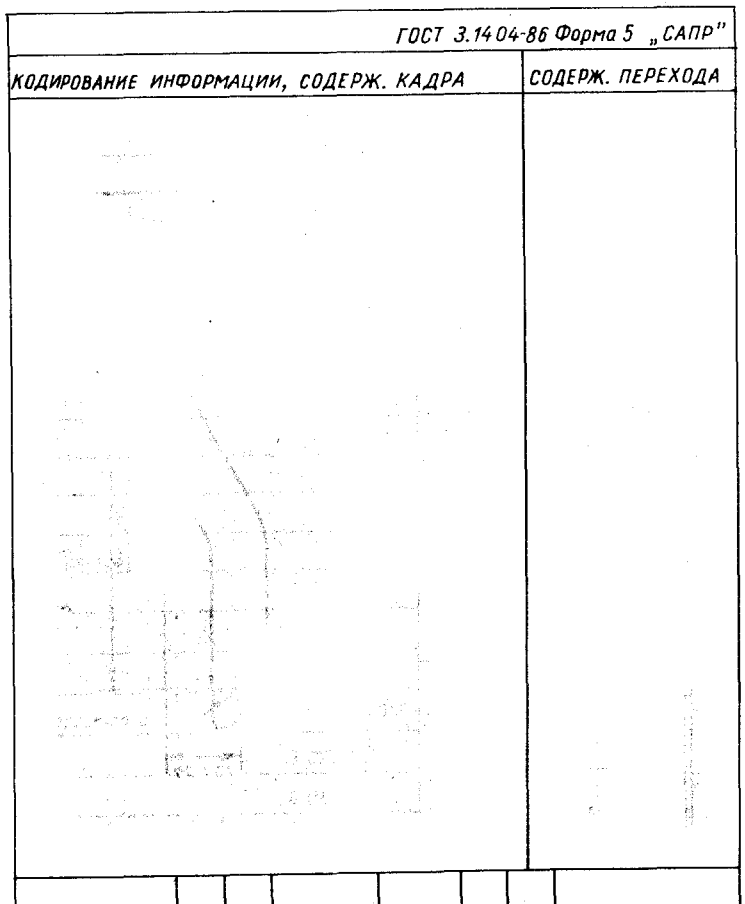


Рис. 14.5. Форма (распечатка) ККИ, полученная с АЦПУ ЭВМ

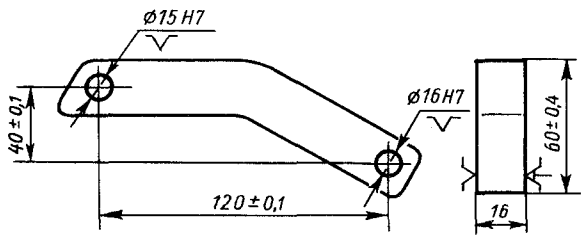
ГОСТ 3.1404 – 86 Форма 6

			1	1
НПО	АБВГ. XXXXXX. XXX		КЗ/П 00141	
Рычаг			01	

Наименование операции	Оборудование, устройство ЧПУ
Фрезерная	6Н12Ф-3; Н33-1М Верт. фрезерный станок

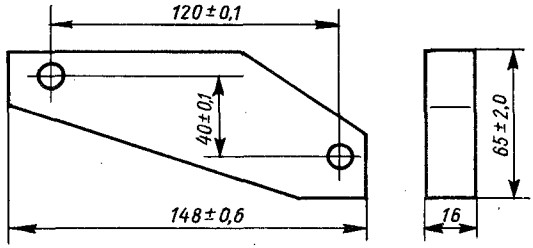
Дата РП	Дата ВП	Кол. дет. в партии	Кол. запусков в год	Тираж программы
15.06.89	26.06.89	450	4	4

Эскиз детали



Выполнение остальных размеров по чертежу

Эскиз заготовки



Крепление заготовки осуществлять в приспособлении АБВГ. XXXXXX. XXX

					Разраб.			16.06.89
					Соглас.			27.06.89

Дубл. Взам. Подп.

КЗП

Рис. 14.6. Оформление КЗ/П на разработку управляющей программы для станка с ЧПУ

ГОСТ 3.1404-86 Форма 7

Дубл.
Взам.
Подп.

Разраб.			20.12.89	НПО	АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	6906 ВМФ2	00015-82
				Горизонтально-расточный станок			16-06 143 4

№ п/п	Обозначение заказа / Обозначение КЗ	Обозначение детали / Обозначение УП	Наименование детали / Дата РП	Исполнитель	Подпись	Дата ВП	Опер	ОП	Тп.з	Тшт / Исполнитель / Подпись
1	14342. 44561	АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	Корпус коробки передач				005	400	1,15	6,45
	КЗ/П 00045	14115. 00017	13.06.89			25.06.89				
	КЗ/П 00046	14115. 00018	13.06.89			25.06.89				
2	14342. 44574	АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	Корпус редуктора				045	320	2,16	4,25
	КЗ/П 00049	14115. 00019	23.06.89			25.06.89				
		14115. 00020	24.06.89			26.06.89				
		14116. 00021	24.06.89			26.06.89				
3	14342. 44591	АБВГ. ХХХХХХ. ХХХ	Крышка редуктора				015	320	1,21	4,32
	КЗ/П 00051	14115. 00022	1.07.89			3.07.89				
		14115. 00023	2.07.89			4.07.89				

ВОД

Рис. 14.7. Оформление ВОД для станка с ЧПУ

14.3. РАБОТА НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Подготовка к работе

Документальная часть. Подготовка к работе на станке прежде всего заключается в знакомстве с технологической документацией, среди которой следует выделить: карту операционного эскиза, карту наладки, операционную технологию, текст программы (распечатку).

На карте эскизов, выполненной на бланках, приводят эскиз детали после выполнения данной запрограммированной операции. Размеры нумеруются цифрами. Эти цифры можно считать номерами зон обработки (рис. 14.8). Эти же номера могут быть указаны около инструментов на карте наладки для пояснения назначения того или иного инструмента. Например: отверстие меньшего диаметра — зона *1*, отверстие большего диаметра — зона *2*, наружный диаметр — зона *3*, торец — зона *4* и т. д. Если по картам предыдущих операций невозможно точно установить размеры заготовки, то на карте эскизов или ее продолжении изображают эскиз заготовки, поступающей на данную операцию. Эскиз заготовки приводят также в тех случаях, когда в цехах используют выбранную для станка с ЧПУ часть от полной технологической документации.

На таких же бланках оформлена карта наладки (рис. 14.9). Как видно из рисунка, в карте наладки показаны базирование заготовки, тип и размеры зажимных устройств и элементов, взаимное расположение заготовки и суппорта, находящегося в нуле программы, типы инструментальных блоков и режущих инструментов и их привязка к позициям суппорта, а также другие сведения, необходимые для наладки станка.

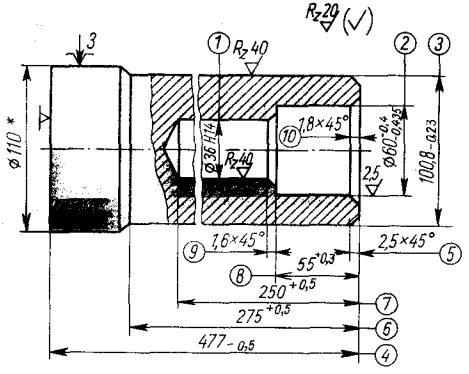


Рис. 14.8. Операционный эскиз для обработки детали на токарном станке с ЧПУ

В операционной карте механической обработки, прилагаемой к операционному эскизу, дан перечень переходов механической обработки с указанием вспомогательных, режущих и измерительных инструментов, режимов резания, затрат основного и вспомогательного времени, контролируемых размеров и параметров.

По тексту программы наладчик должен установить моменты включения и отмены того или иного корректора положения инструмента; наличие в программе исключаемых кадров, помеченных дробной чертой; наличие или отсутствие технологических остановов по команде М01 (останов с подтверждением), кадров с символом: (главные кадры), номеров кадров, с которых начинаются отдельные переходы.

Наладка станка с УЧПУ класса NC. Наладку станка в ручном режиме следует выполнять в определенной последовательности.

1. В соответствии с картой наладки подобрать инструмент, проверить отсутствие на нем повреждений, надежность крепления режущих пластин, правильность заточки и т. д.

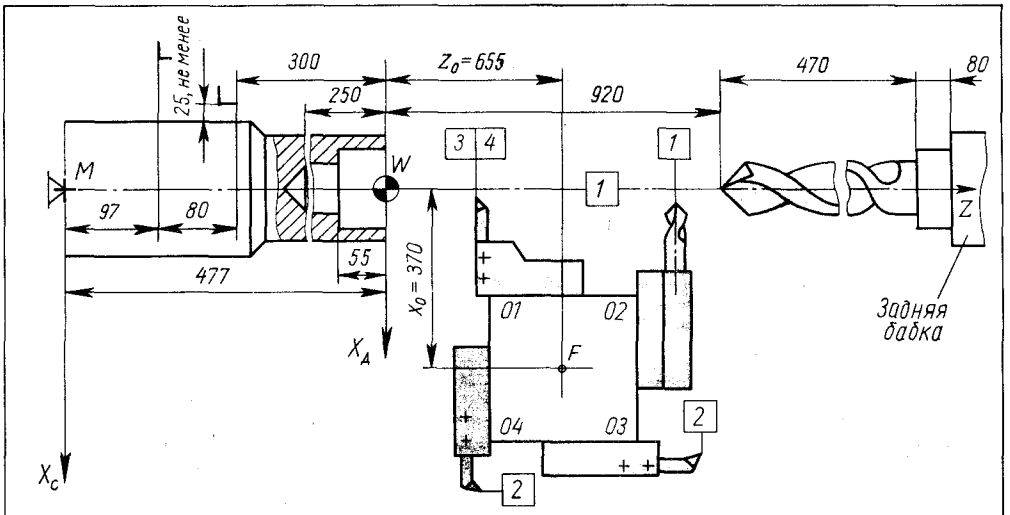
2. Наладить режущий инструмент на заданные картой наладки координатные размеры.

3. Установить налаженный инструмент в рабочие позиции суппорта (револьверной головки).

4. Установить предусмотренный картой наладки вид зажимного патрона и проверить надежность закрепления заготовки.

5. Установить переключатель режима работы пульта УЧПУ в положение ручной работы в режиме «от станка».

6. При отсутствии внешних повреждений у станка с пульта УЧПУ, препятствующих пуску станка, проверить работоспособность рабочих органов станка на холостом ходу и исправ-



№ позиции	01	02	03	04	Задняя бабка
Режущий инструмент	Резец 2102-0315 Т15К6 ГОСТ 21151-75	Сверло 20-3 ГОСТ 10903-64 Р6М5К5	Резец 2145-0555 Т15К6 ГОСТ 20874-75	Резец 2141-0042 Т15К6 ГОСТ 18883-73	Сверло 36-4 ГОСТ 10903-64 Р6М5К5
Вспомогательный инструмент	Резцовый блок 6725-4004	Центровой блок 6725-4001 Вт 6611-4006	Резцовый блок 6725-4001	Резцовый блок 6725-4001	Втулка 6611-4008
W_x	245	210	135	135	0
W_z	180	265	230	240	282

№ корректора	01	02	03	04	05	06	07	08	09
Корректируемый размер	$100{,}8^{-0{,}23}$	$60^{-0{,}4}_{-0{,}435}$	2,5×45°						

Рис. 14.9. Карта наладки на обработку детали на токарном станке с ЧПУ

ность сигнализации на пульте управления, а также работу ограничивающих кулачков.

7. Убедившись в чистоте лентопротяжного механизма, ввести перфоленту и проверить исправность выполнения (отсутствие сбоев) рабочей программы пультом и станком, а также безотказность индикации световой сигнализации.

8. Переместить суппорт в предусмотренное картой наладки нулевое положение, используя декадные переключатели «Сдвиг нуля».

9. Проверить отсутствие информации на корректорах-переключателях и набрать значения, обеспечивающие получение при обработке требуемых размеров деталей.

10. Закрепить заготовку в патроне.

11. Установить переключатель режима работы в положение автоматического режима «по программе» или «по фазам».

12. Обработать первую заготовку.

13. Измерить изготовленную деталь и рассчитать поправки, которые затем набрать на корректорах-переключателях.

14. Обработать заготовку повторно в режиме «по программе».

15. Измерить готовую деталь.

Этим наладка станка на изготовление партии деталей завершается.

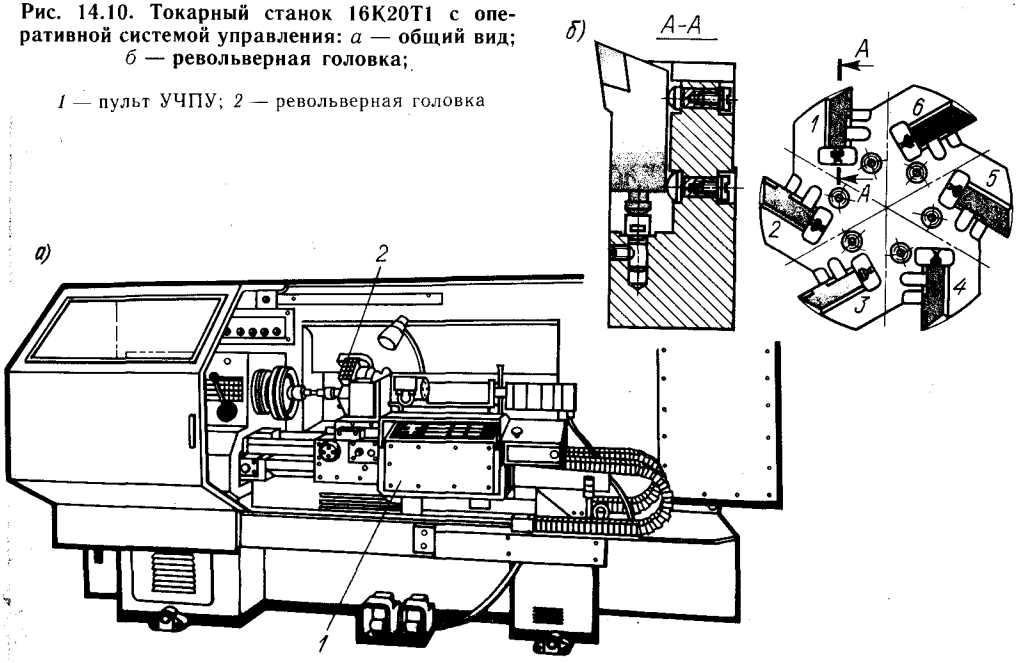


Рис. 14.10. Токарный станок 16К20Т1 с оперативной системой управления: *а* — общий вид; *б* — револьверная головка;

1 — пульт УЧПУ; *2* — револьверная головка

Перед тем как начать изготовление партии деталей в автоматическом режиме, надо установить переключатель режима работы на пульте УЧПУ в положение «Автомат», а затем обработать заготовки. В процессе обработки партии заготовок необходимо контролировать состояние инструмента и программы. Вводимая программа контролируется с помощью системы индикации, предусмотренной в УЧПУ.

Далее, пользуясь корректорами, поддерживают размеры изготовленных деталей в поле допуска.

Если при проверке работы пульта и станка на холостом ходу программа выполняется со сбоями или другими неполадками, оператор прекращает наладку станка, вызывает дежурного наладчика УЧПУ или слесаря и ставит в известность мастера участка.

Организация работы органов управления станками класса HNC

Токарные станки с оперативными системами управления (класса HNC) получили широкое распространение. Рассмотрим работу на них на примере станка с УЧПУ модели «Электроника НЦ-31» (рис. 14.10).

Основные технические данные УЧПУ: тип — контурное с программно-структурной организацией; система отсчета — в абсолютных размерах и в приращениях; интерполяция — линейная и круговая; задание размеров в продольном и поперечном направлениях — дискретное (0,01 мм на диаметр и 0,01 мм на длину); число запоминаемых кадров — 250.

Устройство обеспечивает ввод и редактирование УП с помощью клавиатуры на пульте оператора, а также возможность передачи программы в кассету внешней памяти (КВП) для хранения вне станка и последующего ввода ее в систему управления станком.

Устройство пульта УЧПУ. В рассматриваемом станке УЧПУ встроено в суппорт станка. Пульт состоит из трех цифровых индикаторов, трех наборов клавиш и сигнальных лампочек рис. 14.11.

Четырехразрядный цифровой индикатор *I* предназначен для индикации значений заданной подачи, трехразрядный *II* — для индикации номера параметра станка (в режиме ввода или контроля

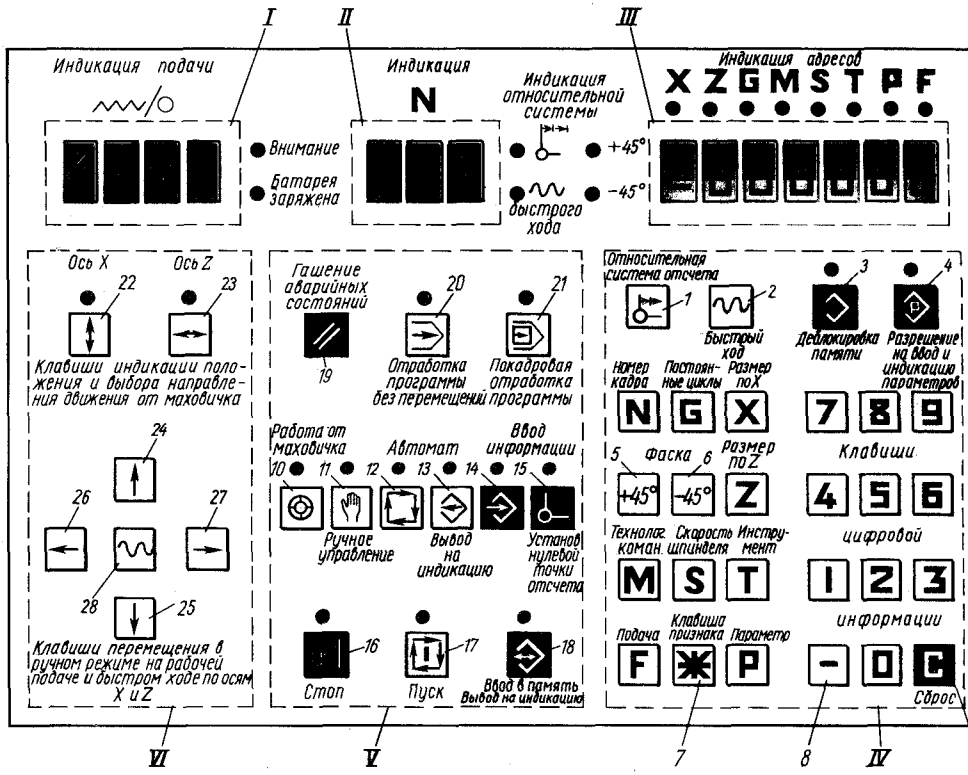


Рис. 14.11. Пульт УЧПУ модели «Электроника НЦ-31»

параметров) или номера кадра УП, семиразрядный цифровой индикатор *III* (крайний левый разряд — знак «+» или «—», каждый из следующих шести разрядов — цифры от 0 до 9) — для индикации числовой части буквенных адресов, кадров программы, параметров, технологических команд, положений суппорта станка и кодов аварийного состояния. Над лампочками индикатора *III* размещены восемь сигнальных ламп с буквенными обозначениями, которые указывают адреса цифровой индикации на лампочках индикатора.

Набор клавиш на панели *IV* состоит из 28 клавиш для ввода буквенно-цифровой индикации программы, из них десять, предназначенные для ввода цифр, имеют гравировку 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, а девять, предназначенные для ввода букв,— гравировку N, G, X, Z, M, S, T, F, P. При нажатии клавиш для ввода букв загораются соответствующие сигнальные лампы над индикатором *III*.

Набор из 12 клавиш (панель *V*) предназначен для выбора режимов работы и управления работой системы. Шесть клавиш с сигнальными лампочками в средней части панели задают режим работы, при этом предыдущий режим выключается. Три клавиши управления с сигнальными лампочками расположены в нижней части панели, а три клавиши управления дополнительными подрежимами — в верхней части.

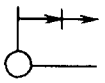
Набор из семи клавиш (панель *VI*), служащий для управления перемещениями суппорта в ручном режиме, расположен в левой нижней части пульта.

Сигнальные лампочки (шесть штук), расположенные в верхней части пульта, имеют следующее назначение: лампочка с надписью «Внимание» сигнализирует об ошибках и аварийных ситуациях, с надписью «Батарея заряжена» — об аварии питания, в том числе о разрядке ак-

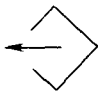
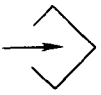
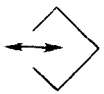
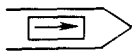
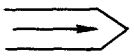
кумулятора подпитки оперативной памяти: лампа с гравировкой — о переходе в относительную систему отсчета, с гравировкой — о признаке быстрого хода (действует в режимах автоматической обработки и ввода УП), лампа с гравировкой «+45°» — о признаке перемещения под углом +45° действует в режимах ввода и индикации УП), лампа с гравировкой «—45°» — о признаке перемещения под углом —45° (действует в режимах ввода и индикации УП).

В табл. 14.2 указаны значения символов клавиш, расположенных на пульте УЧПУ «Электроника НЦ-31».

Таблица 14.2. Значения символов клавиш на пульте УЧПУ «Электроника НЦ-31»

Поз. на рис. 14.11	Символ	Значение символа
		Клавиши буквенно-цифровой индикации (панель IV)
1		Задание признака системы отсчета при вводе УП. Признак действует до отмены, т. е. до повторного нажатия этой клавиши. В режиме ручного управления клавиша вызывает подрежим выхода в фиксированную точку Примечание. Фиксированная точка станка — точка, определенная относительно нулевой точки станка и используемая для нахождения положения рабочего органа станка. Нулевая точка станка — точка, принятая на начало системы отсчета
2		Задание признака быстрого хода при вводе УП. Признак действует до нажатия клавиши ввода в память или вывода на индикацию кадров УП или параметров станка, т. е. его надо вводить каждый раз, как только он встречается в кадре программы
3		Деблокировка памяти в режиме ввода (с сигнальной лампочкой)
4		Разрешение на ввод и индикацию параметров системы (с сигнальной лампочкой)
5	+45°	Задание в УП признака снятия фаски под углом +45°
6	—45°	Задание в УП признака снятия фаски под углом —45°
7		Задание признака «звездочка», указывающего на вхождение кадра в группу
8	—	Знак минус перед числовой частью
9	С	Сброс набранных на пульте буквенных адресов чисел или признаков до ввода их в память
		Клавиши для выбора режимов работы и управления работой системы (панель V)
10		Режим работы от маховичка (с сигнальной лампочкой)
11		Режим толчкового перемещения от клавиш, служащих для управления движениями суппорта в ручном режиме
12		Автоматический режим (с сигнальной лампочкой)

Продолжение табл 14.2

Поз. на рис. 14.11	Символ	Значение символа
13		Режим вывода на индикатор *III* (см. рис. 14.11) введенных в память кадров УП и параметров станка (с сигнальной лампочкой)
14		Режим ввода (запоминания) кадров УП с параметров станка и УЧПУ (с сигнальной лампочкой)
15		Режим размерной привязки инструмента (с сигнальной лампочкой)
16		Останов УП или отдельного цикла (с сигнальной лампочкой)
17		Пуск УП или отдельного цикла в автоматическом режиме и выполнение технологических команд в режимах «ручного управления и работы от маховичка» (с сигнальной лампочкой)
18		Команда на ввод в память или вывод на индикацию кадров УП или параметров станков (в режимах, установленных клавишами вывода на индикацию и ввода кадров УП). Сигнальная лампочка используется для индикации признака «звездочка» (см. п. 7 данной таблицы) и включения команды F (подача) в ручном режиме
19		Гашение состояния «Внимание» и команд, которые не должны дорабатываться до конца (клавиша без сигнальной лампочки)
20		Подрежим отработки программы без перемещения суппорта (с контролем по индикатору *III*)
21		Подрежим покадровой отработки УП (с сигнальной лампочкой)

Клавиши для управления перемещениями суппорта в ручном режиме (панель VI)

22		Поперечное перемещение и индикация положения по оси *X*. При нажатии клавиши и одновременном вращении ручного маховичка суппорт перемещается в поперечном направлении, а при нажатии клавиши во время автоматической отработки программы на цифровом индикаторе *III* выдается информация о положении суппорта по оси *X* (с сигнальной лампочкой)
23		Продольное перемещение и индикация положения по оси *Z*. При нажатии этой клавиши и вращении ручного маховичка суппорт перемещается в продольном направлении, а при нажатии клавиши во время автоматической отработки программы на цифровом индикаторе *III* выдается информация о положении суппорта по оси *Z* (с сигнальной лампочкой) Примечание. Обе клавиши (*22* и *23*) после первого нажатия остаются во включенном положении, при этом горит соответствующая сигнальная лампочка. Клавиша и сигнальные лампочки выключаются при повторном нажатии.

Продолжение табл. 14.2

Поз. на рис. 14.11	Символ	Значение символа
		Клавиши толчкового перемещения в ручном режиме (панель VI)
24	↑	—X (к оси точения) *
25	↓	+X (от оси точения) *
26	←	—Z (к шпиндельной бабке) **
27	→	+Z (от шпиндельной бабки) **
28	∿	Включение ускоренного перемещения в направлениях $-X$, $+X$, $-Z$, $+Z$. Эта клавиша действует только в том случае, если при нажатии на нее одновременно нажимают на одну из четырех клавиш толчкового перемещения

* Для рабочей подачи в ручном режиме по оси *X*.
** Для рабочей подачи в ручном режиме по оси *Z* при вращении шпинделя.

Подготовка УЧПУ к работе. УЧПУ «Электроника НЦ-31» включается при включении станка с помощью переключателя подачи питания и вводного автомата в соответствии с руководством по эксплуатации электрооборудования станка. Одновременно на пульте системы загорается сигнальная лампочка «Пуск» над клавишей *17* (см. рис. 14.11), которая горит несколько секунд. В это время происходит тестовый контроль работоспособности устройства. Если оно исправно, то постоянно идет циклическая проверка ячеек системы ЧПУ и на индикаторе *I* последовательно высвечиваются цифры 101, 201, 202, ..., 277. При правильном прохождении теста через несколько секунд лампочка над указанной клавишей «Пуск» начинает мигать. Теперь следует нажать на эту клавишу, и сигнальная лампочка над ней погаснет, а на индикаторах *II* и *III* загорятся нули, что является сигналом готовности системы к работе. После этого необходимо нажать на кнопку подачи напряжения на привод (кнопка находится вне пульта).

Если при включении подача напряжения на привод задерживается, система может воспринять это как неисправность в питании: начинает мигать сигнальная лампочка «Внимание», а на индикаторе *III* может появиться код 821. В этом случае следует погасить сигнал неисправности нажатием клавиши *9* «Сброс», а затем снова нажать на кнопку подачи напряжения на привод.

Если после прохождения теста начинает мигать сигнальная лампочка «Внимание»; следует сбросить этот сигнал нажимом на клавишу *19* (гашение состояния «Внимание»). После этого вновь загорается на несколько секунд лампочка над клавишей *17* «Пуск», и контрольный тест повторяется. Если повторный тест прошел нормально и начинает мигать лампочка над указанной клавишей, то следует нажать на кнопку подачи напряжения на привод и начать работать на станке в требуемом режиме.

Если повторный тест не прошел нормально, то начинает мигать лампочка «Внимание» и лампочки над клавишами *13* и *17* и загораются лампочки над адресами индикатора *III*. Это значит, что в системе управления или на станке обнаружена неисправность. При нажиме на клавишу *17* вызывается код неисправности, по которому можно определить причину неисправности и устранить ее (если это ошибка оператора или

неисправность станка). Расшифровка кодов неисправности дана в инструкции по эксплуатации устройства.

При первом включении УЧПУ необходимо ввести в память системы техническую характеристику станка. При повторном включении устройства в процессе эксплуатации по истечении кратковременного до (24—48 ч) периода нахождения его во включенном состоянии необходимо убедиться в том, что массив технической характеристики станка и управляющая программа находятся в исправном состоянии. Признаком неисправности массива служит код неисправности X241XX, при обнаружении которого необходимо повторно записать техническую характеристику станка. Признаком неисправности управляющей программы служит код неисправности X77X1XX.

Если проверка показала, что станок и УЧПУ готовы к работе, можно включать привод станка.

Организация работы оперативной системы управления. Оперативная система ЧПУ «Электроника НЦ-31» имеет следующие основные режимы работы: перемещение суппорта по двум координатам в ручном режиме от маховичка или от кнопок клавиатуры; режим размерной привязки инструмента; ввод программы обработки и параметров станка; автоматическое выполнение программы обработки; вывод программы обработки и параметров станка на индикацию; подрежим выхода в фиксированную точку.

В каждый момент времени можно работать только в одном из режимов. Переход от одного режима к другому осуществляется нажатием соответствующей клавиши из группы клавиш включения режима (панель *V* на рис. 14.11). После нажатия клавиши над ней загорается сигнальная лампочка, сигнализирующая о том, что система готова к работе в выбранном режиме. Предыдущий режим отменяется, и устройство переходит в новый режим работы.

В *ручном режиме работы от маховичка* можно перемещать суппорт в одном из направлений — X или Z, вращая маховичок, и выдавать технологические команды M, S и T, которые выполняются электроавтоматикой станка. Для работы в этом режиме необходимо нажать на клавишу *10*, над ней загорается сигнальная лампочка, указывающая, что устройство готово к работе в режиме маховичка.

Для поперечного перемещения суппорта следует нажать на клавишу *22*, при этом загорается лампочка над ней и на индикаторе *III*. Одновременно на индикаторе *III* появляется число, определяющее положение инструмента относительно выбранной нулевой точки или, если она не выбрана, произвольное число. Шкала поперечного смещения суппорта, находящаяся на маховичке, разделена на 100 делений, цена одного деления при движении по оси X составляет 0,01 мм на диаметр. При вращении маховичка по часовой стрелке суппорт идет от оси центров $(+X)$, а при вращении против часовой стрелки — к оси центров $(-X)$. Перемещение контролируется по индикатору *III*.

Если суппорт наедет на конечный выключатель ограничения хода, движение прекращается и загорается лампочка «Внимание». В этом случае вращением маховичка в обратном направлении отводят суппорт от конечного выключателя, а для того чтобы погасить сигнальную лампочку «Внимание», нажимают на клавишу *19*.

Для продольного перемещения суппорта необходимо нажать на клавишу *23*, при этом выключается клавиша *22*, и над клавишей *23* загорается сигнальная лампочка. Механизм перемещения такой же, как по поперечной оси: при вращении маховичка по часовой стрелке суппорт движется к задней бабке $(+Z)$, а при вращении против часовой стрелки — к передней бабке $(-Z)$.

В режиме работы от маховичка можно параллельно с обработкой формировать УП.

Режим ручного управления от кнопок клавиатуры используют для управления перемещениями суппорта как на быстром ходе, так и на заданной скорости рабочей подачи. Чтобы перейти на этот режим, нажимают на клавишу *11*. Над

ней загорается сигнальная лампочка, указывающая, что устройство готово к работе в ручном режиме.

Для ускоренного перемещения суппорта необходимо одновременно нажать на одну из клавиш толчкового перемещения *24*, *25*, *26* или *27* и на клавишу ускоренного перемещения *28*. Перемещение осуществляется только при нажатых клавишах. Индикация положения суппорта включается самостоятельно при нажатии одной из ранее перечисленных клавиш.

В режиме ручного управления на скорости рабочей подачи суппорт перемещается только при нажатии клавиш толчкового перемещения (без клавиши ускоренного перемещения), но при этом должна быть введена заданная скорость подачи и включено вращение шпинделя.

Например, необходимо ввести подачу 0,29 мм/об. Для этого следует нажать на клавишу F (над ней загорается сигнальная лампочка), затем на клавишу *2* (см. рис. 14.11); на цифровом индикаторе *III* высвечивается цифра 2), потом на клавишу *9* (цифра 2 на индикаторе смещается на одну ячейку влево, а цифра 9 занимает ее место). Набранное значение подачи вводят в УЧПУ нажатием клавиши *18*. Затем значение подачи (29) высвечивается на индикаторе подачи *I*. Таким образом, подача вводится целыми числами дискрет.

Для перемещения в любом выбранном направлении с установленной подачей необходимо нажать на одну из клавиш толчкового перемещения (*24, 25, 26, 27*). Введенная подача сохраняется до введения ее нового значения.

Подрежим выхода в фиксированную точку используют для фиксирования исходной точки резцедержателя. Фиксированная точка служит для привязки измерительной системы УЧПУ к нулевой точке станка, относительно которой затем осуществляется размерная привязка инструмента.

Положение фиксированной точки определяется положением конечных выключателей замедления. При наезде суппорта на выключатели быстрый ход замедляется и происходит переход на ползучую подачу. Затем система ЧПУ следит за прохождением метки «0» на датчике положения. В момент прохождения нулевой метки сбрасывается ошибка положения привода. Одновременно блокируются кнопки, задающие перемещение, и снимается подрежим (прекращается пульсация сигнальной лампочки).

Подрежим устанавливают нажатием клавиши *11* (см. рис. 14.11). Если привязка инструмента до этого не производилась, то на табло индикации высветится нуль. Если после вывода суппорта в фиксированное положение необходимо продолжить работу в режиме ручного управления, то надо повторно вызвать этот режим. Суппорт в фиксированное положение рекомендуется выводить после включения УЧПУ (устройство запоминает последнее положение суппорта в момент отключения) и в тех случаях, когда возникают системные сбои устройства.

Режим размерной привязки инструмента применяют в тех случаях, когда необходимо привязать режущий инструмент к измерительной системе УЧПУ. Перед привязкой инструмента необходимо вызвать его в рабочую позицию, т. е. набрать номер инструмента Т даже в тех случаях, когда на станке нет автоматической смены инструмента. Порядок действий в этом режиме следующий.

1. Включить шпиндель и в ручном режиме подвести инструмент к заготовке детали.

2. В режиме работ от маховичка проточить заготовку вдоль ее образующей.

3. Остановить шпиндель и замерить диаметр обработки (например, 152, 45 мм).

4. Устройство перевести в режим размерной привязки инструмента нажатием клавиши *15* и замеренный диаметр ввести в память устройства (например, X15245). При этом индикатор *III* (адрес и числа) гаснет.

5. Включить шпиндель, в ручном режиме подвести инструмент к торцу заготовки (детали) и обточить торец.

6. Отвести режущий инструмент по оси *X* и остановить шпиндель. Замерить расстояние от торца заготовки (детали) до зажимных кулачков патрона. Из замеренного значения вычесть припуск по усмотрению оператора (3—7 мм). На-

пример, из замеренного размера 98, 37 мм вычитаем 3,37 мм и получаем 95 мм.

7. Устройство перевести в режим размерной привязки инструмента нажатием клавиши *15*, после чего замеренную величину ввести в память устройства (например, Z 9500). Относительно этой точки программируют начало обработки. Точку начала обработки выбирают с учетом погрешности установки заготовки (детали).

Автоматический режим работы (и его подрежимы) предназначается для проверки и отладки правильности выполнения предварительно введенной УП. В этот режим устройство переходит при нажатии клавиш *12* (над ней загорается сигнальная лампочка) и *21* (над ней также загорается сигнальная лампочка).

Для безопасности отладки и проверки программы предусмотрены два дополнительных подрежима: отработка УП без перемещения суппорта и покадровая отработка.

В покадровом подрежиме после нажатия клавиши *17* устройство отрабатывает один элемент УП (кадр или проход многопроходного цикла), после чего оно останавливается и сигнальная лампочка над клавишей *17* гаснет. Для отработки следующего элемента УП нужно повторно нажать на эту клавишу. Покадровый подрежим можно включать или отменять в любой момент (как во время выполнения УП, так и после ее отработки).

В подрежиме отработки УП без перемещения суппорта система только имитирует это перемещение, а остальные команды (например, технологические и изменения подачи) выполняет. Имитируемое перемещение можно наблюдать и проверить, включив индикацию положения нажатием клавиши *22* или *23*. В этом случае на табло индикации высвечивается та величина, которая была бы в действительности, если бы перемещение было отработано. Подрежим отработки УП без перемещений суппорта можно включить или отключить только при условии, что кадр или цикл отработан до конца.

Возможна одновременная отработка УП в обоих подрежимах.

Отработку УП можно прерывать нажатием клавиши *16*, останов происходит в любом месте траектории инструмента. Исключением является резьбонарезание, так как останов при этом происходит только после отвода инструмента в безопасное положение.

Во время выполнения УП на индикаторе *II* всегда высвечивается номер того кадра, который в данный момент отрабатывается. Если же отрабатывается цикл, состоящий из нескольких кадров, то высвечивается номер первого главного кадра.

При выполнении технологических команд происходит их индикация: на индикаторе *III* загорается сигнальная лампочка соответствующего буквенного адреса, а ниже выводится код. Код последней технологической команды можно проиндицировать как во время выполнения УП, так и при остановах. Для этого надо нажать на клавишу выбранного буквенного адреса команды, а затем на клавишу *13*.

Режим вывода на индикацию вызывается нажатием соответствующей клавиши (над ней загорается сигнальная лампочка). В этом режиме особое внимание следует уделять номеру, который появляется на табло *II* индикации. Это может быть номер кадра программы или номер параметра станка, который выведен на индикацию в настоящее время или будет выведен в будущем. Поэтому если горит сигнальная лампочка над клавишей *4*, то индицируются параметры станка и УЧПУ, а если не горит, то индицируются кадры программы отработки.

Для индикции следующего кадра не надо набирать его номер, а достаточно нажать на клавишу вывода на индикацию (клавиша *13*). При этом номер кадра автоматически увеличится на единицу и на индикацию будет выведен следующий кадр (его номер и содержание). Если еще раз нажать на эту клавишу, произойдет то же самое. Таким образом, последовательно можно просмотреть всю программу или ее часть, начинающуюся заданным на индикации

номером. После просмотра последнего кадра автоматически происходит переход на нулевой кадр.

При зажженной сигнальной лампочке над клавишей *4* таким же образом можно просмотреть параметры станка.

Подготовка, составление и ввод управляющей программы. УЧПУ «Электроника НЦ-31» для составления и ввода программ обработки приняты следующие стандартные обозначения адресов и функций: N — номер кадра (от 0 до 999); X — поперечное направление; Z — продольное направление; P — параметры станка (команда передачи управления); S — команда на изменение частоты вращения шпинделя; T — команда на смену инструмента или позиции автоматического поворотного резцедержателя; F — подача или шаг резьбы в циклах резьбонарезания; G — подготовительные функции; M — вспомогательные функции.

Основные обозначения подготовительных функций: G2 — обработка дуги менее 90° по часовой стрелке; G3 — обработка дуги менее 90° против часовой стрелки; G4 — выдержка времени; G12 — обработка четверти окружности по часовой стрелке; G13 — обработка четверти окружности против часовой стрелки; G25 — повторение кадров программы обработки; G31, G32, G33 — группа циклов резьбонарезания; G55 — запланированный программный останов; G60 — группа циклов условий движения; G70, G71 — группа однопроходных циклов; G73 — цикл глубокого сверления; G74 — цикл торцовой проточки: G75 — цикл обработки прямых наружных канавок; G77 — многопроходный цикл продольного снятия припуска (параллельно оси *Z*); G78 — многопроходный цикл поперечного снятия припуска (параллельно оси *X*); G92 — автоматическое смещение нулевой точки.

Основные обозначения вспомогательных функций: M00 — останов управляющей программы обработки; M3 — правое вращение шпинделя против часовой стрелки; M4 — левое вращение шпинделя (по часовой стрелке); M5 — останов шпинделя; M30 — конец управления программы обработки; M38 — нижний диапазон частоты вращения шпинделя (12,5—200 об/мин); M39 — средний диапазон частоты вращения шпинделя (50—800 об/мин); M40 — верхний диапазон частоты вращения шпинделя (125—2000 об/мин). Указанные диапазоны частоты вращения шпинделя устанавливают вручную и контролируют с помощью путевых электропереключателей, связанных с рукояткой переключения диапазонов расположенной на корпусе шпиндельной бабки. При включении номера диапазона в программу обработки программа выполняется только после установки рукоятки переключения в требуемое положение.

Для обозначения номера инструмента или позиции поворотного резцедержателя приняты следующие адреса: T00—T99 — для резцедержателя, поворачиваемого вручную; T1—T6 — для автоматического поворотного резцедержателя.

Перед составлением УП необходимо проанализировать чертеж детали и выбрать наиболее рациональный метод обработки, затем выбрать инструмент, подачу, частоту вращения шпинделя и глубину резания. Приступая к составлению УП на изготовляемую деталь, следует учитывать следующее.

1. Если деталь имеет два установа, то УП составляют на каждый установ. Каждая из этих УП должна начинаться с нулевого кадра.

2. Размеры в УП отсчитывают от нулевой точки детали.

3. Необходимо задать координаты *x*, *z* точки смены инструмента. Эта точка вводится в программу с признаком быстрого хода (перед кодом T и в конце программы).

4. Назначая припуски для чистовых контурных проходов, необходимо помнить, что припуск по торцам не должен превышать 0,3 мм.

5. Если при обработке ступени требуется проточить или подрезать торец, то инструмент от обрабатываемой поверхности отводят под углом $\pm 45°$ и в кадр отвода надо ввести признак $\pm 45°$.

6. Если на чертеже детали встречаются переходы типа цилиндр — конус (и наоборот), торец — конус (и наоборот), дуга — конус (и наоборот),

галтель — конус (и наоборот), то следует вводить поправки на размер для компенсации радиуса режущей кромки инструмента.

7. Если на чертеже детали задан угол конуса, то в УП вводят значения катетов, образующих этот конус.

Программа составляется из последовательно вводимых элементов-кадров. Каждый кадр состоит из трех частей: номера, буквенного адреса с числом и (при необходимости) признака, например признака быстрого хода, снятия фаски под углом $\pm 45°$ и др. Для ввода кадров необходимо нажатием клавиши *14* (см. рис. 14.11) включить режим ввода кадров, затем для разрешения ввода надо нажать на клавишу *3* (над ней загорается сигнальная лампочка). Клавиша *4* при вводе кадров не должна быть нажата и сигнальная лампочка над ней не должна гореть. После ввода кадра вся информация на индикаторе *III* гаснет, кроме лампочки признака относительной системы, который сбрасывается повторным нажатием клавиши *1*. При нажатии клавиши *13* признаки адреса и числовой части сбрасываются, а признак относительной системы остается. Если после этого нажать на клавишу *18*, то введется пустой кадр.

До нажатия клавиши ввода в память информацию можно редактировать и изменять, при этом в память введется информация в последнем варианте.

Если кадр надо отредактировать после ввода в память, то его следует вывести на индикацию (нажатием клавиши *13*), затем набрать его номер и тоже вывести на индикацию (нажатием клавиши *18*). Затем следует перейти в режим ввода кадров, отредактировать кадр и снова ввести его в память, как указано выше.

Знак минус можно вводить до или после цифр; повторное нажатие клавиши со знаком «—» (*8*) отменяет ранее набранный минус.

Признаки быстрого хода и угла $\pm 45°$ взаимно исключают друг друга и не могут быть в одном кадре. При наборе одного из них остальные сбрасываются.

При покадровом вводе обычно набирают номер только первого кадра, так как после этого номер кадра на индикаторе автоматически увеличивается на единицу.

Знак «звездочка» (клавиша *7* на рис. 14.11) отличает кадры, входящие в постоянную и повторяемую группы. Он вводится автоматически при использовании G-циклов, при задании одновременного перемещения по двум координатам на рабочей или ускоренной подаче и при обработке конических поверхностей.

Знаком F задается контурная подача (мм/об), т. е. скорость перемещения по касательной к траектории фасонной поверхности. При программировании в абсолютных размерах для обозначения перемещения инструмента обязательно задается координата конечной точки пути относительно нулевой точки.

Пример. *Программа обработки детали типа «резьбовой валик» (рис. 14.12) на станке модели 16К20Т1 с УЧПУ «Электроника» НЦ-31».* Включим оперативную систему управления и станок вводным автоматом и переключателем подачи питания. На пульте УЧПУ загорится лампочка над клавишей пуска *17* (номера позиций см. по рис. 14.11), и одновременно с этим в системе начнет действовать проверяющий тест, контролирующий работоспособность устройства. При правильном прохождении теста лампочка над клавишей пуска будет мигать, а на индикаторе *I* должны высвечиваться номера проверенных тестов.

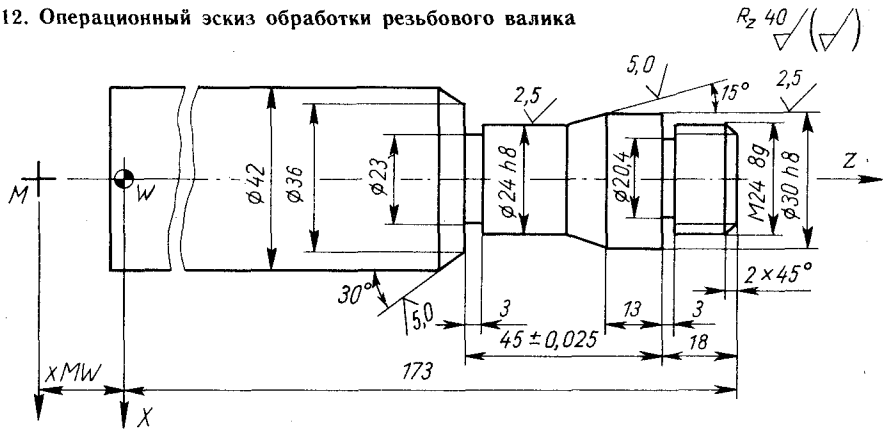
После 202-го теста можно нажать на клавишу пуска, лампочка над ней погаснет, а на индикаторах *I* и *II* высветятся нули, т. е. система ЧПУ готова к работе. Включим блокировку пульта. Если параметры станка не введены в систему ЧПУ, то их надо ввести.

Параметры станка следует вводить в подрежиме с деблокировкой памяти. Для ввода параметров предназначена область с адресом Р. Параметр записывается следующим образом: 1) установить режим ввода нажатием клавиши *14*; 2) деблокировать область параметров нажатием клавиши индикации *4*; 3) нажать клавишу N и набрать номер параметра; 4) установить адрес области Р; 5) записать содержимое параметра.

Затем включаем привод и привязываем измерительную систему управления к базовой поверхности станка. Точка этой привязки служит промежуточной точкой, относительно которой затем выполняется размерная привязка инструмента.

Размерная привязка измерительной системы управления к базовой поверхности станка заключается в следующем: 1) нажать на клавишу *1* (сразу начнет пульсировать

Рис. 14.12. Операционный эскиз обработки резьбового валика



лампочка ручного режима); 2) установить рабочую подачу F35; 3) включить главный привод M3; 4) установить частоту вращения шпинделя S5; 5) с помощью клавиш ручного управления координатами (*24—27*) довести суппорт до конечных выключателей.

После наезда суппорта на конечные выключатели замедления блокируется быстрый ход и система выходит на ползучую подачу. Затем «съезжаем» с конечных выключателей в направлении, где предположительно находится нулевая точка. После съезда с конечных выключателей СЧПУ следит за прохождением нулевой метки датчика положения. Прохождение этой метки фиксируется, и система сбрасывает ошибки положения привода. Одновременно блокируются клавиши, задающие перемещение, и отменяется подрежим (прекращается пульсация лампочки).

Для повторения цикла по другой оси надо снова нажать на клавишу *1* и выполнить все действия в той же последовательности.

Выбираем режущий инструмент: для контурного точения — токарный сборный резец с механическим креплением многогранных неперетачиваемых пластин из твердого сплава; для проточки канавок — токарный канавочный резец; для нарезания резьбы — резьбовой резец.

Выполняем размерную привязку инструмента: 1) зажимаем заготовку в патроне; 2) нажимаем на клавишу номера инструмента (T1), вызывая тем самым инструмент в рабочую позицию; 3) включаем шпиндель, устанавливаем ручной режим нажатием клавиши *11* и подводим инструмент к заготовке; 4) устанавливаем режим работы от маховичка нажатием клавиши *10* и протачиваем поверхность произвольного диаметра на длину, достаточную для замера; 5) остановив шпиндель, замеряем полученный диаметр (например, 43 мм); 6) нажатием клавиши *15* переходим в режим размерной привязки инструмента, затем нажатием клавиши *18* вводим в память системы полученный диаметр X4300; 7) снова включаем шпиндель, устанавливаем ручной режим нажатием клавиши *11*, подводим инструмент к торцу заготовки и протачиваем торец на произвольную глубину; 8) отводим инструмент по оси *X*, останавливаем шпиндель и замеряем расстояние от обработанного торца детали до другого торца (например, 173 мм); 9) переходим в режим размерной привязки инструмента нажатием клавиши *15*, вводим в память системы (нажатием клавиши *18*) полученный размер Z17300.

Таким образом, мы привязали первый инструмент и выбрали нулевую точку детали. Эта точка принимается за начало программы.

Для привязки следующих инструментов каждым из них необходимо коснуться уже проточенных цилиндрической и торцовой поверхностей и ввести в память системы координаты точек касания *x* и *z* для каждого инструмента.

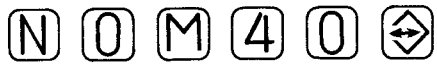
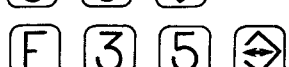
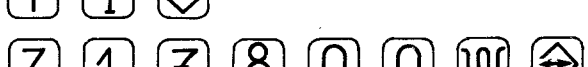
Проанализировав чертеж детали (рис. 14.12), разбиваем технологический процесс обработки на следующие операции: 1) многопроходная обработка по контуру; 2) обработка диаметра под резьбу; 3) многопроходная обработка конуса; 4) снятие фасок; 5) проточка канавок; 6) многопроходное нарезание резьбы.

Устанавливаем вручную рукоятку переключения диапазонов частоты вращения шпинделя на шпиндельной бабке в положение, соответствующее верхнему диапазону M40. После этого нажатием клавиши *14* (см. рис. 14.11) включаем режим ввода кадров. Затем для разрешения ввода нажимаем на клавишу *3* (деблокировка памяти), над ней загорается сигнальная лампочка, что говорит о готовности системы к вводу кадров.

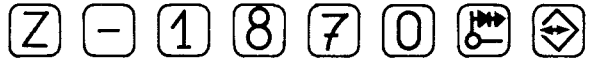
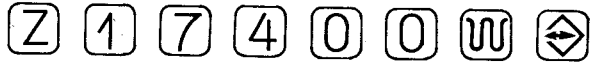
Набираем на пульте оперативной системы кадра УП нажатием клавиш в последовательности, указанной в табл. 14.3.

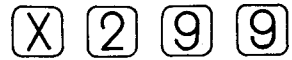
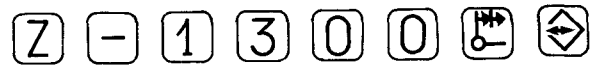
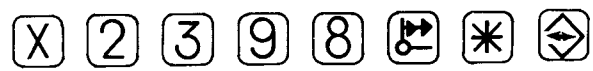
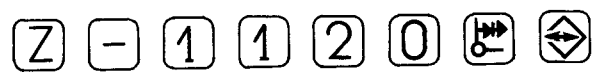
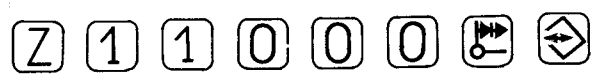
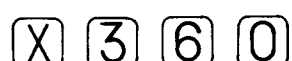
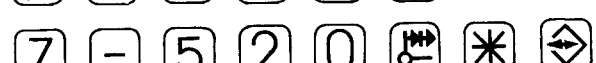
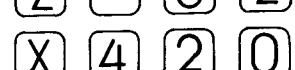
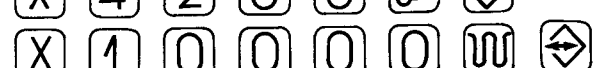
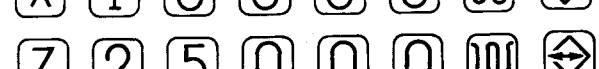
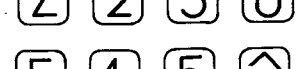
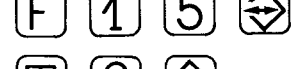
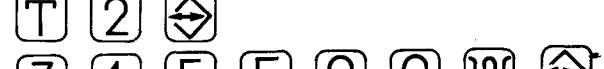
После набора УП и ввода ее в оперативную систему ЧПУ необходимо проверить программу. Для этого отработаем всю введенную программу в покадровом подрежиме.

Таблица 14.3. Управляющая программа для обработки резьбового вала на токарном станке модели 16К20Т1 с УЧПУ «Электроника НЦ-31»

Номер кадра	Содержание команды	Последовательность ввода информации УП на клавишах см. рис. 14.11
—	Включение режима ввода программы	
0	Выбор диапазона частоты вращения шпинделя	
1	Включение вращения шпинделя	
2	Частота вращения шпинделя 500 об/мин	
3	Подача 0,35 мм/об	
4	Вызов резца № 1	
5	Выход по оси *Z* в исходную точку цикла	
6	Выход по оси *X* в исходную точку цикла	
7	Многопроходный цикл продольного точения	
8	Координата по оси *X* последнего прохода цикла	
9	Длина каждого прохода цикла	
10	Глубина прохода	
11	Выход по оси *X*	

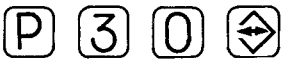
Продолжение табл. 14.3

Номер кадра	Содержание команды	Последовательность ввода информации УП на клавишах см. рис. 14.11
12	Проточить ∅ 25 на длину 18 мм	
13	Выход по оси *X*	
14	Выход по оси *Z* на предварительную обточку конуса	
15	Предварительная обточка конуса с учетом погрешности на радиус инструмента ($R=1$ мм)	
16	То же	
17	Обточить ∅ 24 до ∅ 25 предварительно	
18	Отвод по оси *X*	
19	Отвод по оси *Z*	
20	Выход на фаску по оси *X*	
21	Частота вращения шпинделя 1000 об/мин	
22	Подача 0,25 мм/об	
23	Подход к торцу детали на рабочей подаче	
24	Снять фаску 2×45°	

25	Проточить ∅ 23,6 окончательно	
26	Выход на размер по оси *X*	
27	Проточить ∅ 30h8 окончательно	
28	Проточить конус окончательно	
29	То же	
30	Проточить ∅ 24h8 окончательно	
31	Выход на размер по оси *X*	
32	Снять фаску 30° на ∅ 42	
33		
34	Выход по оси *X* в точку смены инструмента	
35	Выход по оси *Z* в точку смены инструмента	
36	Подача 0,15 мм/об	
37	Вызов резца № 2	
38	Выход по оси *Z* на прорезку канавки № 1	

Продолжение табл. 14.3

Номер кадра	Содержание команды	Последовательность ввода информации УП на клавишах см. рис. 14.11
39	Подход по оси *X*	X 3 1 0 0 W ⇕
40	Частота вращения шпинделя 500 об/мин	S 5 ⇕
41	Прорезка канавки ∅ 20, 4×3	X 2 0 3 0 ⇕
42	Отвод по оси *X*	X 3 8 0 0 W ⇕
43	Выход по оси *Z* на прорезку канавки № 2	Z 1 1 0 0 0 W ⇕
44	Прорезка канавки ∅23, 4×3	X 2 2 9 0 ⇕
45	Выход по оси *X* в точку смены инструмента	X 1 0 0 0 0 W ⇕
46	Выход по оси *Z* в точку смены инструмента	Z 2 5 0 0 0 W ⇕
47	Вызов резца № 3	T 3 ⇕
48	Частота вращения шпинделя 710 об/мин	S 6 ⇕
49	Выход в исходную точку цикла по оси *Z*	Z 1 8 3 0 0 W ⇕
50	Выход по оси *X* в исходную точку цикла	X 2 7 0 0 W ⇕

51	Цикл резьбонарезания	
52	Наружный диаметр резьбы	
53	Координата по оси Z конечной точки резьбы	
54	Шаг резьбы 1,5 мм	
55	Глубина резьбы	
56	Глубина первого прохода	
57	Выход по оси X в исходную точку	
58	Выход по оси Z в исходную точку	
59	Конец программы	

Примечания:
1. При нажатии кнопки ввода *18* (см. рис. 14.11) в режиме ввода УП номер кадра автоматически увеличивается на единицу.
2. Работа в относительной системе координат отменяется повторным нажатием кнопки *1* (см. рис. 14.11).
3. В указаниях команд табл. 14.3 символы соответствуют значениям, приведенным в табл. 14.2

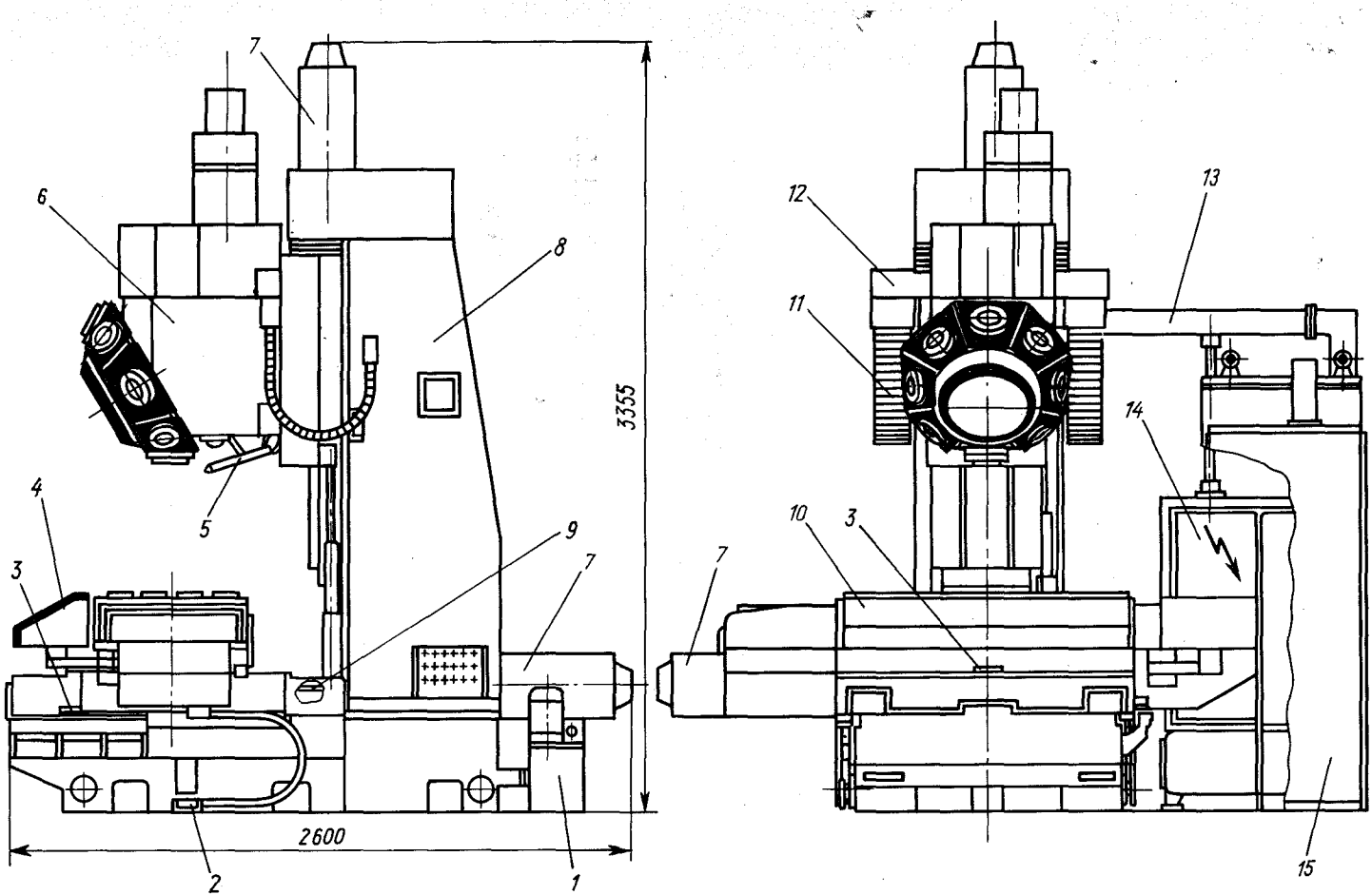


Рис. 14.13. Фрезерно-сверлильно-расточный станок с ЧПУ и АСИ модели СФП 500А8:

1 — станция смазки и охлаждения; *2* — правый подвод питания; *3* — нониус; *4* — пульт управления; *5* — штуцер подачи СОЖ; *6* — фрезерная головка; *7* — приводные двигатели; *8* — станина и стойка; *9* — кожух; *10* — стол и салазки; *11* — короб; *12* — гидроразводка; *13* — электрооборудование; *14* — гидростанция; *15* — УЧПУ

Включаем автоматический режим нажатием клавиши *12*, при этом автоматически включается покадровый подрежим и загораются лампочки над клавишами *12* и *21*. Затем нажимаем на клавишу пуска *17* и отрабатываем один кадр (на индикаторе высвечивается содержание этого кадра). Если кадр УП был правильно набран и отработан, то можно повторным нажатием клавиши пуска отработать следующий кадр программы, и так всю программу. В процессе проверки можно внести в УП необходимые изменения.

Покадровый режим можно в любой момент прервать. Для этого и вообще для аварийного останова станка предусмотрена красная кнопка *16* «Стоп» грибовидной формы с принудительным возвратом. Отработав УП в покадровом режиме, снимаем готовую деталь со станка и измеряем ее. При необходимости вводим в программу обработки коррекцию. Затем обрабатываем заготовку повторно и снова измеряем полученную деталь. После этого можно изготовлять партию деталей в автоматическом режиме.

14.4. РАБОТА НА ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Назначение и область применения

Фрезерно-сверлильно-расточный станок с ЧПУ и автоматической сменой инструмента (АСИ) модели СФП 500А8 (рис. 14.13) предназначен для обработки деталей сложной криволинейной формы типа дисков плит, рычагов, корпусов и других из сталей, титановых и легких сплавов. На станке можно производить фрезерование плоскостей и пазов, сверление, зенкерование, развертывание и предварительное растачивание отверстий.

Обработка ведется по трем координатам по программе, записанной в ОЗУ УЧПУ с восьмидорожечной перфоленты. Станок обеспечивает программное перемещение стола, салазок и фрезерной головки, переключение частоты вращения шпинделя, включение и выключение шпинделя, выбор и смену инструмента, включение и выключение системы охлаждения инструмента.

Станком можно управлять в ручном режиме работы (с пульта управления станком — рис. 14.14) и в автоматическом (с пульта оператора УЧПУ — рис. 14.15). Пульт управления станком используют в основном в период наладки станка. Автоматическое управление по программе, записанной на перфоленте, осуществляется от УЧПУ модели CNC-Ф.

Режим (ручной, автоматический) устанавливается тумблером *10* (см. рис. 14.14). При работе от УЧПУ в этот тумблер должен находиться в положении АВТОМАТ (вниз). Перемещения по осям в необходимых направлениях происходят при включении тумблеров *8*, *9*, *15*, а поворот инструментального барабана шпинделя — при включении кнопки *13*. Назначение других элементов пульта ясно из рис. 14.14.

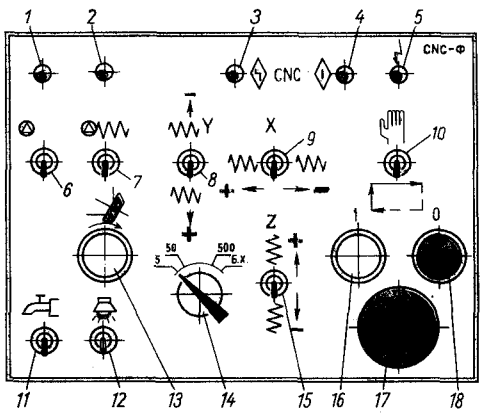


Рис. 14.14. Пульт управления станком модели СФП 500А8:

1 — сигнальная лампа, указатель «общий стоп»; *2* — сигнальная лампа, указатель «стоп подачи»; *3* — сигнальная лампа «требуется вмешательство оператора»; *4* — сигнальная лампа «ЧПУ готово к работе»; *5* — сигнальная лампа «напряжение подано»; *6* — тумблер «общий стоп»; *7* — тумблер включения и выключения «стоп подачи»; *8, 9* — переключатели направления перемещений по координатам *Y* и *X* соответственно; *10* — переключатель режима работы («ручное управление», «программа»); *11* — тумблер включения охлаждения; *12* — тумблер включения освещения; *13* — кнопка вращения магазина; *14* — переключатель скоростей перемещения стола, салазок, фрезерной головки; *15* — переключатель направления перемещения по координате *Z*; *16* — кнопка включения приводов подач и насосной станции управления; *17* — кнопка «все стоп»; *18* — кнопка выключения приводов подач и насосной станции управления

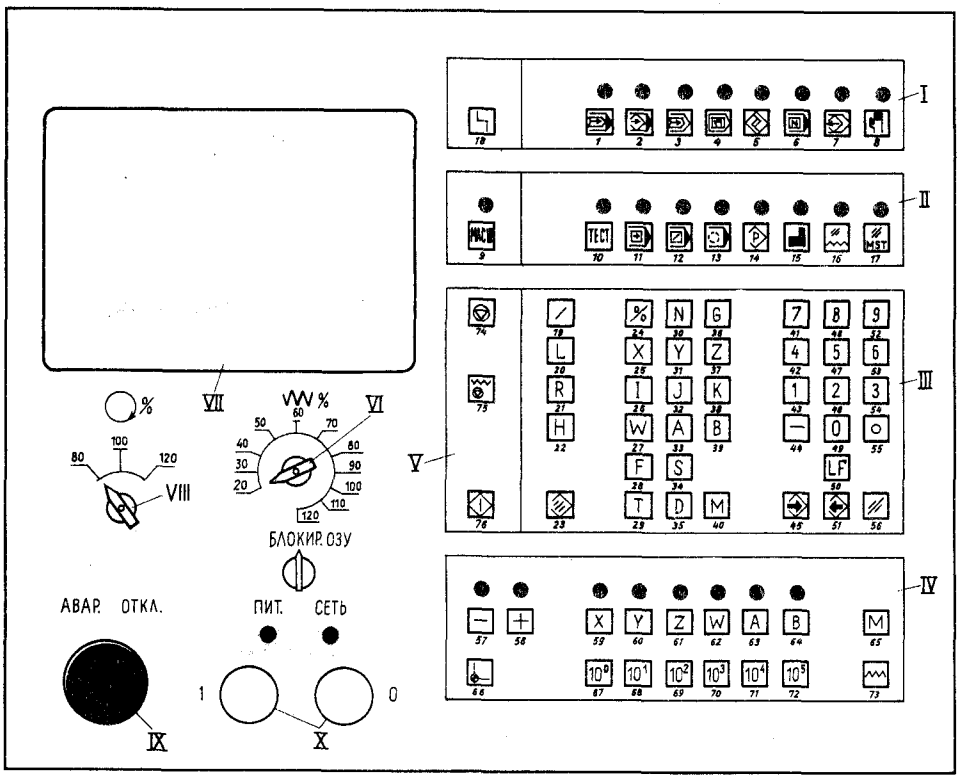


Рис. 14.15. Пульт оператора УЧПУ модели CNC-Ф для фрезерного станка:

I — клавиатура режимов; *II* — клавиатура подрежимов; *III* — клавиатура ввода информации; *IV* — клавиатура ручного управления; *V* — клавиши включения — выключения подачи; *VI* — корректор подачи; *VII* — экран дисплея; *VIII* — корректор частоты вращения шпинделя; *IX* — аварийный стоп; *X* — кнопки включения (выключения) питания

Управление станком с пульта оператора (ПО) УЧПУ

Система обеспечивает следующие режимы работы (рис. 14.15):

автоматический при считывании УП с перфоленты (кнопка *1*);

автоматический при считывании УП из памяти с подрежимом КАДР (кнопка *2*);

ввод (кнопка *3*);

преднабор (кнопка 4);

редактирование (кнопка *5*);

поиск кадра (кнопка *6*);

вывод перфоленты (кнопка *7*);

наладка с подрежимом ТЕСТ (кнопка *8*).

При несоответствии условий выполнения выбранного режима на дисплее высвечивается слово ОШИБКА и ее номер. Содержание ошибок станка по номерам указано в эксплуатационной документации на станок.

Режим ввода. Работу следует выполнять следующим образом.

1. Включить ФСУ и установить перфоленту с вводимой информацией в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

2. Нажать на кнопку ПУСК на ФСУ.

3. Нажать на кнопку ВВОД (*3*) на клавиатуре режимов ПО и проконтролировать высвечивание на дисплее команды ВВОД ГОТОВ.

4. Набрать с помощью кнопок клавиатуры ввода ПО номер вводимой программы, нажать на кнопку ВЫВОД БП (*51*) и проконтролировать на дисплее ввод начального участка перфоленты до начала программы (на дисплее должна высветиться команда ГОТОВ). Правильность набора контролируется по дисплею,

при ошибочном наборе следует нажать на кнопку СТИРАНИЕ (*56*) на клавиатуре ввода и повторить набор (%XXX, где XXX — номер программы и подпрограммы).

Примечание. В режиме ввода кнопку *51* следует нажимать при установке ключа на ПО в вертикальное положение.

5. Нажать на кнопку ВВОД (*45*) на клавиатуре ввода ПО и после останова перфоленты на ФСУ проконтролировать по дисплею высвечивание команды ГОТОВ.

Режим наладки. Работа выполняется в следующем порядке.

1. Подготовить станок к работе.

2. Нажать кнопку *8* на клавиатуре режимов ПО и проконтролировать высвечивание на дисплее команды НАЛАДКА.

3. Для выполнения подрежима ручного управления ИСХОДНОЕ предварительно задать на клавиатуре ручного управления ПО направление движения, нажав и отжав одну из кнопок *58* или *57*, а также выбрать координату, нажав и отжав одну из кнопок *59—61* (возможно задание движения одновременно по двум или трем координатам). После этого нажать и отпустить кнопку ВЫХОД В ИСХОДНОЕ (*66*). Проконтролировать по дисплею: на нем должна высветиться команда НАЛАДКА ГОТОВ.

Для отмены направления и координаты движения необходимо повторно нажать на соответствующие кнопки.

После выхода в исходные точки по всем координатам снимается индикация на ВКУ: НЕТ МАРКЕРОВ.

4. Для выполнения мерных перемещений предварительно задать на клавиатуре ручного управления ПО направление движения и выбрать координату аналогично п. 2 и п. 3. После этого нажать и отпустить одну из кнопок *67—72* в соответствии с желаемым дискретным перемещением. Выполнение проконтролировать по высвечиванию на дисплее команды НАЛАДКА ГОТОВ.

5. Для выполнения безразмерных перемещений на скорости рабочей подачи предварительно задать на клавиатуре ручного управления ПО направление движения и выбрать координату (аналогично пп. 2 и 3). После этого нажать на кнопку *73*. Движение осуществляется до тех пор, пока нажата эта кнопка.

6. Для выполнения безразмерных перемещений на скорости быстрого хода предварительно задать на клавиатуре ручного управления ПО направление движения и выбрать координату (аналогично пп. 2 и 3). После этого нажать на кнопку *73*. Движение осуществляется до тех пор, пока нажата эта кнопка.

7. Для работы в подрежиме ТЕСТ, предназначенном для контроля функционирования перемещений, установить на ПО ключи БЛОКИР. ОЗУ в вертикальное положение, нажать последовательно кнопки *15* и *10*, проконтролировать гашение экрана. Справа вверху на дисплее должно появиться сообщение

НАЛАДКА
ТЕСТ №

После нажатия кнопок *26* и *45* (ВВОД) на экране ВКУ должна появиться индикация. Нажать на кнопку *40* и набрать один из адресов палат выходных сигналов (*60—76*). Нажать на кнопку *51* (ВЫВОД) и набрать шестиразрядное восьмеричное число, соответствующее коду выходных сигналов. После нажатия кнопки *45* на выходах соответствующей платы ВС должно появиться напряжение +24 В (проконтролировать). Если после этого необходимо задать выходное напряжение (перемещение) на привод по одной или по нескольким координатам одновременно, то следует нажать на кнопки *36, 25, 31* или *37*, затем на кнопку *51*, набрать код напряжения в милливольтах, нажать на кнопку *45*. После ее нажатия на выходе ЦАП соответствующей платы блока контроля появится выходное управляющее напряжение. Аналогично задается напряжение на привод шпинделя. Индикация перемещения в этом подрежиме используется для контроля величины перемещения по каждой координате. Если необходимо отсчитывать перемещения по любой координате с нуля или с другого числа, следует нажать на кнопки *21, 25, 31* или *37*, затем на кнопку *51*, набрать число по

выбранной координате и нажать на кнопку *45*. Мерцающие символы М появляются при наличии маркеров по соответствующим координатам.

Режим редактирования. Порядок работы следующий.

1. Нажать на кнопку РЕДАКТИРОВАНИЕ (*5*) на клавиатуре режимов ПО и проконтролировать по дисплею наличие команды РЕДАКТИРОВАНИЕ ГОТОВ.

2. Набрать номер редактируемой программы (%XXX) на клавиатуре ввода, по дисплею проконтролировать правильность набора и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*).

Примечания:

1. При ошибках в наборе номера нажать на кнопку СТИРАНИЕ (*56*) на клавиатуре ввода ПО и повторить набор номера. Это относится и к последующим пунктам настоящего подпараграфа.

2. В режиме редактирования кнопку *51* можно нажимать, когда ключ на ПО установлен в вертикальное положение.

3. Набрать номер редактируемого кадра (№ XXX) на клавиатуре ввода, проконтролировать по дисплею правильность набора и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*). Для ввода отредактированного кадра в память (вместо прежнего) нажать на кнопку 45.

Если номер кадра набран верно, то на дисплее индицируется содержание набранного кадра. Если же номер набран неверно, то на дисплей выводится сообщение об ошибке. В этом случае следует нажать на кнопку СБРОС (*18*) и повторить набор.

Для отмены кадра, выведенного на дисплей, нажать на кнопку СТИРАНИЕ В ПАМЯТИ (*23*).

При редактировании кадра подпрограммы набор осуществлять на клавиатуре ввода ПО следующим образом: набрать номер массива подпрограмм в памяти (% 5XX) и нажать на кнопку *51* (ВЫВОД); набрать номер подпрограммы (LXX) и нажать на кнопку *51*; набрать номер кадра (№ XXX) и нажать на кнопку *51* (здесь XXX — число десятичной системы счисления.

Для стирания слова в кадре набрать функцию этого слова (без цифровой части), проконтролировать правильность набора по дисплею (мигает выбранная функция) и нажать на кнопку СТИРАНИЕ (*56*) на клавиатуре ввода ПО.

Для замены слова в кадре набрать новое слово (с той же функцией), проконтролировать правильность набора по дисплею и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*).

Для вставки нового слова в кадр набрать его содержание, проконтролировать правильность набора по дисплею и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*).

Если в кадре имеются слова с одинаковой функцией (М или G), то для стирания, вставки или замены слова при наборе следует нажимать на соответствующую функции кнопку столько раз, на каком месте это слово стоит среди слов с аналогичной функцией.

4. При необходимости стереть кадр в программе (подпрограмме) набрать, как указано в п. 3, номер кадра, нажать на кнопку СТИРАНИЕ В ПАМЯТИ (*23*) и проконтролировать, чтобы на дисплее высветился следующий кадр. Ключ памяти при этом должен быть установлен в вертикальное положение.

5. При необходимости вставить кадр в программу набрать, как указано в п. 3, номер предыдущего кадра, нажать на кнопку *50* на клавиатуре ввода и проконтролировать на дисплее высвечивание маски кадра. После этого с помощью клавиатуры ввода ПО набрать вставляемый кадр, включая номер кадра, проконтролировать правильность набранной информации и нажать сначала на кнопку ВЫВОД (*51*), а затем на кнопку ВВОД (*45*).

В случае ошибки при наборе кадра необходимо нажать на кнопку СТИРАНИЕ (*56*) и вновь набрать кадр.

При вставке кадра следует обратить внимание, что номер вставляемого в программу кадра может совпадать с последующим.

6. При необходимости покадрового просмотра программы (подпрограммы) в порядке возрастания номеров кадров набрать, согласно п. 3, номер кадра, с которого желательно начать просмотр, а затем каждый раз нажимать на кнопки ВЫВОД (*51*).

7. При необходимости покадрового просмотра программы в порядке убывания номеров кадров набрать, согласно п. 3, номер кадра, с которого желательно начать просмотр, затем для каждого последующего кадра надо каждый раз нажимать последовательно на кнопки *44* и *51*.

8. Для редактирования программы РАЗМЕРЫ ИНСТРУМЕНТА следует набрать номер программы (%3XX), где XX — двузначное десятичное число, соответствующее двум младшим десятичным разрядам номера УП), последовательно нажать на кнопки *51* и *29*, а после появления на дисплее сообщения РЕДАКТИРОВАНИЕ ГОТОВ %3XX T набрать номер инструмента в пределах от 1 до 20 и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*). Проконтролировать на дисплее сообщение, причем набранный номер инструмента должен мерцать. Индицироваться будут номера и коррекции тех десяти инструментов, среди которых находится номер инструмента, вызванного для редактирования.

Для коррекции размера инструмента по координате *X* следует нажать на кнопку *37*, набрать значение коррекции и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*). Аналогично набрать значение коррекции на радиус инструмента (*R*) и нажать на кнопку ВВОД (*45*).

При вводе числовых значений коррекции следует использовать кнопку ТОЧКА (*55*) на ПО.

Одновременное введение корреции на два инструмента и более до нажатия на кнопку ВВОД (*45*) не допускается.

9. Для редактирования программы КОРРЕКЦИИ после нажатия на кнопку РЕДАКТИРОВАНИЕ (*5*) следует набрать номер программы (%4XX, где XX — двузначное десятичное число, соответствующее двум младшим разрядам УП), последовательно нажать на кнопки *51* и *35*. После появления на дисплее сообщения РЕДАКТИРОВАНИЕ ГОТОВ %4XX D набрать номер коррекции D и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*). Проконтролировать на дисплее сообщение (набранный номер коррекции должен мерцать). Для осуществления коррекции следует нажать на кнопку соответствующей координаты *X*, набрать значение коррекции и нажать кнопку ВЫВОД.

Аналогично набрать значения коррекции на перемещения по другим координатам (*Y*, *Z*), на радиус инструмента (*R*), на скорости подачи (*F*) и после этого нажать на кнопку ВВОД (*45*).

Примечание. При вводе числовых значений следует использовать кнопку ТОЧКА (*55*).

Режим преднабора. Порядок работы следующий.

1. Нажать на кнопку ПРЕДНАБОР (*4*) на клавиатуре режимов ПО и по дисплею проконтролировать наличие команды ПРЕДНАБОР ГОТОВ.

2. Набрать на клавиатуре ввода ПО содержание кадра, который надо выполнить, проконтролировать правильность набора по дисплею и нажать последовательно на кнопки ВЫВОД (*51*) и ПУСК (*76*). При наборе номер кадра не набирать.

Примечания:

1. При ошибках в процессе набора содержания кадра необходимо нажать на кнопку СТИРАНИЕ (*56*) и повторить набор снова.

2. В процессе выполнения кадра на дисплее должна высвечиваться команда РАБОТА, после выполнения — команда ГОТОВ.

3. В процессе выполнения кадра с помощью корректоров на ПО можно изменять величину скорости рабочей подачи и быстрого хода или скорости вращения шпинделя в зависимости от исполнения.

Автоматический режим. Работу необходимо выполнять следующим образом.

1. Ввести программу размеров инструмента (%3XX) в режиме ввода.

2. Ввести управляющую программу (%1XX) в режиме ввода.

3. Ввести при необходимости подпрограммы (%5XX) в режиме ввода.

4. Ввести программу коррекции (%4XX) в режиме ввода.

5. Подготовить станок к работе в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

6. Установить на станок соответствующую заготовку.

7. Нажать на кнопку АВТОМАТИЧЕСКИЙ (*2*) на клавиатуре режимов

ПО и проконтролировать по дисплею наличие команды АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГОТОВ. Задать %1XX и нажать на кнопку ВВОД (*45*).

8. Нажать на кнопку ПУСК (*76*) на ПО и проконтролировать процесс обработки детали.

Примечания:

1. После окончания обработки детали на дисплее высвечивается последний кадр УП, содержащий функцию М02. Для завершения работы в режиме АВТОМАТИЧЕСКИЙ необходимо нажать на кнопку СБРОС (*18*), при этом на экране ВКУ контролируется команда ГОТОВ.

2. При необходимости временного останова движения по координатам надо нажать на кнопку СТОП ПОДАЧИ (*75*) на ПО, для продолжения отработки УП — на кнопку ПУСК (*76*).

3. При необходимости останова (прекращения) выполнения УП следует нажать на кнопку СТОП (*74*). При этом прекращается обработка детали, в зоне 5 на экране ВКУ высвечивается сообщение СТОП ПРОГРАММЫ. Для продолжения отработки УП необходимо нажать на кнопку ПУСК (*76*) или сменить режим без потери информации.

4. Для продолжения выполнения прерванной программы обработки детали после смены режима следует воспользоваться режимом поиска кадра.

5. При отработке УП (без обработки детали) можно воспользоваться кнопками ОТМЕНА ПОДАЧИ (*16*) и ОТМЕНА ТЕХНОЛОГИИ (*17*). В первом случае происходит отработка УП без выдачи управляющих напряжений на приводы подач, во втором — без выдачи технологических команд в электроавтоматику станка.

6. В процессе обработки детали или отработки УП при необходимости можно изменять скорость рабочей подачи и скорость быстрых перемещений или вращения шпинделя в зависимости от исполнения с помощью переключателей на ПО (с соответствующей гравировкой).

7. При нажатии кнопки *9* на дисплее высвечивается следующая информация: символы X, Y, Z с числовыми значениями — координатами фактического положения исполнительных органов (с учетом размеров инструмента), символы DX, DY, DZ, с числовыми значениями — рассогласованиями между программными и фактическими значениями координат в удвоенном масштабе.

8. Для перехода при автоматическом режиме обработки детали в подрежим КАДР надо нажать на кнопку КАДР (*11*) на клавиатуре подрежимов ПО и после этого выполнять работу в подрежиме КАДР. Переход может быть осуществлен в любом месте программы.

9. При необходимости отработки кадров с признаком пропуска (/) или останова с подтверждением (М01) надо нажать на соответствующую кнопку (*12* или *13*) на клавиатуре подрежимов ПО. При этом над кнопкой загорается индикатор. Отмена действия этих кнопок производится повторным нажатием на кнопку, которая была нажата, индикатор над кнопкой гаснет.

Работа в подрежиме КАДР выполняется следующим образом.

1. Ввести необходимые программы, как в режиме редактирования.

2. Подготовить станок к работе в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

3. Установить на станок соответствующую заготовку.

4. Нажать на кнопку АВТОМАТИЧЕСКИЙ (*2*) на клавиатуре режимов ПО и проконтролировать по дисплею наличие команды АВТОМАТИЧЕСКИЙ ГОТОВ.

5. Задать %1XX и нажать на кнопку ВВОД (*45*).

6. Нажать на кнопку КАДР (*11*) на клавиатуре подрежимов ПО (над кнопкой должен загореться индикатор).

7. Нажать дважды на кнопку ПУСК (*76*) на ПО и проконтролировать отработку одного кадра программы в процессе обработки детали.

8. После индикации на дисплее команды ГОТОВ снова нажать на кнопку ПУСК и проконтролировать отработку очередного кадра программы в процессе обработки детали.

9. Нажать на кнопку ПУСК (*76*) после отработки очередного кадра до полного выполнения УП.

Примечание. Для отмены подрежима КАДР во время отработки кадра надо нажать на кнопку КАДР (*11*) на клавиатуре подрежимов ПО (гаснет индикатор над кнопкой), а после отработки кадра нажать на кнопку ПУСК (*76*).

Управляющая программа с ленты может быть введена в память системы с пульта оператора УЧПУ ручным набором, для чего необходимо:

1) выйти в режим редактирования, нажать на кнопку *21*, (высвечивается надпись ВВОД ПРОГРАММЫ С ПО);

2) набрать номер вводимой программы (%1XX), нажать на кнопку (*51*);

3) набрать содержимое вводимого кадра, нажать на кнопку (*51*), набрать

содержимое следующего кадра, начиная с его номера;

4) после набора последнего кадра, содержащего команду М2, нажать на кнопку *51*, затем на кнопку *45* и далее сменить режим.

При вводе УП с пульта оператора системы необходимо учитывать возможность стирания введенной части УП из-за ошибок оператора, поэтому целесообразно ввести программу, содержащую первый и последний кадры, а затем в режиме редактирования ввести остальные кадры.

Система позволяет начинать отработку УП с произвольно выбранного кадра, для чего необходимо:

1) нажать на кнопку *6* (высвечивается надпись ПОИСК КАДРА);

2) набрать номер отрабатываемой программы (%1XX), нажать на кнопку *51* (высвечивается надпись РАБОТА);

3) набрать номер кадра, с которого необходимо начать отработку программы, нажать на кнопку *51* (высвечивается содержание этого кадра);

4) нажать на кнопку *76* (рабочие органы станка сначала по оси *Z*, затем по осям *X* и *Y* выходят в исходное положение, высвечивается надпись ГОТОВ);

5) нажать на кнопку *76* (высвечивается надпись АВТ РАБОТА, отрабатываются технологические команды, далее рабочие органы станка сначала по осям *X* и *Y*, затем по оси *Z* выходят в точку начала требуемого кадра, высвечивается его содержание и идет отработка УП).

Режим вывода перфоленты. Последовательность работы следующая.

1. Выключить УЧПУ.

2. Подстыковать перфоратор ПЛ-150М к разъему на передней двери устройства и первичной сети питания.

Автоматический режим при считывании УП с перфоленты. Работа выполняется следующим образом.

1. В режиме ввода ввести программу ТРАНСЛЯТОР УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММ (%200) с формата Н33.

2. В режиме ввода ввести программу размеров инструмента (%3XX).

3. В режиме ввода ввести программу коррекции (%4XX).

4. Подготовить станок к работе в соответствии с инструкцией по его эксплуатации.

5. Установить соответствующую заготовку на станок.

6. Нажать на кнопку АВТОМАТИЧЕСКИЙ С ПЕРФОЛЕНТЫ (*1*) в формате Н33.

7. Включить ФСУ, нажать на кнопку Ф на ФСУ и установить перфоленту с УП в формате Н33. Нажать на кнопку ПУСК и отжать кнопку Ф на ФСУ.

8. Набрать %1XX на ПО УЧПУ, если на перфоленте с УП есть номер за символом %, или набрать %000, если на перфоленте с УП есть только символ %, и нажать на кнопку ВЫВОД (*51*). Происходит ввод перфоленты и на экране ВКУ высвечивается команда ГОТОВ.

9. Нажать на кнопку ПУСК (*76*), при этом происходит отработка УП в формате Н33.

Примечание. Работа в режиме АВТОМАТИЧЕСКИЙ С ПЕРФОЛЕНТЫ возможна только при наличии перфоленты «Транслятор с УП в формате Н33».

14.5. РАБОТА НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Многоцелевые станки с ЧПУ (рис. 14.16) являются достаточно сложными агрегатами с различными функциональными устройствами, которые в ряде случаев отсутствуют у обычных станков с ЧПУ. К таким устройствам относятся, в частности, инструментальные магазины большой емкости с механизмами АСИ, системы взаимосвязанных столов-спутников с позициями ожидания и замены, мощная система уборки и транспортирования стружки, магазин и система замены шпиндельных головок и др. (см. гл. 3).

Как уже указывалось, все современные многоцелевые станки оснащаются УЧПУ класса CNC высокого уровня. Эти УЧПУ имеют мини-ЭВМ с расширенной памятью, что позволяет хранить и использовать обширную технологическую информацию.

Все особенности многоцелевых стан-

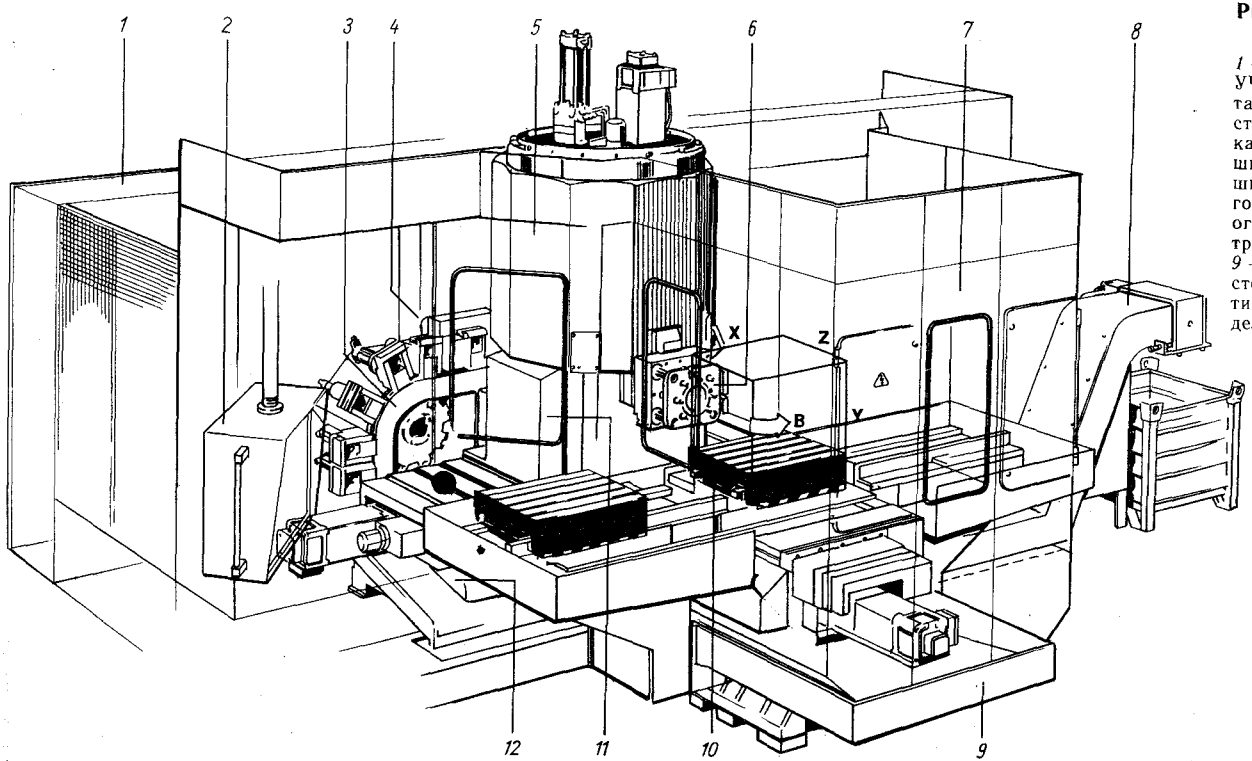


Рис. 14.16. Общий вид многоцелевого станка:

1 — электрошкаф; *2* — пульт УЧПУ; *3* — цепной инструментальный магазин; *4* — устройство АСИ; *5* — поворотная стойка с системой замены многошпиндельных головок; *6* — шпиндель (с установленной многошпиндельной головкой); *7* — ограждение; *8* — стружечный транспортер с системой очистки; *9* — поперечный стол; *10* — стол-спутник; *11* — привод вертикального перемещения шпиндельного узла; *12* — продольный стол

ков предопределяют, как правило, сравнительно длительный цикл обработки сложных деталей. Деталь с одной установки обрабатывается с нескольких сторон, причем операции и переходы резко отличаются по сложности, по количеству используемого инструмента, по уровню режимов и т. п. К тому же следует учесть высокую степень автоматизации всех процессов при работе на станках.

Важной особенностью многоцелевых станков является их работа при повышенной температуре. В связи с высоким коэффициентом использования в течение одной-двух рабочих смен подряд станок может значительно нагреваться и иметь заметные температурные деформации. Известно, что на операционных станках спустя некоторое время после начала смены происходит в связи со стабилизацией температуры стабилизация положения рабочих органов. Для МС не существует столь строгой зависимости, так как непрерывно меняются режимы, высокие скорости вращения шпинделя чередуются с низкими. Зависимость температурных деформаций от времени приобретает характер сложной колебательной функции, в которой разогрев узлов и механизмов чередуется с их остыванием. Размах колебаний зависит от продолжительности отдельных инструментальных переходов и частот вращения шпинделя. Поэтому характер температурных деформаций узлов станка необходимо учитывать при разработке УП. Взаимосвязанные поверхности не следует обрабатывать на резко отличающихся режимах. В начале работы, когда станок еще холодный, необходимо выделить 15—20 мин для его разогрева, а затем поднастроить положение нуля программы. Этот нуль следует периодически проверять. В работе станка необходимо предусматривать паузы.

Определенные особенности имеет характер работы многоцелевых станков, входящих в состав участков и линий ГПС, в полностью автоматическом режиме [60]. Поэтому приведем лишь общую схему подготовки станка к работе.

Разнообразие многоцелевых станков предопределяет различные схемы их настройки. Поэтому приведем лишь общую схему подготовки станка к работе.

Общая схема подготовки станка к работе. После доставки к станку налаженных на размер инструментов и крепежных приспособлений наладку станка (а в дальнейшем и его работу) можно осуществлять по следующей схеме.

1. Установить приспособления на основной стол станка и на сменные столы-спутники в позиции ожидания и замены.

2. Расставить налаженные на размер инструменты или в соответствующие гнезда магазина (при кодировании гнезд), или в последовательности использования, или произвольно (при кодировании инструмента).

3. Сверить фактические координаты вершин режущих кромок с запрограммированными, ввести в УЧПУ соответствующие значения коррекции на длину инструментов.

4. Сверить фактические диаметры фрез с запрограммированным и ввести с пульта в УЧПУ соответствующие значения коррекций на радиусы, равные половине разности указанных диаметров.

Примечание. В ряде станков данные инструмента для коррекции вводятся отдельно и сразу с перфоленты. Существует вариант загрузки магазина станка инструментом с помощью системы АСИ при одновременном автоматическом вводе в УЧПУ коррекции на длину (диаметр) инструмента. Для этого инструмент вручную устанавливают в шпинделе станка, а на пульте УЧПУ набирают код инструмента и номер соответствующего корректора. Инструмент на ручной подаче доводят базовой точкой (вершиной) до упора в базовую (нулевую) поверхность приспособления. Значение его вылета, определяемое по табло индикации, вводят с пульта в УЧПУ. Это и есть действительная величина коррекции. Далее с помощью системы АСИ инструмент загружается в нужное гнездо магазина, а в шпинделе устанавливается следующий и т. д. Данные для коррекции каждого инструмента хранятся в памяти ЭВМ УЧПУ и вызываются в случае необходимости командами УП. Рассмотренный метод делает излишними предварительную настройку и измерение инструмента.

5. Используя индикаторную оправку и мерный настроечный кубик, найти

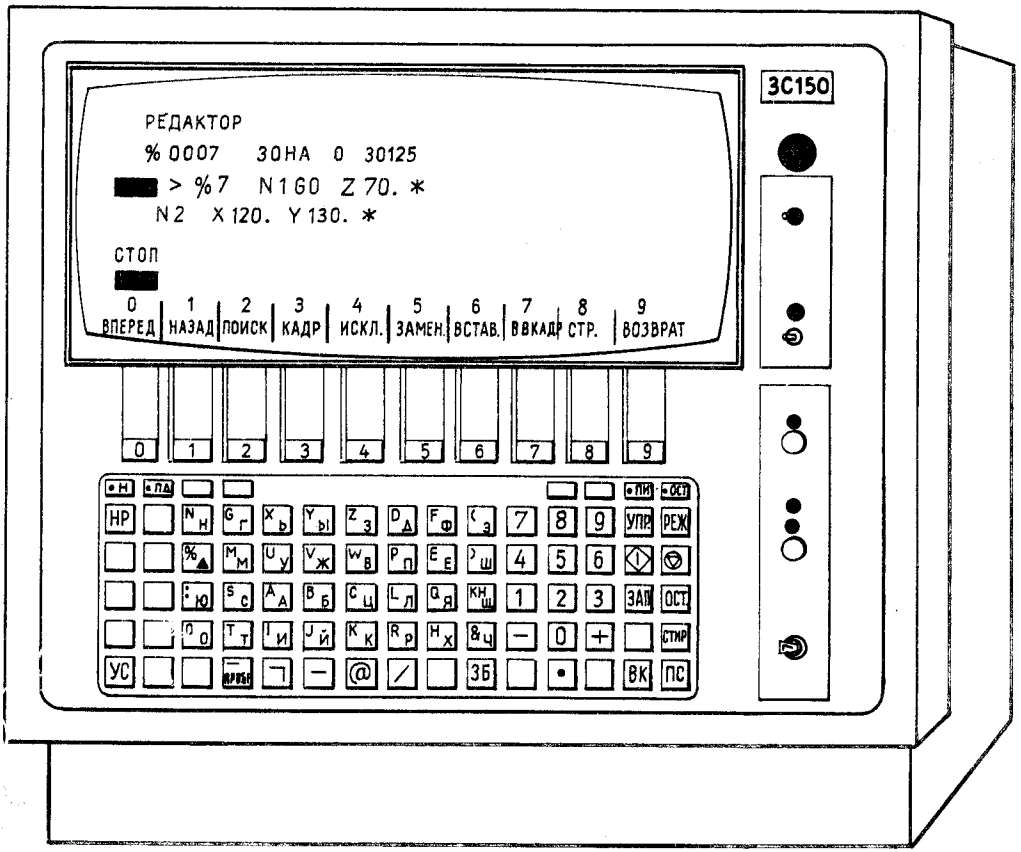


Рис. 14.17. Общий вид УЧПУ модели ЗС150

положение нуля программы, вернуть рабочие органы станка в нуль станка.

6. Ввести с пульта в УЧПУ требуемые по УП значения смещений рабочих органов из нуля станка в нуль программы.

7. Установить в фотосчитывающее устройство (ФСУ) перфоленту и ввести в УЧПУ управляющую программу.

Примечание. Современные УЧПУ многоцелевых станков не имеют встроенных ФСУ. В эти станки исходная УП вводится с перфоленты с помощью переносного ФСУ, с магнитной кассеты или диска и хранится в памяти УЧПУ, так же как и отредактированная рабочая УП. Возможен также ввод УП с пульта УЧПУ или по каналам связи от базовой ЭВМ.

8. Проверить введенную в УЧПУ программу моделированием процесса обработки на экране дисплея. Выполнить редактирование УП.

9. Проверить УП на станке в холостом режиме, отрабатывая УП отдельными кадрами.

10. Обработать первую деталь, контролируя траекторию, заданную УП, на экране дисплея. Контролировать деталь по отдельным параметрам. Ввести коррективы в УП.

Кратко рассмотрим организацию основных режимов на многоцелевом станке с УЧПУ класса CNC. Станком можно управлять как с пульта станка, так и с пульта оператора УЧПУ.

Управление станком с пульта, расположенного на станке. С пульта станка можно задать следующие режимы:

наладка; в этом режиме осуществимы безразмерные или фиксированные перемещения исполнительных органов станка

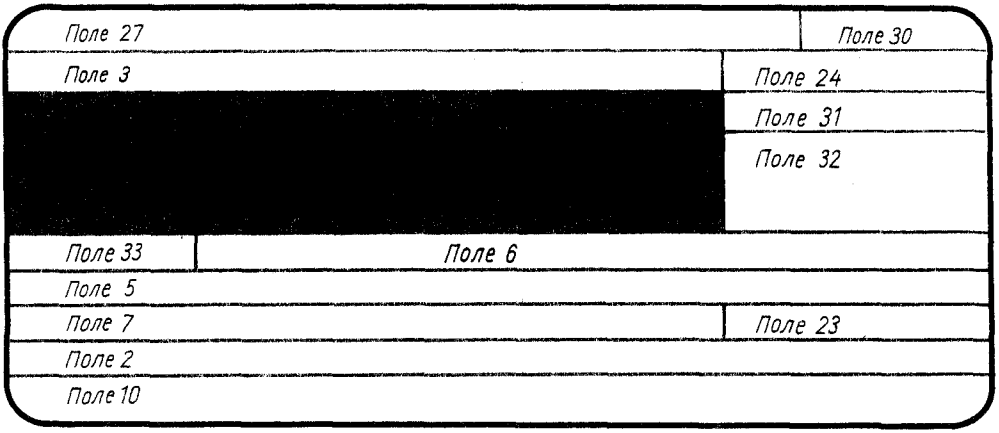


Рис. 14.18. Поля для информации на дисплее в одном из режимов работы УЧПУ

и управление электроавтоматикой станка с пульта оператора УЧПУ;

исходное положение — перемещение исполнительных органов станка в исходную точку по координатам;

выход в точку — перемещение исполнительных органов станка в точку, предшествующую найденному (указанному) кадру УП, т. е. возврат на траекторию;

штурвал — перемещение исполнительных органов станка соответствующими штурвалами.

Управление станком с пульта оператора УЧПУ (рис. 14.17). Работа с УЧПУ в диалоговом режиме позволяет быстро наладить станок на выполнение требуемой УП и запустить его в работу. Активность оператора значительно возрастает, если модель УЧПУ позволяет широко использовать для проработки различных режимов принцип режимного «меню». Такие модели обычно имеют ряд многофункциональных клавиш, что позволяет быстро переходить из основного режима в подрежим, а из подрежима в следующий подрежим, возвращаться в группу основных режимов и т. д. В общем случае УЧПУ, управляющее станком в диалоговом режиме, имеет развитый пульт оператора с дисплеем. Дисплей обеспечивает основную индикацию потоков информации при работе УЧПУ. Чтобы повысить точность работы, на экране дисплея в каждом режиме УЧПУ для определенной информации выделяются определенные участки (поля) (рис. 14.18).

В общем случае при работе с пульта УЧПУ можно задать следующие режимы подготовки и работы станка:

ввод/вывод УП или другой информации; информацию в оперативную память ЭВМ и УЧПУ можно вводить с перфоленты через фотосчитывающее устройство, с пульта оператора ручным набором или по каналам связи от внешней ЭВМ; а выводится информация на одно из периферийных устройств ЭВМ, например на перфоратор (перфоленту) или пишущее устройство;

библиотека УП; в этом режиме просматривается и формируется в памяти ЭВМ УЧПУ библиотека УП;

редактирование — изменение введенной (имеющейся) информации УП с пульта оператора;

коррекция — работа с корректорами станка и УЧПУ;

автомат — рабочий режим, в котором заданная УП отрабатывается станком;

тест — проверка работоспособности УЧПУ, станка и принятой УП.

очистка — очистка оперативной памяти ЭВМ УЧПУ и обнуление элементов электроавтоматики;

установка — формирование программного обеспечения под конкретную модель станка.

При подготовке станка к работе

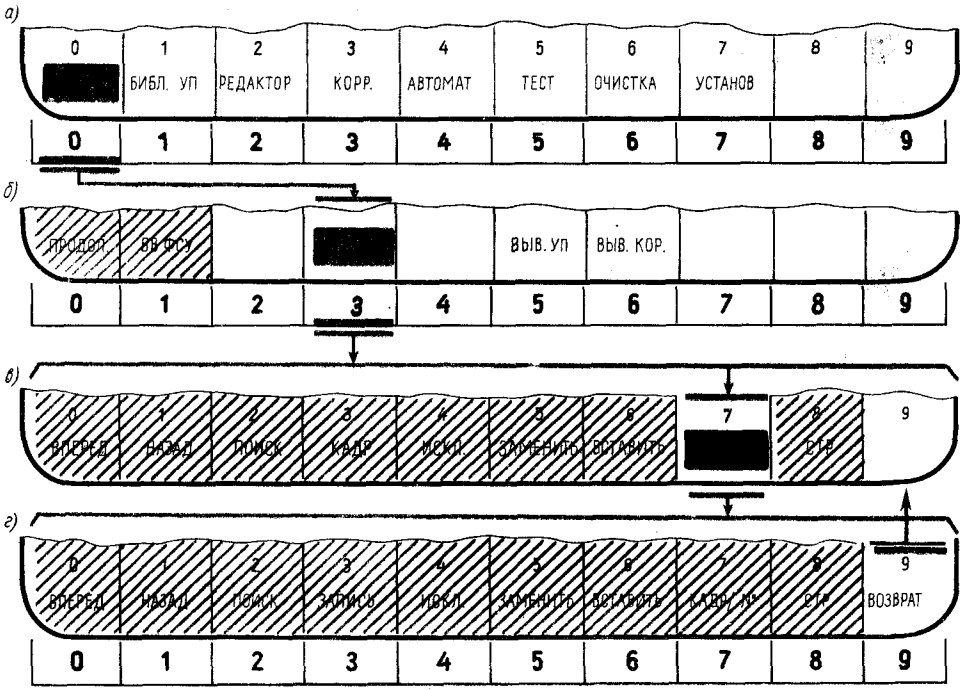


Рис. 14.19. Подрежимы ввода/вывода на экране дисплея

режимы и подрежимы задаются многофункциональными клавишами 0—9 (см. рис. 14.17). При этом на поле *2* (рис. 14.18) индицируется номер нажатой клавиши, а на поле *27* — название режима (подрежима). Поле задействованного режима подсвечивается.

Часть клавиатуры пульта оператора — двухрегистровая. Нижний регистр используется для задания символов русского алфавита, например при записи комментариев к тексту УП. Переключаются регистры нажатием кнопки «РЕЖ». На нижнее поле экрана дисплея выводится перечень основных режимов (рис. 14.19, *а*). При этом на экране высвечивается информация о состоянии УЧПУ и станка.

Подрежим ввода УП устанавливается в УЧПУ при нажатии функциональной клавиши 0. При этом на экран дисплея выводится меню подрежимов ввода/вывода (рис. 14.19, *б*). В предложенном меню клавиши 0 и 1 (заштрихованы на рисунке) являются функциональными, а клавишами 3, 5, 6 вызываются последующие подрежимы. Так, клавишей 3 вызывается подрежим ввода УП с пульта оператора (рис. 14.19, *в*), где все клавиши, кроме 7, являются функциональными. Седьмой же клавишей вызывается уже следующий уровень подрежимов — подрежимы ввода кадра УП (рис. 14.19, *г*). Клавиша 9 обеспечивает возврат к вышерасположенным подрежимам.

Для ввода УП с ФСУ необходимо подготовить это устройство к работе и установить перфоленту. Вызвав режим «ВВ/ВЫВОД» нажатием клавиши 0, следует затем нажать на клавишу 1, которая будет иметь значение «ВВ ФСУ». На дисплее при этом (рис. 14.20, *а*) будут высвечены (поле *27*, см. рис. 14.18) основной режим «ВВ/ВЫВОД», номер зоны оперативной памяти УЧПУ («0») и свободная емкость памяти зоны в байтах (например, 32122). Надпись «СТОП» означает, что станок не работает. Название подрежима на клавише 1 («ВВ ФСУ») подсвечено. Окончание ввода программы с перфоленты указывается на экране дисплея (рис. 14.20, *б*) информацией «ИСПОЛНЕНО» (поле *23*,

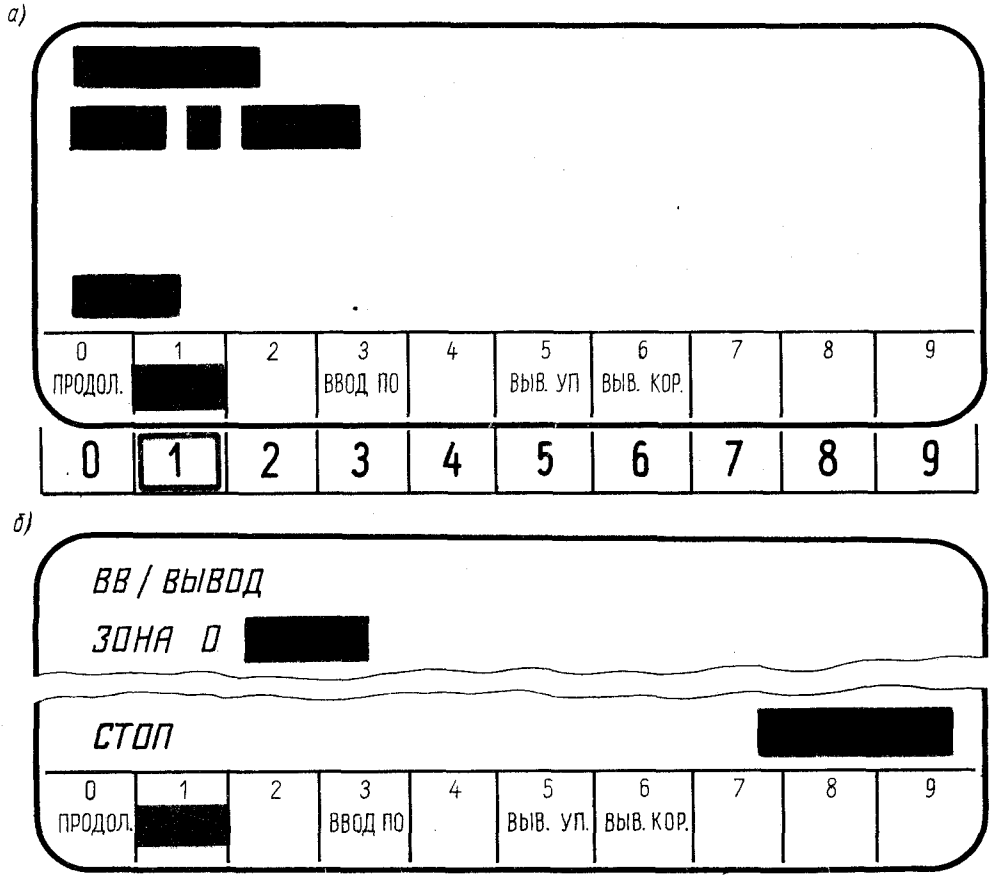


Рис. 14.20. Индикация на дисплее в подрежиме «ВВ ФСУ»

см. рис. 14.18), при этом высвечивается оставшийся объем оперативной памяти в зоне «0» (например, 29256).

Подрежим ввода УП с пульта оператора («ВВОД ПО») включается нажатием клавиши 3 (см. рис. 14.19, *б*). При этом в УЧПУ автоматически устанавливается выбранная зона памяти с указанием свободной емкости этой зоны в байтах, например «ЗОНА 0 29256» (рис. 14.21, *а*), высвечивается символ начала УП с нулями: % 0000. В начале поля *1* дисплея (см. рис. 14.18) индицируются символ > («больше»), указывающий направление ввода информации, символ начала УП %, символ конца кадра («звездочка») и символ конца информации. В нижней части экрана дисплея (в зоне *10* — см. рис. 14.18) задается список подрежимов для ввода УП с пульта оператора (рис. 14.21, *а*). В процедурах занесения, редактирования, определения места информации УП участвует маркер (светящийся прямоугольник), который перемещается нажатием клавиш «ВПЕРЕД», «НАЗАД».

При каждом нажатии клавиши положение маркера изменяется на один адрес УП вправо или влево соответственно.

Действия оператора по вводу информации УП следующие:

маркер устанавливается перед символом конца кадра (*);

на клавиатуре пульта набирается необходимый адрес с числовым значением; при этом набираемая информация индицируется в поле *7* дисплея (под надписью «СТОП»);

нажатием клавиши 6 («ВСТАВИТЬ») информация записывается в строке поля *1* дисплея;

клавишей 0 («ВПЕРЕД») маркер

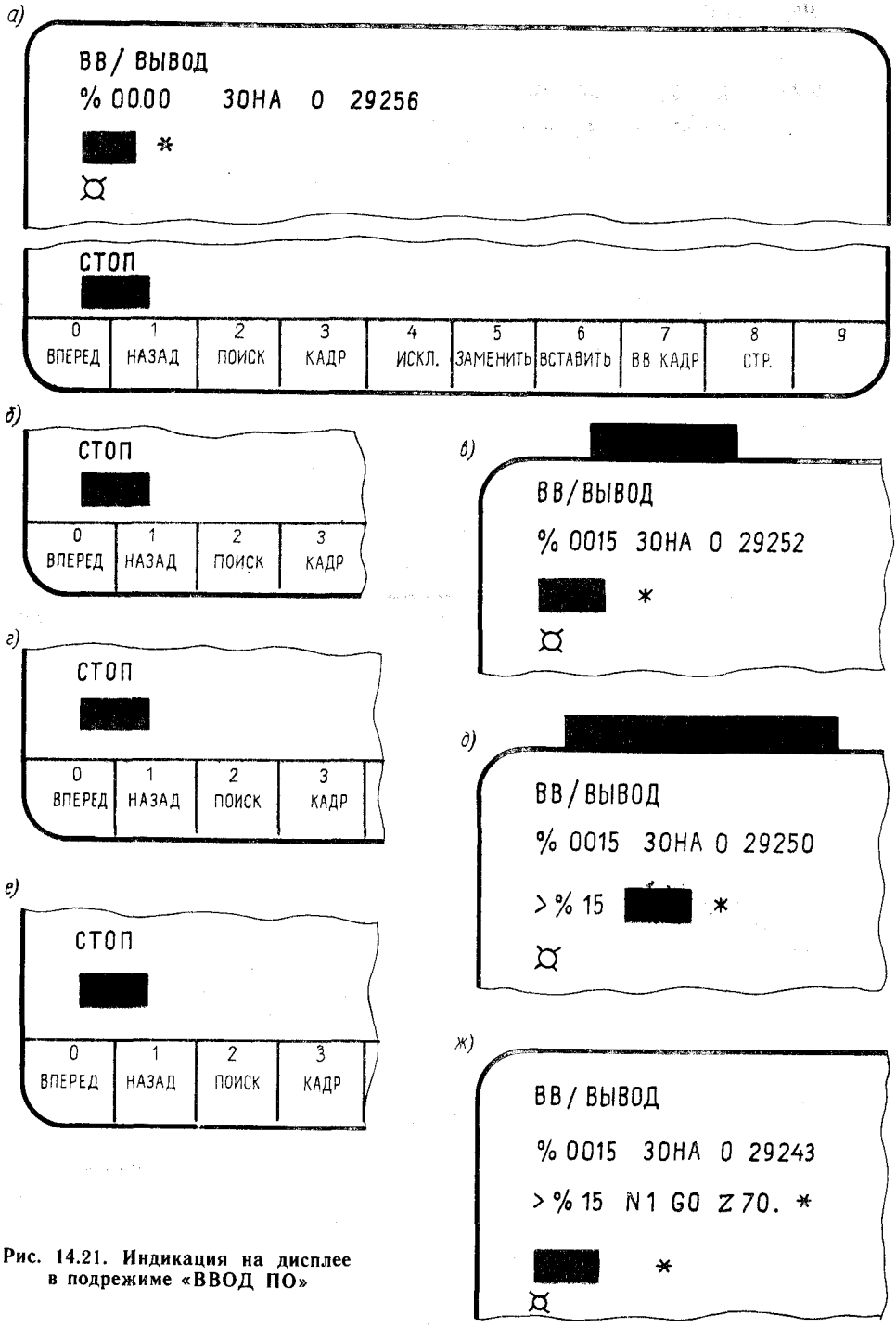


Рис. 14.21. Индикация на дисплее в подрежиме «ВВОД ПО»

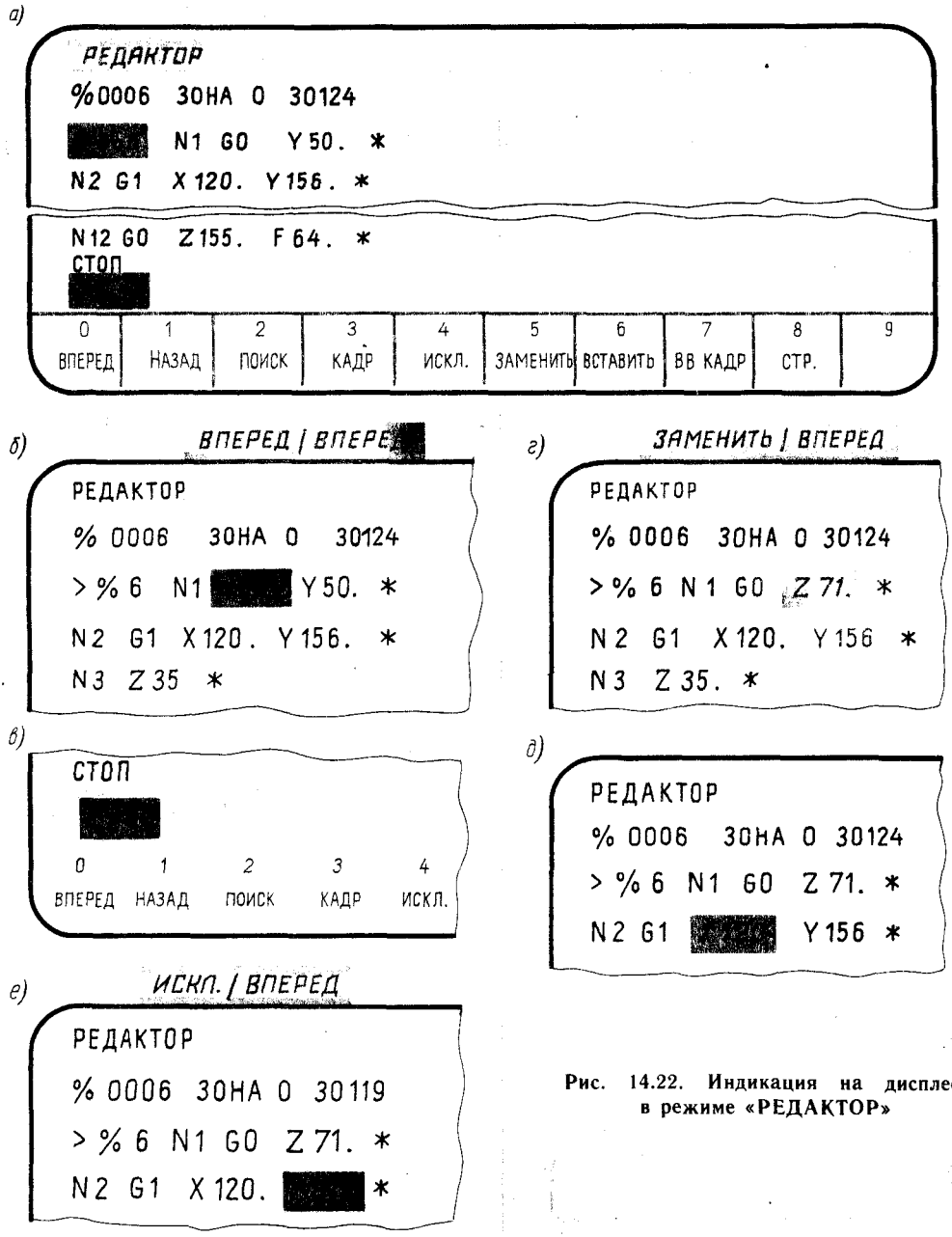


Рис. 14.22. Индикация на дисплее в режиме «РЕДАКТОР»

перемещается на введенную часть информации, т. е. в положение перед «звездочкой»;

с клавиатуры пульта набирается следующий адрес кадра и т. д.;

набор кадра завершается нажатием клавиши ПС (конец кадра) на клавиатуре пульта. При этом маркер автоматически устанавливается на начало следующей строки УП. После ввода определенного количества строк УП (двенадцать строк) маркер автоматически выходит в начальную позицию для записи следующей «страницы» УП.

Пример. *Порядок действий при вводе подрежима «ВВОД ПО» для состояния УЧПУ,*

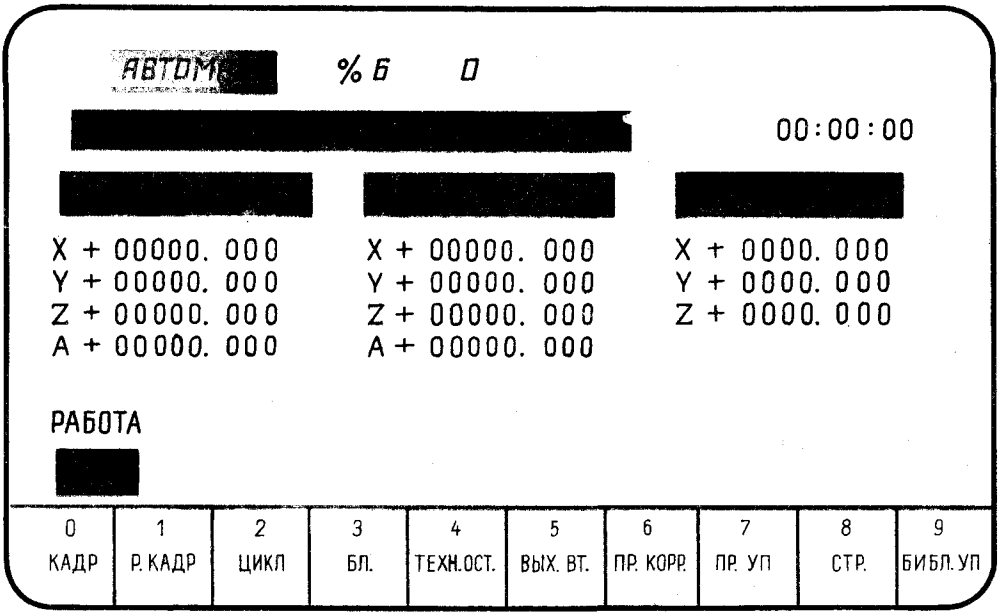


Рис. 14.23. Индикация на дисплее в режиме «АВТОМАТ»

определенного на рис. 14.21, а. На клавиатуре пульта оператора набираем цифру 15, на поле индикации вводимой информации эта цифра показывается (рис. 14.21, *б*). Нажимаем клавишу 6 («ВСТАВИТЬ»), и номер программы записывается в строке на экран дисплея (рис. 14.21, *в*). При этом поле маркера автоматически увеличивается за адресом % на величину введенной цифры.

На клавиатуре пульта набираем адрес N и число 1 (кадр номер один). На поле индикации вводимой информации высвечивается N1 (рис. 14.21, *г*). Нажатием клавиши «ВСТАВИТЬ» информация записывается в строку УП. Клавишей «ВПЕРЕД» маркер смещается на шаг, занимая место перед «звездочкой» (рис. 14.21, *д*). Далее с клавиатуры пульта вводим (рис. 14.21, *е*) G0 («ВСТАВИТЬ», «ВПЕРЕД»), Z70 («ВСТАВИТЬ», «ВПЕРЕД»). После нажатия клавиши ПС («ВСТАВИТЬ», «ВПЕРЕД») маркер устанавливается в начале второй строки УП (рис. 14.21, *ж*).

Текст УП редактируется *в режиме «РЕДАКТОР»*, который имеет ряд подрежимов. Редактировать можно или только что введенную УП, или вызванную из библиотеки и хранящуюся в памяти УЧПУ. «Страница» УП высвечивается на экране дисплея (рис. 14.22, *а*). Заменять какую-либо информацию надо следующим образом. Клавишами «ВПЕРЕД» («НАЗАД») маркер устанавливают перед адресом, который надо изменить (рис. 14.22, *б*). На пульте оператора набирают необходимое слово (адрес и число), например Z71 (рис. 14,22, *в*). Нажатием клавиши «ЗАМЕНИТЬ» набранное слово записывается в кадр, после чего маркер клавишей «ВПЕРЕД» смещают на измеренное слово (рис. 14.22, *г*). Для исключения слова маркер устанавливают перед этим словом (рис. 14.22, *д*) и нажимают на клавишу «ИСКЛЮЧИТЬ», после чего маркер необходимо перевести на шаг вперед (рис. 14.22, *е*).

В *режиме «АВТОМАТ»* работой станка управляет УЧПУ. В этом режиме много подрежимов (рис. 14.23), что обеспечивает большие возможности при эксплуатации УЧПУ. Прежде всего при работе станка возможен вызов на экран дисплея большого количества информации, характер которой определяется выбором соответствующей страницы (клавиша 8). Нажатие клавиши увеличивает номер страницы на единицу. При общем числе страниц десять нулевая страница (и несколько других) обеспечивает текущую информацию о работе станка с указанием номера отрабатываемой УП, номера отрабатываемого кадра

УП (N), номера типовой подпрограммы, к которой было обращение (L), номер кадра в подпрограмме (N), числа повторений участка подпрограммы (H), значения подачи (F), реальной частоты вращения шпинделя (S) и номера работающего инструмента (T). При необходимости символы информации можно представлять в увеличенном или уменьшенном масштабе. В увеличенном масштабе выводится, например, информация о текущем кадре УП, а в уменьшенном — информация одновременно с нескольких страниц.

Подрежимы «БИБЛ. УП», «ПР. УП» (просмотр программы), *«ПР. КОРР.»* (просмотр корректоров) позволяет при работе станка выбрать УП, редактировать ее и т. д., что позволяет совместить процесс работы на станке с процессом программирования. При этом работа над новой УП осуществляется в зонах оперативной памяти УЧПУ, не содержащих УП, отрабатываемую в данный момент.

В *подрежимах «КАДР» и «Р. КАДР»* ведется покадровая отработка программы, а в *подрежиме «ЦИКЛ»* — отработка цикла. *Подрежимы «ТЕХН. ОСТ.»* (технологический останов), *«ВЫХ. В Т.»* (выход в точку), *«БЛ.»* (блокировка станочных констант) осуществляют управление станком в соответствии с их назначением.

Большие возможности обеспечивает работа УЧПУ в *режиме «ТЕСТ»*, подрежимы которого позволяют выводить на экран дисплея графическую информацию как при проверке УП, так и при ее отработке.

Диагностика режущего инструмента. В многоцелевых станках, работающих в автоматическом режиме в составе автоматизированных участков, широко используются различные системы диагностики режущего инструмента [60]. Наиболее распространенным способом контроля текущего состояния инструмента является измерение какого-либо силового фактора процесса резания.

Устройство управления контролем (такие устройства получили название мониторов) для рассмотренного метода должно быть предварительно обучено. В процессе обучения при работе новым инструментом (рис. 14.24) в память монитора поступают данные о фактических условиях резания. Затем в производственном цикле эти данные служат ориентиром для оценки фактического состояния инструмента. По выбору технолога устанавливают одно из двух возможных ограничений: непревышение максимального значения нагрузки от сил резания, невыход за границы верхнего и нижнего пределов допустимых отклонений от номинального (экспериментального) значения нагрузки. Наиболее оптимальной схемой контроля является одновременное измерение двух силовых параметров резания: вращающегося момента на шпинделе и усилия подачи. Такой суммарный контроль позволяет разработать модель, уверенно идентифицирующую изнашивание и поломку инструмента. Это позволяет заменить инструмент в необходимый момент, что осуществляется обычно автоматически.

Инструментальные мониторы, выполняющие функции контроля и диагностирования инструмента, являются достаточно сложными микропроцессорными системами, располагающими цифровыми и аналоговыми входами и выходами. Помимо текущего контроля за силовыми характеристиками процесса резания монитор собирает информацию о времени фактического использования каждого режущего инструмента для своевременной его замены. При соответствующем ПМО монитор становится главным звеном в контуре адаптивного управления станком (этот контур обычно замыкается через УЧПУ). В системе адаптивного предельного управления монитор, активно используя данные наблюдения за процессом резания, обеспечивает предохранение станка и приспособлений по верхнему уровню крутящего момента. При этом осуществляются также защита инструмента по соответствующим допустимым уровням нагрузки на каждый инструмент. Определенный уровень нагрузки (низкий) может быть использован для включения — выключения подачи СОЖ. Таким образом, охлаждение всегда будет выключено, пока не происходит процесс резания.

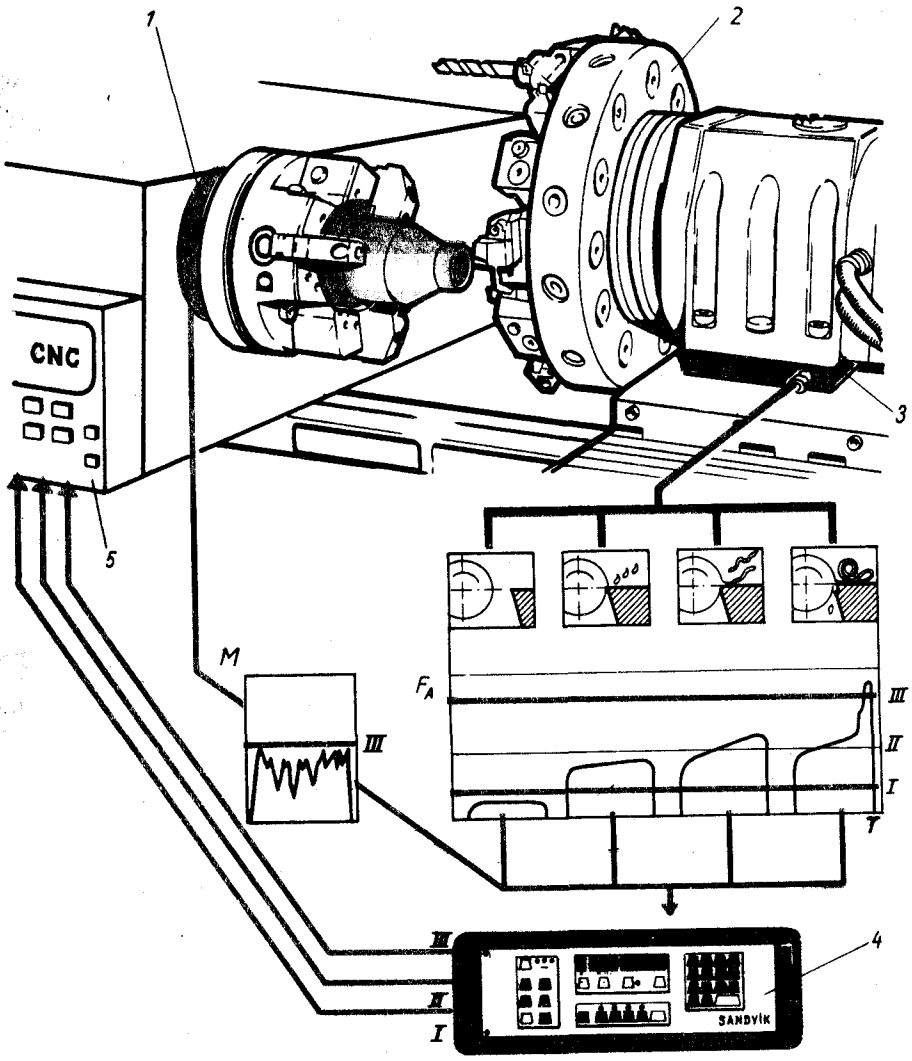


Рис. 14.24. Схема диагностики режущего инструмента на токарном станке:

1 — датчик крутящего момента *M*; *2* — револьверная головка; *3* — датчик осевого усилия F_A; *4* — устройство контроля инструмента (монитор); *5* — УЧПУ

Нижние уровни нагрузок, определяемые монитором, могут служить также для фиксации момента соприкосновения инструмента с заготовкой, что используется в различных целях. При определенных верхних уровнях силовых параметров по команде монитора можно полностью отключить станок или автоматически плавно уменьшить подачу при поддержании заданных значений сил резания. В рассмотренной системе монитор, как правило, выполняет функции контроля и диагностирования инструмента в полной мере, а функции принятия решений — частично. Поэтому обычно монитор связан каналами управления с УЧПУ станком, с имеющимися в системе управления станком программируемыми контроллерами и с диспетчерским терминалом гибкой производственной ячейки, в которой работает данный станок.

14.6. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Экономическая эффективность обработки деталей на станках с ЧПУ является важным показателем, определяющим область их применения, возможность и необходимость использования в проектируемом технологическом процессе. Станки с ЧПУ — более дорогостоящие по сравнению со станками, имеющими ручное управление. Экономический эффект от их внедрения может быть обеспечен за счет повышения производительности обработки, увеличения коэффициента загрузки, а также выполнения других заранее предусмотренных мероприятий (при подготовке программ и размерной наладке).

Критерии экономической эффективности. Критериями экономической эффективности обработки на станках с ЧПУ являются: годовой экономический эффект $Э_г$, срок окупаемости затрат $T_{ок}$, экономический эффект на весь срок службы оборудования $Э_р$ и снижение себестоимости обработки Δ_c.

Расчеты экономической эффективности от применения станков с ЧПУ основаны на сравнении снижения себестоимости обработки с дополнительными капитальными вложениями. *Минимальные приведенные затраты* служат обобщенным экономическим показателем обработки на станках с ЧПУ:

$$П = C + E_н K_в,$$

где $П$ — минимальные приведенные затраты, руб.; C — себестоимость обработки, руб.: $E_н$ — нормативный коэффициент народнохозяйственной эффективности капитальных вложений ($E_н = 0{,}15$); $K_в$ — капитальные вложения, руб.

Годовой экономический эффект (руб.) определяется как экономия от внедрения станка с ЧПУ за счет разности годовых приведенных затрат на изготовление одинакового объема продукции:

$$Э_г = П_1 - П_2 = (C_1 + E_н K_1)\beta - (C_2 + E_н K_2).$$

Здесь $П_1$, $П_2$ — приведенные затраты за год работы соответственно по базисному и новому вариантам, руб.; C_1, C_2 — себестоимость обработки, производимой в течение года, руб.; K_1, K_2 — капитальные вложения соответственно в основные фонды и в оборотные средства, руб.; β — коэффициент приведения затрат по базисному варианту к годовому объему производства на новом станке с ЧПУ:

$$\beta = xy,$$

где x — коэффициент сравнительной производительности нового станка с ЧПУ (по отношению к базисному); y — коэффициент, представляющий собой отношение годовых фондов оперативного времени работы нового станка с ЧПУ и базисного.

Годовой экономический эффект, как видно из формулы, тем больше, чем больше коэффициент приведения β, чем меньше себестоимость C_2 и дополнительные капитальные вложения в производственные фонды K_2. При этом коэффициент сравнительной производительности (он всегда больше единицы) увеличивает приведенные затраты по базисному варианту и уменьшает их по новому варианту. Увеличение капитальных вложений K_2 ведет к уменьшению годовой экономии.

Капитальные вложения в производственные фонды K состоят из капитальных вложений в основные фонды и оборотные средства. Капитальные вложения в основные фонды состоят из расходов на оборудование, здания, занимаемые оборудованием, служебно-бытовые объекты (бытовые помещения, столовые), аппаратуру для записи и контроля управляющих программ. Капитальные вложения в оборотные средства включают расходы на приспособления, управляющие программы, незавершенное производство, подготовку кадров.

Но все статьи капитальных вложений будут возрастать при переводе обработки детали на более совершенный станок с ЧПУ. В случае применения станка с упрощенной системой ЧПУ разница между капитальными затратами по базисному и новому вариантам может быть незначительной даже по оборудованию.

Срок окупаемости капитальных затрат $T_{ок}$ (годы)

$$T_{ок}=(K_2-\beta K_1)/(\beta C_1-C_2).$$

Обработка на новом станке будет эффективна при $T_{ок}<1/E_н$. При нормативном значении $E_н=0{,}15$ срок окупаемости $T_{ок}<6{,}7$ года.

Экономический эффект за весь срок работы станка с ЧПУ $Э_р$ (руб.) определяют по формуле

$$Э_р=Э_г/[\alpha\ (1/T_2+E_н)],$$

где $\alpha=1{,}1$ — коэффициент, учитывающий затраты на доставку и монтаж оборудования; T_2 — срок службы нового станка с ЧПУ, лет (принимается по нормам амортизационных отчислений на полное восстановление металлорежущего оборудования).

Себестоимость обработки деталей на станках с ЧПУ. Существенное значение для повышения эффективности станков с ЧПУ имеет снижение себестоимости обработки, определяемое по формуле

$$\Delta C=\beta C_1-C_2.$$

Эта формула учитывает только изменяющиеся прямые затраты и расходы на содержание оборудования, зданий, сооружений и амортизационные отчисления.

Себестоимость обработки детали наиболее просто выразить как функцию заработной платы станочника и накладных расходов (в процентах к этой заработной плате), например по формуле

$$C_{об}=L\ (1+z/100),$$

где L — основная заработная плата производственных рабочих; z — доля цеховых расходов от L, % (величина z зависит от степени автоматизации и организации производства).

Расчеты себестоимости обработки на станках с ЧПУ показывают, что накладные расходы z составляют 140 % для станков с ЧПУ первого поколения, 600 % для сверлильного станка с ЧПУ с шестишпиндельной револьверной головкой.

Для получения более точных результатов по снижению себестоимости при внедрении обработки на станке с ЧПУ ее рассчитывают по всем изменяющимся статьям в сравнении с базисным вариантом. Изменяющимися статьями затрат являются заработная плата станочника и наладчика (основная и дополнительная, включая отчисления на социальное страхование); затраты на настройку инструмента вне станка; затраты на инструментальную оснастку (режущий и вспомогательный инструмент); затраты на содержание специальных приспособлений и на силовую электроэнергию; затраты на подготовку управляющих программ за год работы станка; затраты на отладку программ на станке; амортизационные отчисления на полное восстановление оборудования; затраты на амортизацию и содержание (освещение, отопление, вентиляцию, уборку и ремонт) здания, занимаемого оборудованием; затраты на текущий и капитальный ремонты и техническое обслуживание оборудования и электронных устройств; затраты на транспортировку и контроль деталей.

При определении годовой экономии $Э_г$ в себестоимость C_1 необходимо включить себестоимость всех операций, которые выполнялись по базисному варианту, а после перевода обработки на станок с ЧПУ исключить такие операции, как, например, разметка, слесарная подгонка при сборке и др. В ряде случаев на станках с ЧПУ (особенно фрезерных) значительную долю в годовой экономии дает уменьшение массы деталей вследствие того, что программа обработки рассчитывается по номинальным размерам, а на станках с ручным управлением во избежание неисправимого брака детали обрабатывают по наибольшим наружным и наименьшим внутренним размерам, при этом минимально используется допуск.

Эффективность использования станков с ЧПУ определяется не только экономическими показателями. Не меньшее влияние на выбор решения по их применению оказывают и причины социального характера, к числу которых прежде всего относятся социальные факторы, связанные с рабочей силой. Кроме

обеспечения предприятий рабочей силой следует учитывать изменения в условиях труда станочников (наладчиков и операторов) на станках с ЧПУ; соответствие уровня интеллектуального развития и потребностей в производственной деятельности человека, имеющего в настоящее время, как минимум, среднее образование; утомляемость; возможность многостаночного обслуживания и т. п. По всем перечисленным показателям рабочий, работающий на станках с ЧПУ, имеет неоспоримые преимущества перед любым высококвалифицированным станочником, работающим на токарных, фрезерных и других станках с ручным управлением.

Стоимость приобретения и эксплуатации станков с ЧПУ в несколько раз больше, чем обычных металлообрабатывающих станков. Стоимость инструмента при этом остается на уровне верхнего предела диапазона стоимости инструментов для обычных станков. Поэтому в программе выбора оптимальных параметров обработки должны быть рассчитаны экономическая стойкость инструмента и связанная с ней скорость резания. Таким образом, при обработке на станках с ЧПУ (по сравнению с универсальными) изменяется соотношение K_N/K_0, где K_N — расходы, связанные с эксплуатацией инструмента; K_0 — расходы, связанные с эксплуатацией станка. Это обусловливает необходимость уменьшения рекомендуемой стойкости инструмента и применения больших скоростей резания в целях обеспечения экономичности обработки [76].

Основные направления повышения эффективности обработки на станках с ЧПУ. Анализ процесса преобразования информации в системе чертеж — деталь и производственного опыта по использованию станков с ЧПУ позволяет уточнить основные направления и пути повышения эффективности обработки на станках с ЧПУ:

1) автоматизация всех уровней процесса подготовки управляющих программ с целью минимизации затрат на них и оптимизации процесса обработки на станке с ЧПУ;

2) управление станками от ЭВМ;

3) адаптивное управление станками с ЧПУ и оснащение их датчиками;

4) расширение технологических возможностей станков с ЧПУ;

5) совершенствование устройства ввода управляющей информации и создание упрощенных систем программного управления станками;

6) оснащение станков устройствами автоматической загрузки и разгрузки;

7) повышение надежности станков с ЧПУ;

8) улучшение использования эксплуатации станков с ЧПУ.

Необходимое условие получения наибольшей эффективности — правильный подбор деталей для обработки на каждом из конкретных станков с ЧПУ, обоснованный технико-экономическими расчетами в соответствии с известными методиками [43, 58, 76].

Необходимое и достаточное условие получения оптимального эффекта — пересечение некоторого множества направлений повышения эффективности с правильным подбором объекта обработки (детали).

Рассмотрим кратко факторы, обеспечивающие критерии оптимальности обработки на станке с ЧПУ.

Факторы, обеспечивающие *снижение себестоимости обработки:*

1) правильный подбор и технологичность детали для обработки на конкретном станке с ЧПУ;

2) внедрение оптимального технологического процесса с минимизированной длиной траектории рабочего и холостого путей инструмента;

3) использование оптимальных режимов резания;

4) обеспечение наименьших затрат времени на холостой ход;

5) концентрация операций;

6) адаптивное управление процессом обработки по избранным параметрам;

7) исключение потерь рабочего времени, вызываемых межкадровыми паузами при вводе управляющей информации;

8) многостаночное обслуживание станков;

9) повышение точности заготовки, уменьшение снимаемых припусков;

10) оптимизация построения маршрутной и операционной технологии;

11) минимизация затрат на управляющую программу;

12) уменьшение затрат на инструмент в результате уменьшения его износа;

13) уменьшение цикла подготовки и времени наладки и отладки при применении переналаживаемых приспособлений многократного использования;

14) повышение коэффициентов загрузки и сменности.

Факторы, обеспечивающие *повышение производительности труда* при обработке деталей на станках с ЧПУ:

1) факторы 1—10 и 13, 14, минимизирующие себестоимость обработки;

2) автоматическое дробление вьющейся стружки и уборки ее из рабочей зоны станка;

3) многоинструментальная обработка и автоматическая смена инструмента;

4) автоматическая смена шпиндельных узлов;

5) параллельно-последовательная и параллельная обработка;

6) создание автоматических участков и линий станков с ЧПУ, управляемых от ЭВМ, в которых для транспортирования, загрузки и разгрузки деталей используются промышленные роботы;

7) применение сборного и комбинированного многолезвийного инструмента;

8) повышение надежности станков с ЧПУ и всей аппаратуры.

Факторы, обеспечивающие *минимум приведенных затрат и максимум годового экономического эффекта:*

1) минимизация себестоимости обработки детали;

2) максимальное повышение производительности труда;

3) уменьшение капитальных вложений на оборудование, здания и сооружения, незавершенное производство, приспособления, управляющие программы, подготовку кадров.

Уменьшение длительности цикла подготовки управляющих программ и уменьшение их стоимости достигается автоматизацией процесса технологической подготовки, включая программирование, изготовление и контроль УП, в том числе графический и технологический.

Специфичность технологической подготовки и выполнения обработки на станках с ЧПУ, управляемых ЭВМ, выдвинуло задачи подготовки специалистов (инженеров и техников) в этой области и резкого повышения их квалификации, особенно рабочих-операторов. Высокая квалификация обслуживающего персонала — один из важнейших путей повышения эффективности использования оборудования с ЧПУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Автоматизация** процессов подготовки авиационного производства на базе ЭВМ и оборудования с ЧПУ/В. А. Вайсбург, Б. А. Медведев, А. Н. Бакумский и др.— М.: Машиностроение, 1985.—216 с.
2. **Автоматизация** технологической подготовки производства для обработки корпусных деталей на многоцелевых станках с ЧПУ и на участках типа АСК на их основе: Метод. рекомендации.— М.: НИИмаш, 1984.—95 с.
3. **Автоматизированная** подготовка программ для станков с ЧПУ: Справочник/Р. Э. Сафраган, Г. Б. Евгеньев, А. Л. Дерябин и др.; Под общ. ред. Р. Э. Сафрагана.— Киев: Техника, 1986.—191 с.
4. **Байков В. Д., Вашкевич С. Н.** Решение траекторных задач в микропроцессорных системах ЧПУ/Под ред. В. Б. Смолова.— Л.: Машиностроение, 1986.—106 с.
5. **Ващенко Ю. Л.** Автоматизация анализа технологических процессов при решении задач оптимизации.— Минск: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1985.—96 с.
6. **Вульфсон И. А., Зусман В. Г., Розинов А. Г.** Кодирование информации управляющих программ.— М.: Энергия, 1968.—96 с.
7. **Гжиров Р. И., Обольский Я. З., Серебреницкий П. П.** Автоматизированное программирование обработки на станках с ЧПУ.— Л.: Лениздат, 1986.—176 с.
8. **Гибкие** производственные комплексы/Под ред. П. Н. Белянина, В. А. Лещенко.— М.: Машиностроение, 1984.—384 с.
9. **Гибкие** производственные системы. Технологическая подготовка производства. Общие положения: РД 50-619—86.—М.: Изд-во стандартов, 1987.—64 с.
10. **Грачев Л. Н., Гиндин Д. Е.** Автоматизированные участки для точной размерной обработки деталей.— М.: Машиностроение, 1981.—240 с.
11. **Грачев Л. Н., Косовский В. Л.** Конструкция и наладка станков с программным управлением и роботизированных комплексов.— М.: Высш. шк., 1986.—286 с.
12. **Грачев Л. Н., Сахаров М. Г., Антипов В. И.** Автоматическое управление точностью обработки на токарных станках с ЧПУ.— М.: НИИмаш, 1982.—64 с.
13. **Гуревич В. М., Григорян А. К.** Программируемая электроавтоматика систем ЧПУ «Электроника НЦ 80-31».— М.: ЭНИМС, 1983.—118 с.
14. **Гусев И. Т., Елисеев В. Г., Маслов А. А.** Устройства числового программного управления.— М.: Высш. шк., 1986.—296 с.
15. **Дерябин А. Л.** Программирование технологических процессов для станков с ЧПУ.— М.: Машиностроение, 1984.—224 с.
16. **Диалоговое** проектирование технологических процессов/Под ред. С. И. Булатова.— М.: Машиностроение, 1983.—254 с.
17. **Евгенев Г. Б.** Основы программирования обработки на станках с ЧПУ.— М.: Машиностроение, 1983.—304 с.
18. **Захаров Н. П., Хомяков К. С.** Конструкции периферийных устройств ЭВМ.— М.: Радио и связь, 1984.—256 с.
19. **Змиев Д. М.** Направления развития конструкций станков с программным управлением.— М.: Машиностроение, 1978.—48 с.
20. **Завгороднев П. И.** Работа оператора на станках с программным управлением.— М.: Высш. шк., 1981.—136 с.
21. **Иванов Ю. М.** Модульное проектирование технологии механической обработки деталей на станках с ЧПУ.— Львов: Вища шк., 1982.—107 с.
22. **Колка И. А., Кувшинский В. В.** Многооперационные станки.— М.: Машиностроение, 1983.—136 с.
23. **Кошкин В. Л.** Аппаратные системы числового программного управления.— М.: Машиностроение, 1989.—246 с.
24. **Косовский В. Л., Козырев Ю. Г.** Программное управление станками и промышленными роботами.— М.: Высш. шк., 1986.—286 с.
25. **Кузнецов Ю. И., Маслов А. Р., Байков А. Н.** Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник.— М.: Машиностроение, 1983.—360 с.
26. **Логашев В. Г.** Технологические основы гибких автоматических производств.— Л.: Машиностроение, 1985.—176 с.
27. **Лоладзе Т. Н.** Прочность и износостойкость режущего инструмента.— М.: Машиностроение, 1982.—320 с.

28. **Ляпин В. А., Людмирский И. М.** Расчет технологических размеров: Справочник.— Киев: Техника, 1984.—142 с.
29. **Марголит Р. Б.** Наладка станков с программным управлением.— М.: Машиностроение, 1983.—254 с.
30. **Металлорежущие** станки/Н. С. Колев, Л. В. Красниченко, Н. С. Никулин и др.— М.: Машиностроение, 1980.—600 с.
31. **Микропроцессорная** техника в металлорежущих станках с ЧПУ: Сборник/Под ред. В. А. Кудинова, В. А. Ратмирова.— М.: ЭНИМС, 1983.—128 с.
32. **Микропроцессоры:** системы программирования и отладки/Под ред. В. А. Мясникова, М. Б. Игнатьева.— М.: Энергоиздат, 1985.—272 с.
33. **Мини-** и микроЭВМ в управлении промышленными объектами/Под ред. И. Р. Фрейдзона, Л. Г. Филиппова.— Л.: Машиностроение, 1984.—336 с.
34. **Многоцелевые** системы ЧПУ гибкой механообработкой/Под ред. В. Г. Колосова.— Л.: Машиностроение, 1984.—224 с.
35. **Митрофанов С. П.** Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Т. 1 — Л.: Машиностроение, 1983.—408 с.
36. **Митрофанов С. П.** Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Т. 2 — Л.: Машиностроение, 1983.—376 с.
37. **Молчанов Г. Н.** Повышение эффективности обработки на станках с ЧПУ.— М.: Машиностроение, 1979.—204 ч.
38. **Найдин Ю. В., Чудаков А. Д.** Вычислительная техника в управлении станками.— М.: Машиностроение, 1978.—76 с.
39. **Невельсон И. С.** Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках.— Л.: Машиностроение, 1982.—184 с.
40. **Общемашиностроительные** нормативы времени и режимов резания на работы, выполняемые на металлорежущих станках с программным управлением/Центр. бюро нормативов по труду при НИИтруда.— М., 1980.—209 с.
41. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы: — М.: ВНИИТЭМР, 1986.—159 с.
42. **Общемашиностроительные** нормативы режимов резания резцами с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Обработка на станках с ЧПУ. Серийное и мелкосерийное производство/НИИмаш.— М., 1978.—56 с.
43. **Определение** экономической эффективности металлорежущих станков с ЧПУ: Инструкция МУ: Утв. НИИмаш 02.05.81.— М., 1984.—104 с.
44. **Осипова С. С.** Методы программирования на сверлильных и расточных станках с программным управлением.— М.: Машиностроение, 1976.—120 с.
45. **Панов Ф. С., Травин А. И.** Работа на станках с числовым программным управлением.— Л.: Лениздат, 1984.—278 с.
46. **Параметрическое** программирование для станков с УЧПУ «Электроника НЦ 80-31»: Инструкция.— М.: ЭНИМС, 1986.—29 с.
47. **Повышение** качества и эффективности прогрессивных технологических процессов машиностроения: Тр. ин-та/МВТУ им. Н. Э. Баумана.—1982.—384.—114 с.
48. **Полухин Н. П., Булаев Ю. Ф., Павлючков С. А.** Таблицы для программирования механической обработки криволинейных поверхностей: Справочник.— Л.: Машиностроение, 1981.—312 с.
49. **Поснов Н. Н.** Арифметика вычислительных машин в упражнениях и задачах: (системы счисления, коды).— Минск: Изд-во Университетское, 1984.—221 с.
50. **Программное** обеспечение системы ЧПУ «Электроника НЦ 80-31» (токарный вариант).— М.: ЭНИМС, 1983.—228 с.
51. **Программное** управление станками/Под ред. В. Л. Сосонкина.— М.: Машиностроение, 1981.—398 с.
52. **Пуш В. Э., Пигерт Р., Сосонкин В. Л.** Автоматические станочные системы.— М.: Машиностроение, 1982.—318 с.
53. **Ратмиров В. А.** Основы программного управления станками.— М.: Машиностроение, 1978.—240 с.
54. **Ратмиров В. А., Рашкович П. М.** Программное управление зубообрабатывающими станками.— М.: НИИмаш, 1983.—49 с.
55. **Ратмиров В. А., Чубуков А. С.** Математическое обеспечение систем ЧПУ шлифовальными станками.— М.: НИИмаш, 1983.—64 с.
56. **Режущие** инструменты, оснащенные сверхтвердыми и керамическими материалами и их применение: Справочник/В. П. Жедь, Г. В. Боровский, Я. А. Музыкант, Г. М. Ипполитов.— М.: Машиностроение, 1987.—320 с.
57. **Серебреницкий П. П.** Краткий справочник станочника.— Л.: Лениздат, 1982.—360 с.
58. **Сикора Е.** Оптимизация процессов обработки резанием с применением вычислительных машин.— М.: Машиностроение, 1983.—232 с.
59. **Системы** автоматизированного проектирования: Иллюстрир. слов./Под ред. И. П. Норенкова.— М.: Высш. шк., 1986.—159 с.

60. **Соломенцев Ю. М., Сосонкин В. Л.** Управление гибкими производственными системами.— М.: Машиностроение, 1988.—352 с.
61. **Сосонкин В. Л.** Микропроцессорные системы ЧПУ станками.— М.: Машиностроение, 1985.—288 с.
62. **Справочник** технолога-машиностроителя/Под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова.— М.: Машиностроение, 1986.— Т. 1.—656 с.
63. **Станки** с числовым программным управлением (специализированные)/В. А. Лещенко, Н. А. Богданов, И. В. Вайнштейн и др.; Под общ. ред. В. А. Лещенко.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Машиностроение, 1988.—568 с.
64. **Станочные** приспособления: Справочник. В 2 т. Т. 1/Под ред. Б. Н. Вардашкина, А. А. Шатилова.— М.: Машиностроение, 1984.—591 с.
65. **Станочные** приспособления: Справочник. В 2 т. Т. 2/Под ред. Б. Н. Вардашкина, В. В. Данилевского.— М.: Машиностроение, 1984.—581 с.
66. **Старков В. К.** Технологические методы повышения надежности обработки на станках с ЧПУ.— М.: Машиностроение, 1984.—120 с.
67. **Технические** средства АСУ: Справочник. В 2 т./Под ред. Г. Б. Кезлинга.— Л.: Машиностроение, 1986.— Т. 1: 543 с, Т. 2: 718 с.
68. **Технологические** комплекты режущего и вспомогательного инструментов по переходам обработки для станков с ЧПУ расточной, фрезерной и сверлильной групп: Метод. рекомендации/НПО «Оргстанкинпром» и др.— М.: ВНИИинформ. и техн.-экон. исслед. по машиностроению и робототехнике, 1985.—77 с.
69. **Технология** обработки на станках с программным управлением/М. А. Эстерзон, С. М. Шрайбман, Б. Н. Струнин, Л. И. Терехова.— М.: НИИмаш, 1974.—150 с.
70. **Техтран-система** программирования оборудования с ЧПУ/А. А. Лиферов, и др.— Л.: Машиностроение, 1987.—110 с.
71. **Типовые** комплексно-автоматизированные участки типа АСВ из оборудования с ЧПУ с применением ЭВМ.— М.: НИИмаш, 1983.—41 с.
72. **Уралов В. И., Юзефпольский Я. А.** Технологическая подготовка многооперационных станков.— М.: Машиностроение, 1985.—88 с.
73. **Фрумин Ю. Л.** Комплексное проектирование инструментальной оснастки.— М.: Машиностроение, 1987.—344 с.
74. **Шарин Ю. С., Тишенина Т. И.** Методические указания по подбору деталей для обработки на станках с ЧПУ.— Свердловск: Изд-во Урал. политехн. ин-та, 1983.—42 с.
75. **Шарин Ю. С.** Обработка деталей на станках с ЧПУ.— М.: Машиностроение, 1983.—116 с.
76. **Шарин Ю. С.** Технологическое обеспечение станков с ЧПУ.— М.: Машиностроение, 1986.—176 с.
77. **Шварцбург Л. Э.** Датчики обратных связей станков с ЧПУ.— М.: НИИмаш, 1982.—38 с.
78. **Эстерзон М. А., Радзиевский Д. В.** Обработка корпусных деталей крупными сериями на многоинструментальных станках с ЧПУ с применением комбинированного инструмента: Метод. рекомендации/Под ред. М. Е. Юхвида.— М.: ЭНИМС, 1982.—25 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 5

Основные сокращения 7

Глава 1

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ 8

1.1. Термины и основные понятия . . . . . —
1.2. Особенности обработки на станках с программным управлением 12
1.3. Системы счисления 14
1.4. Программоносители 27
1.5. Подготовка информации для управляющих программ 34
1.6. Кодирование информации 45

Глава 2

СТРУКТУРА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ С ЧПУ 63

2.1. Комплекс «Станок с ЧПУ» . . . . . —
2.2. Система координат станков с ЧПУ 66
2.3. Информационная структура систем числового программного управления станками 75
2.4. Структурно-информационный анализ УЧПУ разных классов 78
2.5. Модели УЧПУ 98
2.6. Пульты управления станками с ЧПУ 106

Глава 3

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ СТАНКОВ С ЧПУ 120

3.1. Классификация и индексация станков с ЧПУ . . . . . —
3.2. Типаж станков 121
3.3. Характеристики многоцелевых станков 122
3.4. Характеристики гибких производственных модулей 128
3.5. Конструктивные элементы станков с ЧПУ 134
3.6. Показатели работы станков с ЧПУ 146

Глава 4

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ 155

4.1. Особенности приспособлений для станков с ЧПУ . . . . . —
4.2. Классификация приспособлений для станков с ЧПУ 158
4.3. Режущий инструмент для станков токарной группы 167
4.4. Режущий инструмент для фрезерных станков 174
4.5. Режущий инструмент для сверлильных и расточных станков 176
4.6. Классификация вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ 178
4.7. Вспомогательный инструмент для токарных, фрезерных, сверлильных и расточных станков 180
4.8. Вспомогательный инструмент для станков с системой автоматической смены инструмента 187

Глава 5

МАРШРУТНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ 190

5.1. Особенности технологического процесса обработки на станках с ЧПУ . . . . . —
5.2. Выбор номенклатуры заготовок, обрабатываемых на станках с ЧПУ 194
5.3. Определение границ эффективного использования станков с ЧПУ и ГПС в зависимости от номенклатуры деталей 196

5.4. Анализ чертежа детали и возможного технологического процесса обработки 199
5.5. Требования к технологичности деталей, обрабатываемых на станках с ЧПУ 200
5.6. Технические условия на поставку заготовок и деталей 207
5.7. Методы проектирования маршрутных технологических процессов обработки на станках с ЧПУ 208
5.8. Разработка маршрутной технологии для станков с ЧПУ 215
5.9. Выбор оборудования для обработки деталей различных групп 217

Глава 6

ОПЕРАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ 220

6.1. Общая последовательность работ . . . . . —
6.2. Процессы обработки отверстий 223
6.3. Токарные операции 230
6.4. Фрезерные операции 253
6.5. Особенности процессов обработки деталей на многоцелевых станках 262
6.6. Технологическая документация 267

Глава 7

ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ ТОКАРНОЙ ГРУППЫ (РУЧНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ) 270

7.1. Уровни автоматизации программирования . . . . . —
7.2. Составление расчетно-технологической карты 271
7.3. Особенности расчета траектории инструмента 273
7.4. Подготовка управляющих программ для токарных станков, оснащенных УЧПУ класса NC (SNC) 278
7.5. Подготовка управляющих программ для токарных станков, оснащенных УЧПУ класса CNC 291
7.6. Программирование с сокращенным описанием контура (SINUMERIK) 306
7.7. Параметрическое программирование 310
7.8. Оперативное программирование 316
7.9. Символьно-графическое программирование (TRAUB-IPS) 319

Глава 8

ПОДГОТОВКА УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ СВЕРЛИЛЬНО-РАСТОЧНОЙ И ФРЕЗЕРНОЙ ГРУПП 324

8.1. Программирование сверлильно-расточных операций . . . . . —
8.2. Подготовка управляющих программ для фрезерных станков, оснащенных УЧПУ класса NC (SNC) 340

Глава 9

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ 354

9.1. Особенности кодирования информации в УЧПУ для многоцелевых станков . . . . —
9.2. Программирование методом подпрограмм 371
9.3. Диалоговые методы программирования на УЧПУ к многоцелевым станкам 378

Глава 10

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ 386

10.1. Построение САП . . . . . —
10.2. Языки САП 393
10.3. Отечественные и зарубежные САП 414
10.4. Система автоматизации программирования СПД ЧПУ 425

Глава 11

СРЕДСТВА ПОДГОТОВКИ И КОНТРОЛЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ДЛЯ СТАНКОВ С ЧПУ 446

11.1. Контроль управляющей программы при изготовлении перфоленты . . . . . —
11.2. Технические средства подготовки программ 449
11.3. Устройства подготовки данных на перфоленте (УПДЛ) 462

Глава 12

ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ 469

12.1. Факторы, влияющие на точность обработки . . . . . —
12.2. Методы исследования и контроля точности обработки 478
12.3. Методы обеспечения точности обработки на станках с ЧПУ 489
12.4. Суммарные погрешности при обработке партии деталей на станках с ЧПУ 492

Глава 13

НАЛАДКА СТАНКОВ С ЧПУ 494

13.1. Задачи наладки . . . . . —
13.2. Базирование и закрепление заготовок. Наладка приспособлений 495
13.3. Наладка и установка режущего инструмента 498
13.4. Установка режимов работы станков с ЧПУ 508
13.5. Установка рабочих органов станка в исходное для работы положение 510
13.6. Управление статической наладкой 518
13.7. Проверка и оценка новой управляющей программы 521
13.8. Пробная обработка детали. Корректирование управляющей программы 523

Глава 14

ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТЫ НА СТАНКАХ С ЧПУ 531

14.1. Последовательность работ по освоению и промышленной эксплуатации станков с ЧПУ . . . . . —
14.2. Подготовка технологической документации на операции, выполняемые на станках с ЧПУ 532
14.3. Работа на токарных станках с ЧПУ 542
14.4. Работа на фрезерных станках с ЧПУ 561
14.5. Работа на многоцелевых станках с ЧПУ 567
14.6. Экономическая эффективность обработки на станках с ЧПУ 579

Список литературы 583

СПРАВОЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Гжиров Рефат Исмаилович
Серебреницкий Павел Павлович

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Редактор *В. М. Рошаль*
Переплет художника *А. А. Парушкина*
Художественный редактор *С. С. Венедиктов*
Технические редакторы *П. В. Шиканова* и *А. И. Казаков*
Корректоры *Н. В. Соловьева, Ю. М. Махмутова, И. Г. Иванова*

ИБ № 6161

Сдано в набор 21.11.89. Подписано в печать 17.09.90. Формат 70×100¹/₁₆. Бумага офсетная № 2. Гарнитура литературная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 48,1. Усл. кр.-отт. 96,86. Уч.-изд. л. 52,09. Тираж 42 000 экз. Заказ № 338. Цена 8 руб.

Ленинградское отделение ордена Трудового Красного Знамени
издательства «Машиностроение».
191065, Ленинград, ул. Дзержинского, 10

Ленинградская типография № 2 головное предприятие ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Государственного комитета СССР по печати. 198052, г. Ленинград, Л-52, Измайловский пр., 29.