

# СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

## 2.1 Основы управления станками

**Основные понятия и задачи управления станками.** В процессе работы на металлорежущих станках необходимы движения, осуществляющие функции управления, — это включение и выключение привода главного движения и подачи, подвод и отвод инструмента, установка его на размер. Кроме того, нужно устанавливать и закреплять заготовки, контролировать размеры, поворачивать столы, револьверные головки и т. д. В основном это сводится к перемещению подвижных элементов: зубчатых колес, муфт, гидравлических, пневматических и электрических устройств ит. д. Системы управления (СУ), выполняющие эти функции, оказывают влияние на основные технико-экономические показатели станка.

*По виду воздействия на управляющий орган СУ* делятся на ручное управление и автоматизированное. Ручное управление в свою очередь, включает механические (рукоятки, маховички, муфты, блоки колес), гидрорегулированные (золотники, гидроцилиндры), электрифицированные (кнопки, рычаги, тумблеры, электродвигатели) варианты.

Автоматическое управление обеспечивает подачу команд в нужной последовательности для выполнения всего цикла обработки детали на станке.

В общем смысле перед системами управления стоят задачи слежения за процессами, происходящими ~~на~~ и их стабилизация. Поэтому к СУ предъявляют *требования*:

- безопасность управления (органы управления располагают в удобных зонах с применением блокировок, ограничителей перемещений, сигнальных устройств);

- легкость и удобство манипулирования ручными средствами (усилия, прилагаемые к рукояткам не должны превышать 80 Н, а при частых включениях — менее 45 Н, высота расположения 800—1 000 мм, ширина — 900 мм, дублирование при неудобном расположении);

- быстрота управления;

- мнемоничность управления (т. е. направление движения руки станочника при перемещении рукояток должно соответствовать движениям управляемого узла);

- точность СУ.

Системы управления весьма разнообразны, но состоят из *трех* частей: управляющего органа, или датчика, получающего команду на заданное движение; исполнительного органа, или приемника, выполняющего это движение согласно команде; промежуточного устройства, передающего команду управляющего органа к исполнительному.

*Цикл обработки* — это совокупность перемещений, повторяющихся при обработке каждой детали. Каждый цикл характеризуется длиной ходов и их последовательностью. Для задания цикла необходимо указать длину каждого хода и определить их порядок. Поэтому первую часть информации называют размерной, или геометрической, а вторую — командами. Выполнение команд возлагается на систему управления.

В общем случае можно изменять состав и последовательность действий, нужных для обработки заготовки, параметры движений (траекторию, скорость, направление, исходное положение, путь).

Цикл обработки предполагает наличие программы и программноносителя. Системы программного управления обеспечивают автоматизацию универсального, часто переналаживаемого оборудования. *Программа* — это и есть последовательность команд, которые должны быть выполнены рабочими органами станка за цикл обработки детали. Командами могут выступать: последовательность использования инструментов, режимы резания, вспомогательные действия, относительные перемещения заготовки и инструмента.

В обобщенном виде система программного управления представлена блок-схемой (рис. 2.1), которая имеет следующие элементы:

а) ввод программы (ВП) считывает с программноносителя закодированные управляющие сигналы в виде электрических, магнитных, световых или других физических воздействий. Он включает в себя считывающее и транс-портирующее программноноситель устройства, которые различают по способу считывания: контактные и бесконтактные, непрерывные и периодического действия, последовательные и параллельные;

б) блок управления (БУ) преобразовывает соответствующие физические воздействия в электрические командные импульсы или потенциалы;

в) усилитель (У) увеличивает полученный электрический потенциал до уровня, обеспечивающего надежное управляющее воздействие;

г) исполнительный орган (ИО) реализует командные импульсы путем подключения рабочего органа станка к источнику движения или выполнения других функций автоматического управления;

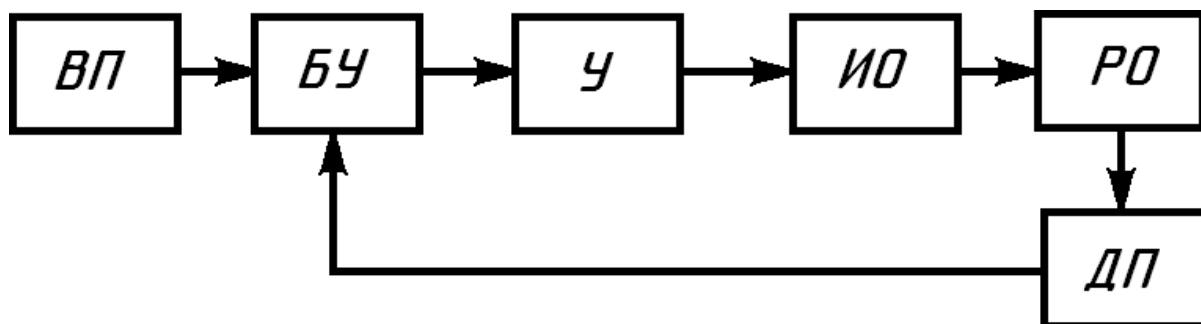


Рисунок 2.1 — Блок-схема программного управления

д) рабочий орган (РО) реализует командные воздействия, являясь целевым управляемым органом станка;

е) датчик перемещений (ДП) регистрирует фактическое перемещение рабочего органа станка.

Различают следующие *системы программного управления*:

а) программное управление (ПУ) станком по детерминированной программе (аналоговое);

б) цикловое программное управление (ЦПУ) циклами перемещений или режимами обработки по программе с заданием величин параметров на путевых переключателях, штекерах или других измерительных преобразователях;

в) числовое программное управление (ЧПУ) применяется для управления обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде.

*Программоносители* придуманы давно и используются повсеместно. Это такие устройства, как конечные выключатели, положение которых определяет момент срабатывания исполнительного механизма (включение освещения в бытовом холодильнике). Это копиры, устанавливаемые на станках (А. К. Нартов в начале XVIII века применял их); кулачки, приводившие в движение сложные механизмы игральнх автоматов в средние века и сейчас стоящие в двигателе автомобиля многие десятки лет, обеспечивая цикл газораспределения; командоаппараты, распределительные валы. В качестве программоносителей для систем ЧПУ служат перфоленды, магнитные ленты, дискеты, а для ЦПУ — штырьковые барабаны или панели, магазины переключателей и др.

**Развитие систем программного управления.** Длительное время автоматизация охватывала в основном крупносерийное и массовое производства, где создано и внедрено множество станков-автоматов, отдельных автоматических линий и их комплексов. Для серийного и тем более мелкосерийного производства, составляющего около 80% общего объема

машиностроительного производства, такие средства автоматизации малоэффективны или даже убыточны из-за длительности их изготовления и отладки, для которой может не хватить той небольшой партии деталей, которая заказана. Основным способом решения указанной проблемы стали станки и станочные комплексы с числовым программным управлением, сочетающие в себе благодаря системам числового программного управления производительность и точность станков-автоматов с гибкостью универсального оборудования.

Создание оборудования с ЧПУ можно считать одним из наиболее существенных достижений научно-технической революции в области станкостроения после изобретения быстрорежущих сталей и твердых сплавов. Для современного этапа развития станков с ЧПУ характерно резкое расширение их функциональных возможностей, повышение уровня автоматизации и все более широкое применение в системах управления мощных вычислительных средств. Появилась новая разновидность металлорежущего оборудования — *многооперационные станки*.

В многооперационных станках выражен новый подход к построению технологического процесса. Они обеспечивают различными видами инструмента комплексную обработку деталей без переустановок или при минимальном их числе.

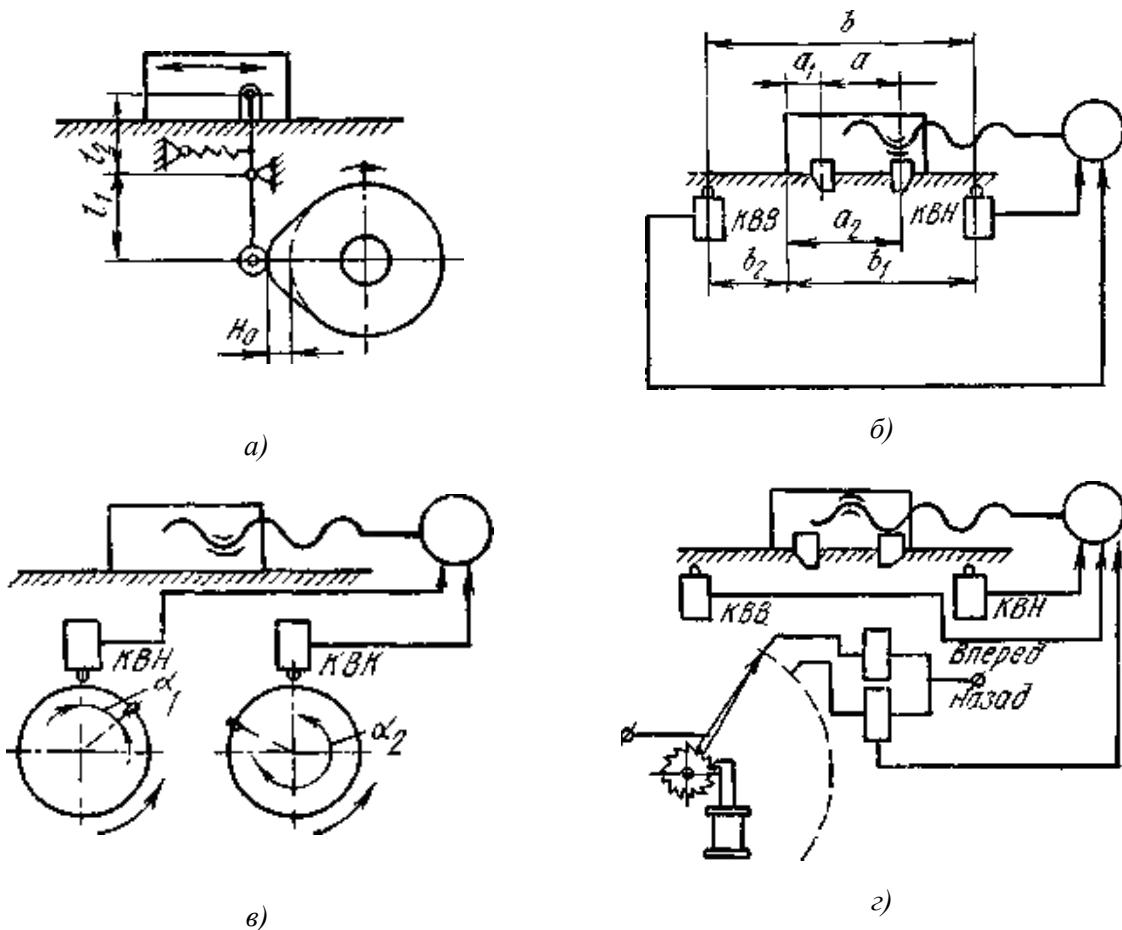
В своем развитии системы ЧПУ прошли несколько этапов начиная с позиционных систем, потом контурные и комбинированные. Если вначале в системах ЧПУ незамкнутого типа невозможно было судить о выполненной работе, то появление замкнутых систем с обратной связью позволило, если надо, автоматически исправлять результаты работы станка. Адаптивная система ЧПУ, являясь на сегодняшний день наиболее совершенной, позволяет станку в автоматическом режиме реагировать на происходящие в работе изменения, обеспечивая оптимальные условия резания. Началось применение устройств промышленного зрения и слуха, что еще больше расширило возможности металлорежущих станков.

Большие перспективы дальнейшего повышения производительности труда и эффективности в машиностроительном производстве имеет создание *гибких производственных систем* (ГПС), управляемых от ЭВМ. Данная система представляет собой совокупность оборудования с ЧПУ, роботизированных технологических комплексов, гибких производственных модулей, отдельных единиц технологического оборудования и систем обеспечения их функционирования в автоматическом режиме в течение заданного интервала времени. Такое оборудование сейчас является основой всех станкостроительных выставок. Это направление обеспечивает на современном этапе применение программного управления, наиболее полно соответствующего требованиям развития отрасли.

## 2.2 Аналоговые системы управления

**Способы задания программы в аналоговом виде.** В зависимости от способа задания размерной информации все системы управления техно- логическим оборудованием принято делить на два класса: нечисловые (традиционные, или непрерывные — аналоговые) и числовые. К первым (нечисловым) системам управления относят кулачковые и копировальные, путевые, временные и цикловые (рис. 2.2).

Кулачковые системы управления, основанные на использовании отдельных кулачков и распределительных валов с кулачками, являются основой программного управления различных токарных автоматов и полуавтоматов. Такая система управления весьма универсальна. Любая швейная машина в своем механизме имеет кулачки. Список легко продолжить. Если кулачек развернуть на прямой линии, то получится копир, применяемый в токарных копировальных полуавтоматах.



*a* — кулачковая; *б* — путевая; *в* — временная; *г* — цикловая

Рисунок 2.2 — Нечисловые системы управления

Путевые системы управления обеспечивают работу силовых столов аг-регатных станков. Временная система управления представляет собой упоры путевой системы управления, но установленные не на прямой планке, а на диске. Такой вариант управления характерен, например, для токарных автоматов как одношпиндельных, так и многошпиндельных, имеющих на распределительном валу барабан командоаппарата с упорами. Во многих случаях такой вариант управления и называют управлением с помощью программируемого командоаппарата. Цикловые системы, удобные в серийном производстве, применяются на фрезерных консольных станках, токарно-револьверных, гидрокопировальных токарных и т. д., а также промышленных роботах (например, модель СМ40Ц4301, «Универсал-15М» и др.).

Системы управления по числу потоков информации делятся на разомкнутые, замкнутые и самонастраивающиеся (адаптивные).

*Разомкнутые системы* — это все аналоговые и часть с ЧПУ (называемых еще импульсно-шаговыми). Характеризуются одним потоком информации, направляемым от программы управления к рабочему органу станка. Перемещения рабочего органа при этом не контролируются и не сопоставляются с перемещениями, заданными управляющей программой. Эти системы являются более простыми, но из-за отсутствия контроля действительного положения рабочего органа (РО) обеспечивают невысокую точность обработки. Они строятся на основе силовых или несиловых шаговых двигателей. Применяются чаще всего для управления металлорежущими станками малых и средних размеров и в последнее время снимаются с производства.

*Замкнутые системы* ПУ характеризуются двумя потоками информации: один поступает от управляющей программы, а второй — от датчика обратной связи (ДОС). Наличие обратной связи позволяет сопоставлять фактическую отработку программы с заданной и, при необходимости, устранять возникающее рассогласование. Эти системы по сравнению с разомкнутыми обеспечивают более высокую точность обработки, но они дороже и сложнее.

В зависимости от места установки ДОС замкнутые системы могут быть трех типов (рис. 2.3). Большинство систем ЧПУ класса *CNC* являются замкнутыми и применяются для управления металлорежущими станками средних и крупных размеров.

*Самонастраивающиеся*, или адаптивные, системы приспособляются к изменению внешних условий и являются наиболее прогрессивными. Они имеют, помимо основного, дополнительные потоки информации, позволяющие корректировать процесс обработки с учетом деформации системы станок-приспособление-инструмент-деталь (СПИД) и ряда случайных факторов, таких, как затупление режущего инструмента, колебания припуска и твердости заготовок и др.

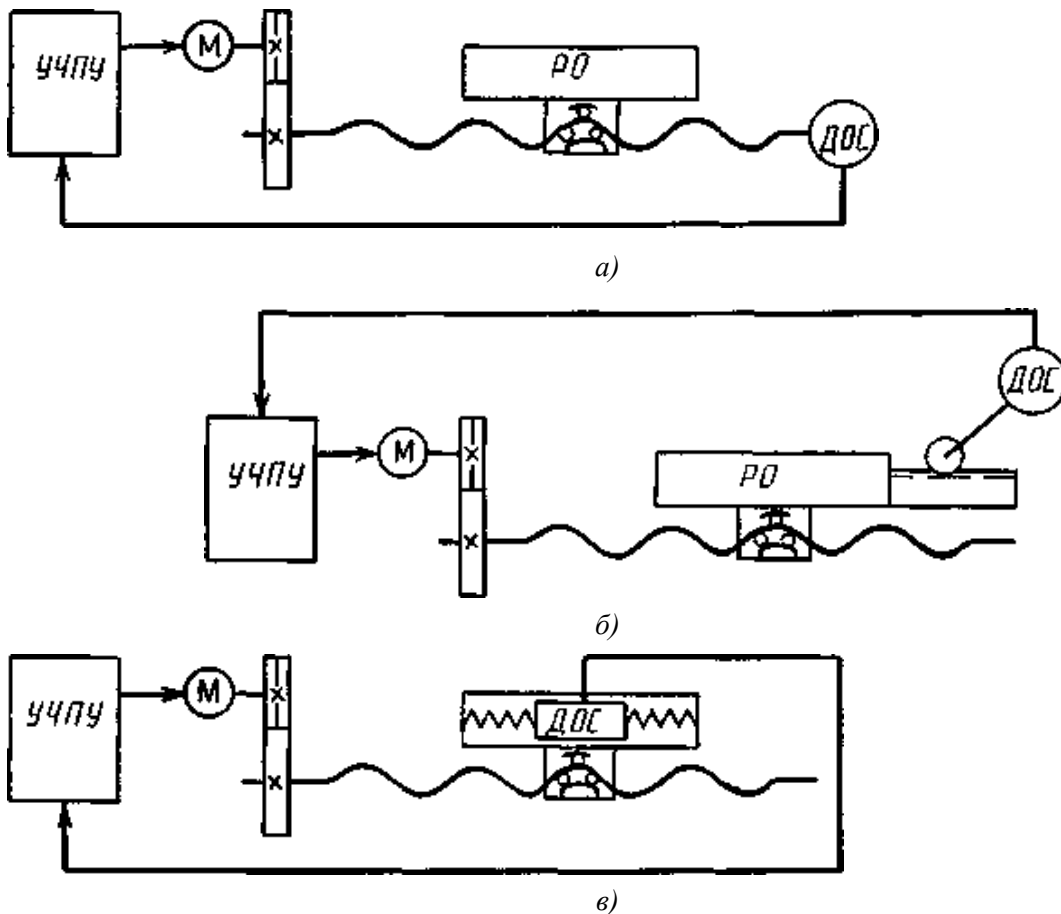


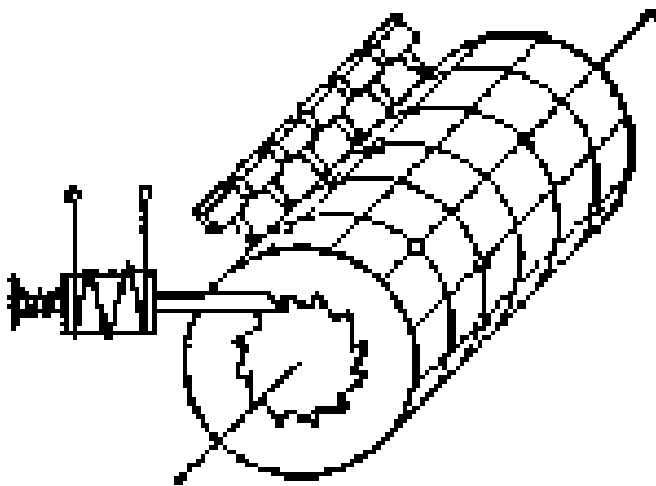
Рисунок 2.3 — Структурные схемы замкнутых приводов подачстанков с ЧПУ

Существуют самонастраивающиеся системы двух видов: предельного регулирования (разработчики ограничивают один из параметров работы станка — силу резания, мощность, крутящий момент на шпинделе и т. д., по которому идет корректировка технологического процесса) и оптимального регулирования (по одному из критериев — максимальной производительности, минимальной себестоимости и т. д.). Осуществляется такое управление применением методов математического моделирования.

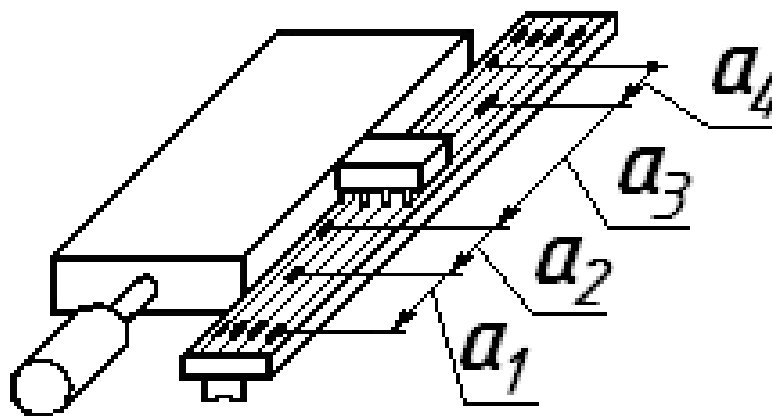
**Путевые системы управления. Временные системы управления.**

Управление с регулируемым упорами встречается в станках разного назначения, но в специализированных и специальных — больше всего.

Эти системы управления иногда подразделяют на *временные* (рис. 2.4, а), когда последовательность работы упоров запрограммирована во времени, и на *путевые* (рис. 2.4, б), когда команда *среднего* упора поступает после исполнения команды предыдущего упора, т. е. после прохождения рабочим органом станка заданного пути. Встречаются и смешанные системы, частично временного, частично путевого управления.



а)



б)

а — командоаппарат (временная СУ); б — регулируемые упоры (путевая СУ)

Рисунок 2.4 — Программносители в системах управления

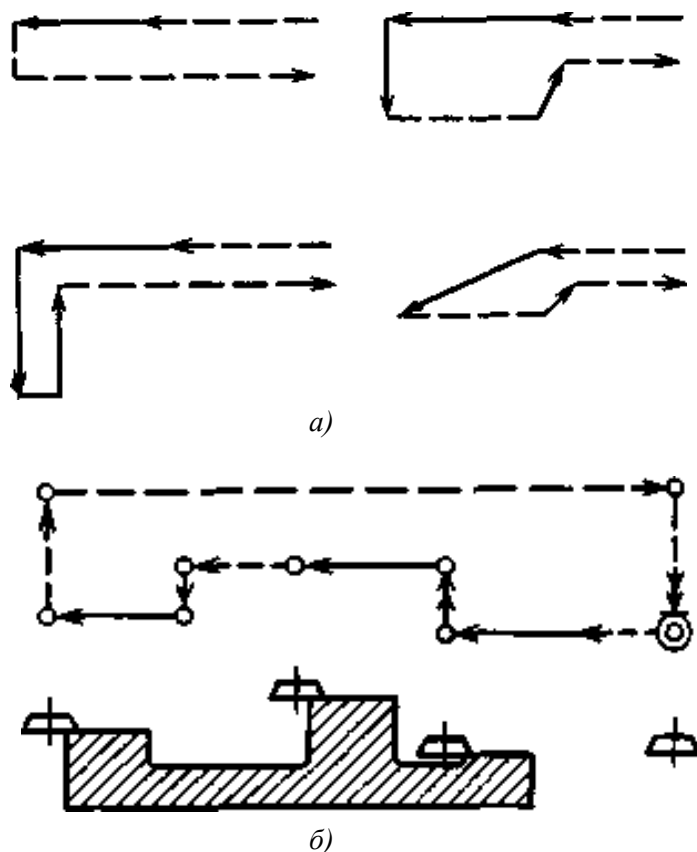
*Преимуществом* системы путевого управления является ее высокая надежность и меньшие затраты времени на переналадку по сравнению с кулачковой системой управления (не надо изготавливать новые кулачки — экономится время и деньги, упоры только передвигаются на командоаппарате). В связи с этим подобные системы и используются в станках для серийного и массового производства деталей. Недостаток заключается в том, что для наладки технологического процесса приходится обрабатывать несколько деталей и только при этом постепенно можно установить упоры в тех местах на дорожках командоаппарата, где подача команды будет происходить в нужный момент. Аналогичные качества можно отметить и у временной СУ.



**Системы циклового программного управления (ЦПУ)** предназначены для того, чтобы управлять станком по быстро сменяемой программе. При такой системе частично или полностью программируются цикл работы станка и режимы обработки. Величины перемещений рабочих органов не программируются, а задаются с помощью упоров. Станки с системами ЦПУ являются полуавтоматами и предназначены для обработки деталей, требующих небольшого количества переходов при прямолинейных перемещениях инструментов — это токарно-револьверные, токарно-копировальные, карусельные, лоботокарные, вертикально-фрезерные и горизонтально-фрезерные и сравнительно редко сверлильные с револьверной головкой, алмазно-расточные и координатно-расточные.

Системы циклового программного управления отличаются от ЧПУ сравнительной простотой построения и невысокой стоимостью. Соответственно технологические и функциональные возможности систем ЦПУ ограничены (рис. 2.5).

*Область применения* станков с ЦПУ — это серийное и крупносерийное производство при значительной длительности обработки партий деталей,



*a* — на токарном станке; *б* — на фрезерном станке

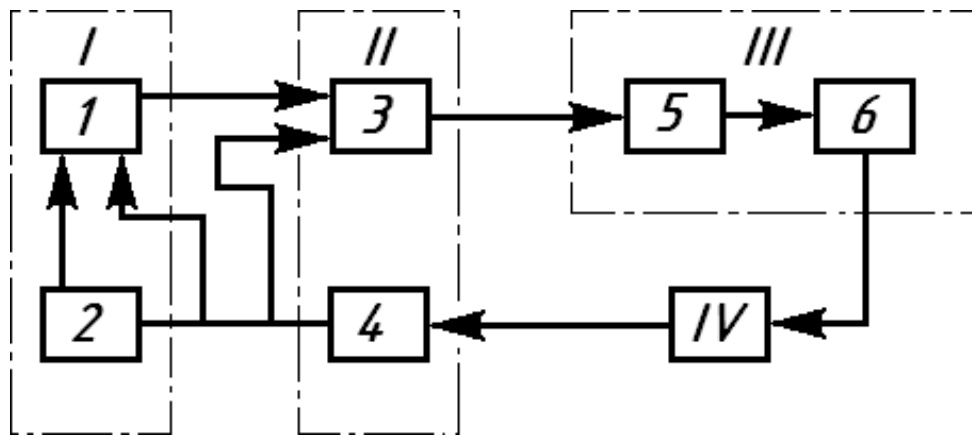
Рисунок 2.5 — Циклы перемещений инструмента

так как переналадка оборудования с ЦПУ требует больших затрат времени. Широкое применение системы ЦПУ получили в промышленной робототехнике, а также при управлении транспортно-накопительными устройствами, автоматизированными складами, загрузочными и другими вспомогательными механизмами гибких производственных систем.

Сравнивая станки с числовым и цикловым программным управлением, следует отметить, что первые имеют широкие технологические возможности, а вторые целесообразно применять при обработке партий сравнительно простых деталей. При этом конструкция станков с цикловым программным управлением проще и стоимость их меньше.

**Принципиальная схема системы циклового программного управления (ЦСПУ).** Цикловая система управления состоит из следующих устройств (рис. 2.6): задания, ввода и вывода программы, управления, исполнительного устройства, контроля окончания отработки этапа программы.

*Принцип работы ЦСПУ* заключается в следующем. Устройство задания и ввода программы (программатор) снабжает систему программного управления информацией о цикле. Оно состоит из блока задания программы (обычно штекерная панель, рис. 2.7) и блока поэтапного ввода программы (обычно шаговый искатель или релейная счетная схема).



- I* — устройства задания, ввода и вывода программы;
- II* — устройство управления, *III* — исполнительное устройство;
- IV* — устройство контроля окончания отработки этапа программы;
- 1* — блок задания программы; *2* — блок поэтапного ввода программы; *3* — блок управления циклом работы станка; *4* — блок преобразования сигналов контроля; *5* — исполнительные элементы;
- 6* — рабочие органы станка

Рисунок 2.6 — Упрощенная структурная схема цикловой системы управления

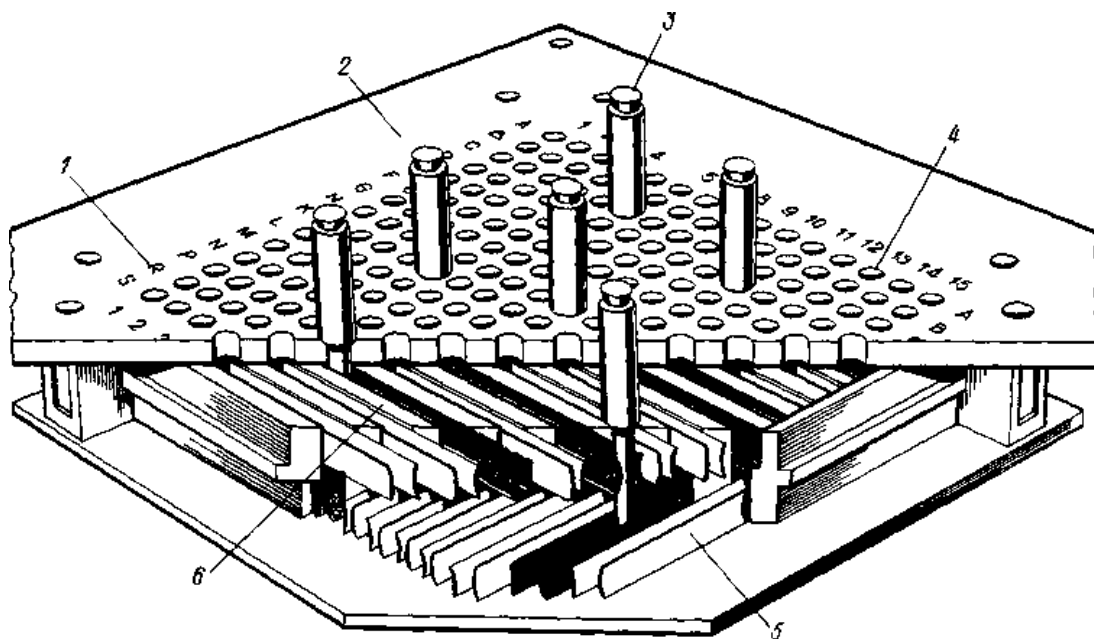


Рисунок 2.7 — Штекерная двухслойная панель

Управление исполнительными элементами, перемещающими рабочие органы станка, обеспечивает устройство управления.

В штекерных панелях 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 истчаются строки. В некоторых конструкциях панелей предусмотрено использование специальных штекеров со встроенными диодами.

Вместо штекерной панели может применяться дисковый декадный переключатель или панель с секторными переключателями.

Схему устройства управления довольно часто выполняют на электромагнитных реле. Исполнительное устройство обеспечивает отработку заданных программой команд и состоит из исполнительных элементов и рабочих органов станка. Устройство контроля окончания отработки этапа программы контролирует окончание предыдущего этапа программы и подает команду на переключение на следующий этап. Окончание отработки этапа программы может контролироваться путевыми переключателями, реле времени, реле давления и т. п.

Размерная информация в системах ЦПУ задается упорами на линейках, закрепленных, например, на продольном и поперечном суппортах. При перемещении линеек упоры воздействуют на конечные выключатели, выдающие сигнал об окончании отработки каждого этапа.

Упоры задают в этих системах только конечные точки пути, а все промежуточные положения траектории движения образуются копированием направляющих рабочих органов станка.

В настоящее время системы ЦПУ строятся на базе микропроцессорных устройств программно-логического управления, которые получили название *программируемых командоаппаратов* (ПК, *PLC*), или контроллеров. Программируемый контроллер — это специализированное микропроцессорное устройство управления, выполняющее заданные логические, а также арифметические и временные (таймерные) операции, которые необходимы для реализации функций ЦПУ. Они являются бесконтактными устройствами логического управления, основанными на использовании интегральных схем. Главная составная часть программируемого контроллера — центральный процессор, который осуществляет в основном логические операции. Постоянное запоминающее устройство хранит программу, вводимую с помощью клавиатуры. На клавишах нанесены обозначения логических элементов или даже контактов принципиальной электросхемы, которую хотят воссоздать в бесконтактной форме. Набранную программу можно записать на магнитный носитель, как и многие другие программы.

Отсчет времени, контроль числа изготовленных деталей, другие операции выполняют вспомогательные устройства. Возможно подключение к ПК монитора для контроля за состоянием оборудования, затратами основного и вспомогательного времени и другими данными. В подключенный к локальной сети контроллер можно передавать необходимые дополнительные данные для обработки или тестирования неполадок в оборудовании. Таким образом, при помощи ПК можно реализовать функции программируемой автоматики.

С другой стороны, оснащение ПК дополнительными блоками числового программного управления (например, интерполяторами) дает возможность построения на их базе систем ЧПУ. Широкое применение ПК находят в системах управления ГПС, построенных по структуре локальной вычислительной сети.

Основное отличие ПК от заменяемых ими электрических устройств управления обычного типа — построение не по схемному, а по программному принципу. Соответственно этому для автоматизации различных циклов не требуется индивидуальное комплектование аппаратурой и монтажом соединений, необходимо лишь выбрать одно из стандартных исполнений ПК (требуемый набор блоков) по количественным параметрам



Помимо указанных модулей в комплект ПК для расширения его функций могут также входить периферийные устройства программирования, содержащие дисплей; устройства записи и считывания; тестовые устройства и др.

*Запоминающее устройство*, в которое вводится управляющая программа, может быть гибким или оперативным (ОЗУ), с относительно простым изменением его информационного содержания, либо постоянным (ПЗУ) с относительно жесткой памятью. При использовании ОЗУ можно легко менять программу цикла, с помощью дополнительного оборудования, главными элементами которого являются пульт программирования (клавишный) и экран дисплея для наблюдения за создаваемой при программировании схемой. Схема на экране индицируется чаще всего в общепринятых релейно-контактных символах; исходным документом для программирования также служит обычная релейная схема либо эквивалентные ей формулы цепей в символах алгебры логики. Кроме указанных возможностей, заполнение ОЗУ программной информацией может производиться через устройство ввода или от ЭВМ.

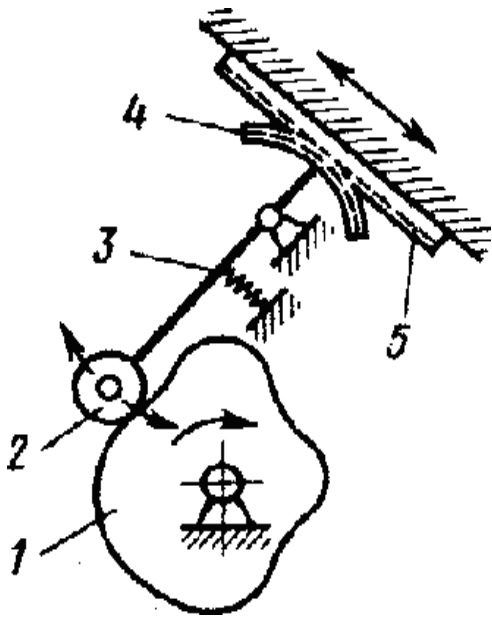
В случае использования ПЗУ стоимость комплекта ниже, однако, изменение программы может быть выполнено только на заводе-изготовителе ПК.

Наиболее характерно поочередное использование ОЗУ и ПЗУ на разных этапах: на этапе отладки — структура с ОЗУ при временном исключении ПЗУ, на этапе эксплуатации — ПЗУ.

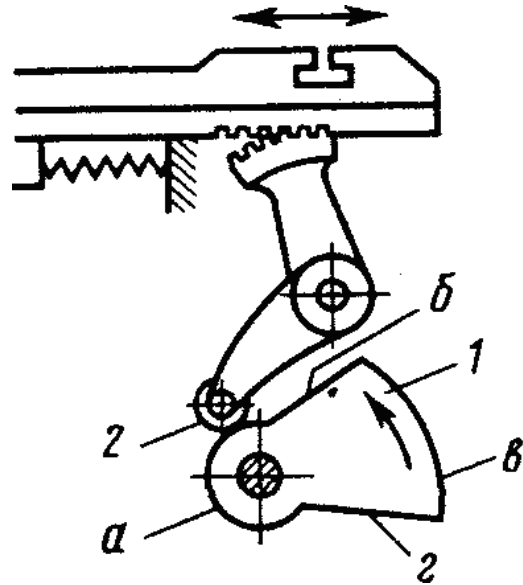
Последние модели ПК, как правило, выполняют на базе микропроцессоров, которые используются в качестве центрального процессора, а для построения запоминающих устройств применяют большие интегральные схемы (БИС) из микропроцессорного набора.

**Системы управления кулачками.** Кулачковый механизм был известен еще греческим инженерам древности, например, Герону, но он использовался в античном мире лишь для так называемых «механических забав». Только в средние века этот механизм стал приносить пользу в машинах (см. рис. 4, ч. 2). Кулачковые системы с распределительным валом являются самыми надежными из систем механического типа. Кулачковые механизмы используют в кинематических цепях прямолинейного движения самых разнообразных по назначению металлорежущих автоматов и полуавтоматов: токарных, токарно-револьверных, затылочных, сверлильных, фрезерных, зуборезных и др., но особенно широко в станках первых двух типов.

Различают кулачковые механизмы с плоскими и цилиндрическими кулачками. При вращении фигурного плоского кулачка 1 (рис. 2.9, а) через ролик 2, рычажную передачу 3 и зубчатый сектор 4 движение передается рейке 5, которая совершает возвратно-поступательное движение в соответствии с профилем кулачка.



а)



б)

Как на дисковом, так и на цилиндрическом кулачках имеются участки, которые из исходного положения (участок *a* на рисунке 2.9, б) обеспечивают быстрый подвод инструмента (участок *б*), рабочую подачу и остановку суппорта для шлифетки обработанной поверхности (участок *в*), быстрый отвод (участок *г*) и выстой инструмента в исходном положении (участок *a*). Движение от кулачка к исполнительному органу передается системой рычагов, изменением длины плеч которых можно



Рисунок 2.9 — Схема работы плоских и цилиндрических кулачков

изменить длину и скорость хода исполнительного органа.

Цилиндрические кулачки барабанного типа (рис. 2.9, в) широко

применяют в прутковых токарных автоматах как для выполнения рабочих движений инструмента, так и для подвода и зажима прутков.

Каждый кулачок, будь то плоский или цилиндрический, по отдельности выполняет простейшее действие, но кулачки, собранные вместе на распределительный вал, обеспечивают сложное взаимодействие различных узлов автоматических и полуавтоматических станков и автоматических линий.

**Особенности применения дисковых и цилиндрических кулачков.** Если с помощью упоров можно изменять количественные характеристики движения (частота вращения и подача), то с помощью кулачков изменяют качественные (траектория). Кулачковые системы являются простейшими по схеме автоматики контурными системами (со сложным движением) незамкнутого типа (без информации о фактическом положении исполнительных устройств). Характерная особенность кулачковой передачи — простота осуществления с ее помощью требуемого закона движения ведомого элемента. Профилируя контур кулачка по соответствующему закону, можно реализовать сложные циклы движений. Другое достоинство передачи — плавность движения ведомого элемента при условии правильного профилирования контура кулачка. Размеры кулачков ограничиваются габаритами станка, а величина хода рабочего органа не превышает 120...200 мм для плоских кулачков и до 300 мм — для барабанного типа.

**Профилирование кулачков.** Расчет и проектирование дисковых кулачков заключается в построении их профиля. Для этого, прежде всего, необходимо распределить функции между отдельными участками кулачка по выполнению рабочих и вспомогательных движений и установить размеры, определяющие положение кривых профиля **важности** кулачка.

Для каждого автомата и его суппортов существуют определенные диски-заготовки, которые характеризуются следующими размерами: максимальным и минимальным диаметрами диска, в пределах которых может располагаться профиль кулачка; диаметром посадочного (на распределительный вал) отверстия кулачка; диаметром отверстия для фиксирования кулачка на распределительном валу в определенном положении.

Диск-заготовка **разбивается** на 100 равных участков-секторов, в связи с чем угол поворота кулачка во время работы оценивается количеством сотых частей (делений), на которые он поворачивается.

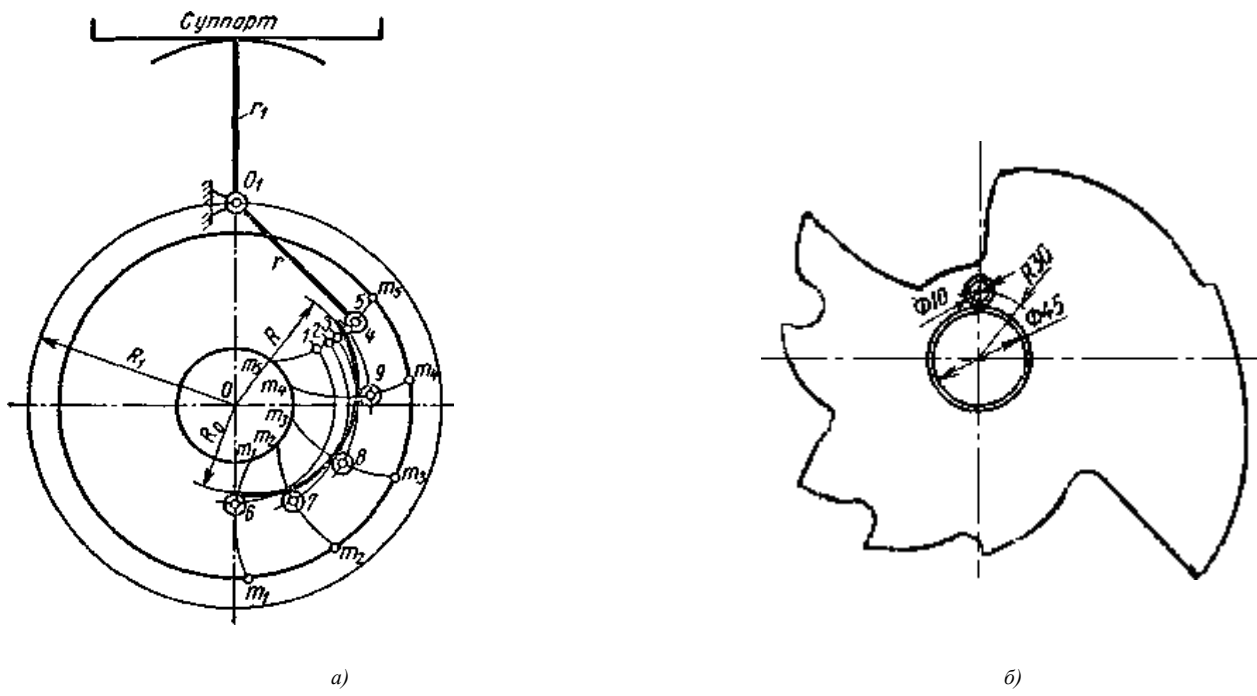
Требованию *равномерности подачи* отвечает профиль участков рабочих ходов кулачка, очерченный по спирали Архимеда. Для построения профиля кулачка необходимо знать величины начального и конечного

радиус-векторов, **равность** ко **равна** величине хода суппорта, умно-

женному на передаточное отношение кинематической цепи между кулачком и тем резцом, который этот кулачок перемещает. Второй параметр — *величина угла*, на который должен повернуться кулачок за время выполнения данного рабочего хода, выраженная через деления кулачка, между которыми располагается данный участок профиля.

Построение **схемы** **профиля** дискового кулачка (рис. 2.10) осуществляется при воздействии его на ролик рычага, центр которого описывает дугу окружности вокруг точки  $O_1$  качания рычага. Поэтому способ построения рабочего профиля участка состоит в следующем. Допустим, что рабочий участок располагается между  $m_1$  и  $m_5$  делениями





а — общий вид кулачка револьверной головки; б — кулачок одношпиндельного токарного автомата

Рисунок 2.10 — Схема построения рабочего участка профиля дискового кулачка

кулачка, а величина радиус-векторов — в начале  $R_0$  и в конце  $R$ . Через точки  $m_1$  и  $m_5$  радиусом, равным  $r$  (радиус качания рычага), проводим дуги окружностей  $m_1m_1$  и  $m_5m_5$ , центры которых лежат на окружности радиуса  $R_1$ . Из центра кулачка  $O$  засекаем величины  $R_0$  и  $R$  до пересечения с дугами  $m_1m_1$  и  $m_5m_5$ ; откладывая на них величину радиуса ролика, получим точки 5 и 6, которые представляют собой положение центра ролика рычага в начале и в конце рабочего участка.

Дугу  $m_1m_5$  делим на произвольное число равных частей (для простоты разделим ее на четыре части) и из центров, лежащих на окружности радиуса  $R_1$  радиусом  $r$  проведем дуги  $m_2m_2$ ,  $m_3m_3$  и  $m_4m_4$ . Далее, из точки  $O$  радиусом  $O — 6$  описываем окружность до пересечения с дугой  $m_5m_5$  в точке 1. Отрезок дуги  $m_5m_5$ , равный  $1—5$ , делим на то же количество равных частей (в данном случае на четыре части), в результате чего получим точки 2, 3 и 4. Затем, из центра  $O$  проводим окружность радиусом  $O — 4$  до пересечения с дугой  $m_4m_4$  в точке 9 и радиусом  $O — 3$  — до пересечения с дугой  $m_3m_3$  в точке 8 и т. д.

Точки 7, 8 и 9 представляют собой промежуточные положения центра ролика. Описывая из них окружности радиусом, равным радиусу ролика, и проводя плавную линию, касательную к этим окружностям, получим искомый профиль участка рабочей подачи. Для упрощения вычерчивания кривую профиля можно заменить двумя отрезками дуг окружностей.

Обычно при профилировании кулачков рычаг с зубчатым сектором и суппортом не вычерчивают. Здесь они приведены для большей наглядности. Существует другой способ построения профиля кулачка, более простой и удобный, но менее точный.

Построение участка профиля кулачка для нарезания резьбы имеет некоторую особенность. Для того чтобы плашка не срывала резьбу, при нарезании последней суппорт должен несколько отставать от инструмента, а при свинчивании — опережать его. Плашко-держатель имеет для этой цели компенсирующую пружину.

**Три структуры систем управления с распределительным валом:** с постоянной скоростью вращения вала; с двумя скоростями вращения вала; с двумя управляющими валами. При наличии в станке некоторого количества плоских и цилиндрических кулачков возникает необходимость согласовать их работу. Наиболее простым и надежным оказался вариант их установки на один вал, который в сборе с кулачками будет называться *распределительным валом*, по характеру работы которого станки делят на три группы, или, как еще говорят, три структуры. Автоматическое управление полным циклом обработки детали с помощью распределительного (кулачкового) вала на автоматах и полуавтоматах обычно выполняется за один оборот вала.

*Первая группа* — автоматы, имеющие один распределительный вал, вращающийся с постоянной для данной настройки частотой. Вал управляет как рабочими, так и вспомогательными движениями. Для автоматов этой группы характерна большая потеря времени при вспомогательных движениях, так как эти движения (быстрый отвод и подвод суппорта и т. п.) выполняются при той же (дмленной ) частоте вращения распределительного вала, что и рабочие операции. Однако в автоматах малых размеров с небольшим количеством холостых движений применение такой схемы целесообразно вследствие ее простоты.

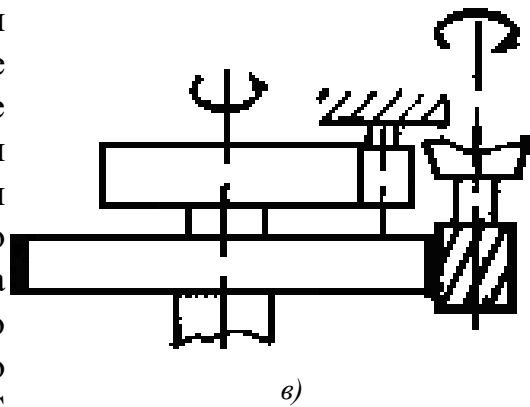
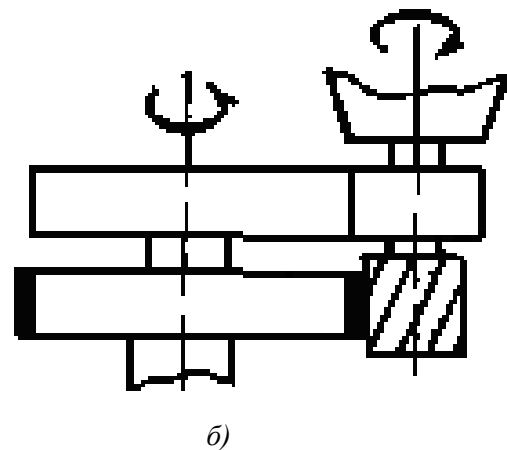
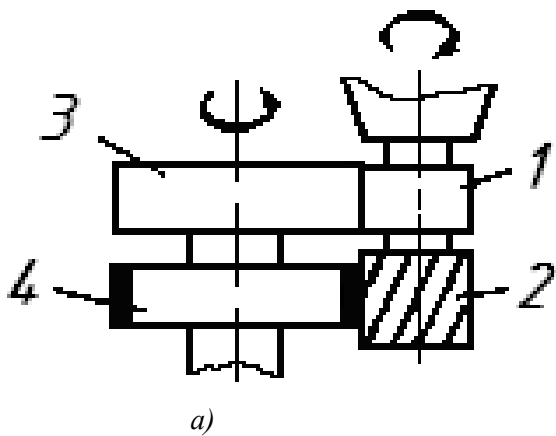
*Вторая группа* — станки с одним распределительным валом, которому в течение цикла обработки сообщаются две частоты вращения: малая при рабочих и большая **при** ходах. Для сообщения ему повышенной скорости при холостых ходах командоаппарат, установленный на данном валу, включает дополнительный электродвигатель, который поворачивает распределительный вал некоторую часть цикла с большей скоростью. Такая схема обычно применяется в многошпиндельных токарных автоматах и полуавтоматах.

*Третья группа* — оборудование, имеющее, кроме основного распределительного вала еще и быстроходный вспомогательный вал, обеспечивающий холостые движения. Команды на выполнение холостых движений подаются распределительным валом с помощью закрепленных на нем специальных барабанов с упорами.

**Копировальные системы управления** станка включают: программноноситель (копир), считывающее устройство (щуп), перемещающийся относительно копира, передаточно-преобразующее устройство и исполнительные двигатели (гидромотор, электродвигатель, пневмоцилиндр, гидроцилиндр и т. д.), а также устройства обратной связи. Копировальные системы управления бывают: прямого (механические) и непрямого (гидравлические, электрические, электрогидравлические) копирования.

Благодаря относительно быстрой смене программноносителя ко- пировальные системы управления применяются в серийном и массовом производстве. Их недостатком является высокая стоимость копиров. Но она имеет тенденцию к снижению. Если раньше рабочий профиль копира изготавливался по традиционной технологии обработки: слесарная, фрезерная, шлифовальная и опять слесарная операция, то оно ~~и~~ ст дорого. Сейчас профиль вырезается на электроэрозионном станке с ЧПУ и первые три операции отпадают. Точность профиля гарантируется. Готовый копир можно получить через два — три часа, а не дня.

Копировальные система управления прямого действия (рис. 2.11) позволяют выполнять простые фасонные профили, но из-за больших сил



1 — шуп; 2 — фреза; 3 — копир;  
4 — заготовка

Рисунок 2.11 — Схемы прямого копирования

трения между копиром 3 и шупом 1 и быстрого износа профиля копира такие системы имеют ограниченное применение в металлообработке, хотя при обработке мягких материалов с малыми силами резания, применяются часто (деревобработка). Этому недостатка лишены системы управления непрямого действия, или системы управления со следящим приводом (рис. 2.12). С использованием гидравлических или электрических усилителей силы взаимодействия между шупом 1 и копиром 2 не зависит от

режимов резания, а только от жесткости той пружины, которой шуп прижимается к копиру. Увеличивается долговечность копира, точность обработки, сложность получаемых профилей 2. Есть станки, у которых вообще отсутствует контакт между шупом и копиром (фотокопировальные). Непрямое копирование может осуществляться разными способами. Наиболее простой вариант, когда каретке копировального суппорта сообщается задающая подача вдоль одной оси от гидроцилиндра, а инструмент 3 (резец, фреза), установленный на суппорте, перемещается поперек этой оси в зависимости от профиля копира. При обработке тел вращения на токарных станках этого достаточно, а при фрезерной обработке шуп смещается по третьей координате на величину шага и процесс копирования повторяется.

В зависимости от типов датчика и привода подач различают гидравлические, электрические, электрогидравлические, пневмоэлектрические и другие следящие системы.

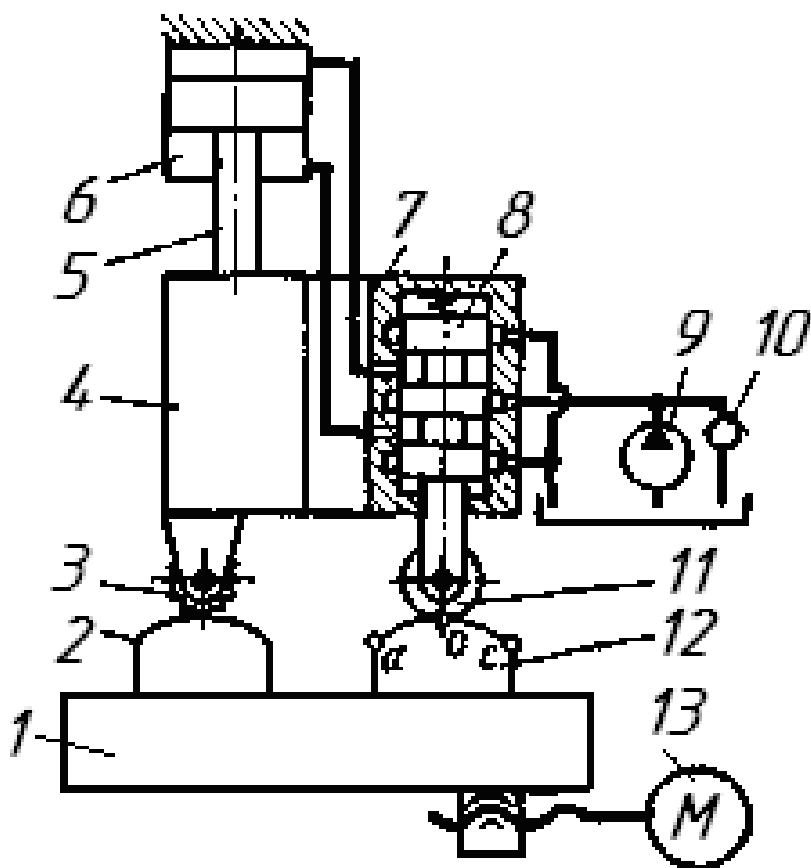


Рисунок 2.12 — Гидравлическая схема следящего привода

## 2.3 Числовое программное управление станками

**Способ задания программы управления в цифровом виде.** Подготовленная технологом программа по обработке детали, т. е. исходная информация, записывается на программноноситель (часто на перфоленту) по определенной форме и состоит из набора кадров, каждый из которых содержит геометрические и технологические данные, необходимые для обработки одного элементарного участка детали, **кадр** в 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.

Различают два способа записи управляющей информации на перфолентах: *состоянной* и *переменной длиной кадра*.

При записи программы кадрами постоянной длины считывание информации получается наиболее простым, так как 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 на жесткий диск индивидуальной ЭВМ станка или компьютера, управляющего группой станков, непосредственный набор на клавиатуре блока управления станка, а перенос информации осуществляется с помощью компактных флэш-карт.

Запись информации выполняется при использовании алфавитно-цифровых кодов.

Семиразрядный буквенно-цифровой код ИСО-7 бит является основным для всех современных отечественных станков с ЧПУ. Код предназначен для записи информации на перфоленте и позволяет кодировать 128 символов.

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.

Задание программы на дискетах, компакт-дисках, флэш-картах в десятки раз дешевле и удобнее, чем на не очень надежную в эксплуатации, малоемкую одноразовую бумажную ленту. Кроме того, не нужен специальный электромеханический блок-перфоратор и соответствующее приемное устройство для перфоленты. Можно обойтись стандартными, вмещающими много информации средствами.

**Обобщенная структурная схема устройства числового программного управления (УЧПУ)** приведена на рисунке 2.13. В принципе само устройство является как бы составляющей частью комплекса «станок с ЧПУ», куда еще входят управляющая программа и собственно станок. Устройством ЧПУ информация в соответствии с управляющей программой транслируется и используется в вычислительном цикле, в результате чего формируются реальные команды на обработку.

В целом УЧПУ включает в себя довольно широкий круг *составляющих*:

- устройство ввода и хранения системного программного обеспечения;
- устройство ввода и хранения управляющей программы;
- интерпретатор кадров;
- интерполятор положения управляемых объектов;
- устройство управления приводом главного движения;
- устройство логического управления приводом, скоростью и т. п.;
- устройство коррекции работы в связи с изменением размеров инструментов;
- устройство смены инструментов;
- устройство коррекции погрешностей оборудования и измерительных устройств;

- устройство адаптивного управления обработкой;
- устройство для накопления статистической информации;
- устройство автоматического контроля обработки;
- устройство каких-то еще функций, которые появятся в будущем.

На рисунке 2.13 большинство структурных элементов отдельно не показано. Они входят в другие более крупные устройства. Управляющая программа считывается в устройстве ввода 1, т. е. преобразуется в электрические сигналы, которые направляются в блок обработки программы 2, который, в свою очередь, через устройство управления привода 3 воздействует на привод подачи 4. Величина перемещения узла (суппорта) контролируется датчиком 5, который включен в цепь обратной связи. Информация с датчика проходит через устройство обратной связи 6, где происходит сравнение фактического перемещения с заданным по программе.

Необходимые коррективы вносятся в последующее движение суппорта. Дополнительные функции (включение привода других узлов, выключение привода других узлов и т. п.) выполняются исполнительными органами этих узлов 8 при получении команды от устройства технологических программ 7, которые получены из устройства ввода 1. На схеме показана работа УЧПУ с замкнутой структурой управления, т. е. когда обратная связь идет по одной координате. В случае выполнения УЧПУ

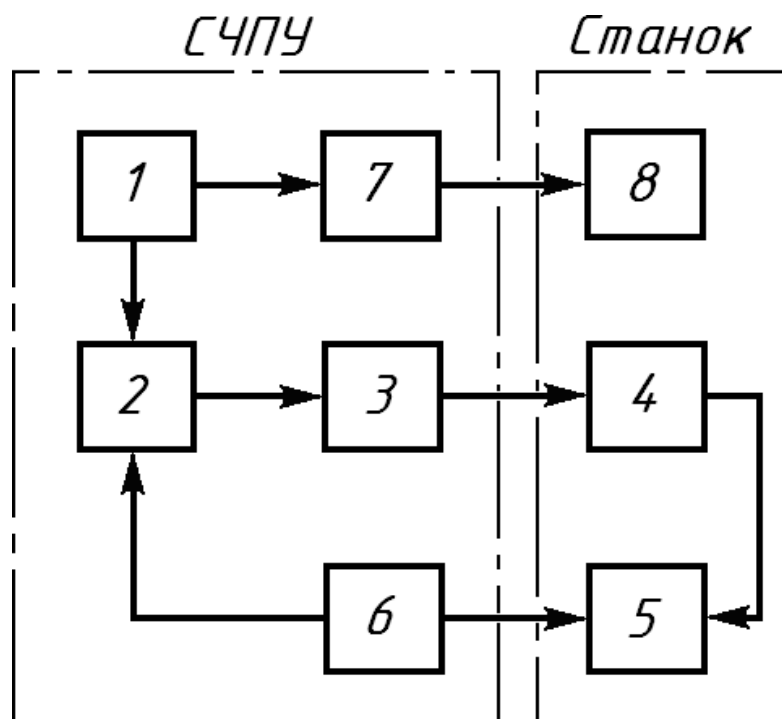


Рисунок 2.13 — Общая структурная схема УЧПУ

разомкнутого типа датчик 5 и устройство обратной связи 6 отсутствуют, что, конечно, снижает точность обработки, но удешевляет оборудование.

**Система числового программного управления (СЧПУ).** Числовым программным управлением металлорежущим станком называют управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные представлены в цифровой форме.

Под СЧПУ понимают совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технических и программных средств, обеспечивающих ЧПУ станком (см. рис. 2.13).

Основой СЧПУ является УЧПУ, связанное с ним конструктивным единством и выдающее управляющие воздействия в реальном масштабе машинного времени станка на его исполнительные органы в соответствии с управляющей программой и информацией о состоянии управляемого объекта.

Математическое обеспечение системы числового программного управления станками является основой программного управления. Для разработки программ нужны исходные данные о геометрии деталей и заготовок, технологических параметрах, параметрах станков и СЧПУ.

Программное управление станками может быть индивидуальным или групповым, а его система — самоприспосабливающейся и интегрированной (управление группой станков и вспомогательным технологическим оборудованием от общей вычислительной системы). Весьма важным параметром системы ЧПУ является ее чувствительность, т. е. наименьшее корректируемое смещение рабочего органа станка.

Принципиальное отличие СЧПУ от аналогового программного управления заключается в способе расчета и задания управляющей программы и ее передачи для управления рабочими органами станка.

В обычных системах ПУ управляющая программа воплощается в физические аналоги (кулачки, копиры, упоры, кондукторные плиты и другие средства, которые являются программноносителями), приобретая два неустраняемых недостатка. Первый состоит в том, что информация чертежа детали из цифровой (дискретной) превращается в аналоговую (в виде кривых кулачка, копира), что вызывает погрешности, вносимые при изготовлении и при изнашивании этих программноносителей. Вторым недостатком — необходимостью изготовления программноносителей с последующей трудоемкой наладкой на станке, с большими затратами средств и времени, что делает неэффективным применение обычных систем ПУ для автоматизации серийного, и особенно мелкосерийного, производства.

В СЧПУ имеет место только информация в цифровой (дискретной) форме, а УЧПУ преобразует эту информацию в управляющие команды для исполнительных механизмов станка и контролирует их выполнение. Поэтому в станках с ЧПУ стало возможным получать сложные движения



его рабочих органов не за счет кинематических связей, что упростило станок: длинные кинематические цепи уступили место коротким, качественно новой стала возможность увеличения числа одновременно управляемых координат, появились новые компоновки станков с широкими технологическими возможностями при автоматическом управлении, создались предпосылки для комплексной автоматизации на основе данных станков и централизованного управления от ЭВМ.

Подготовка управляющей программы (программирование) для СЧПУ означает подготовку, расчет и введение в память УЧПУ команд, которые необходимы для управления обработкой заготовки и которые СЧПУ может автоматически считывать и выполнять.

СЧПУ в своем развитии уже прошли несколько *этапов*, определяемых уровнем развития электронной техники:

- релейно-контакторную и транзисторную базы;
- микросхемы малой и средней степени интеграции;
- мини-ЭВМ и микропроцессорные наборы;
- большие интегральные схемы памяти.

По структуре построения различают устройства ЧПУ двух видов:

1) аппаратные (типа *NC* — Numerical Control); 2) программируемые (типа *CNC* — Computer Numerical Control).

*Аппаратным УЧПУ* называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются схемным путем и не могут быть изменены после изготовления устройства. Изменять структуру этих устройств ЧПУ можно только путем перепайки схем. Укрупненная структурная схема такой СЧПУ показана на рисунке 2.14.

*Программируемым УЧПУ* называют устройство, алгоритмы работы которого реализуются с помощью программ, вводимых в его память, и могут быть изменены после изготовления этого устройства. Принципиальным отличием программируемых УЧПУ от аппаратных является их структура, соответствующая структуре управляющей ЭВМ и включающая вычислительное устройство (процессор), блоки памяти и ввода-вывода информации (рис. 2.15). Объем функций, характер и последовательность проводимых операций определяются не специальными схемами соединения элементов УЧПУ, а программами функционирования, которые вводятся в блок памяти устройства и там хранятся постоянно или до замены.

Основные *достоинства* микропроцессорной техники, обуславливающие возрастающую степень их применения для управления металло-режущими станками и автоматическими линиями, следующие:

- низкая и постоянно снижающаяся стоимость;
- гибкость, т. е. возможность изменения функций микропроцессора путем изменения программы;

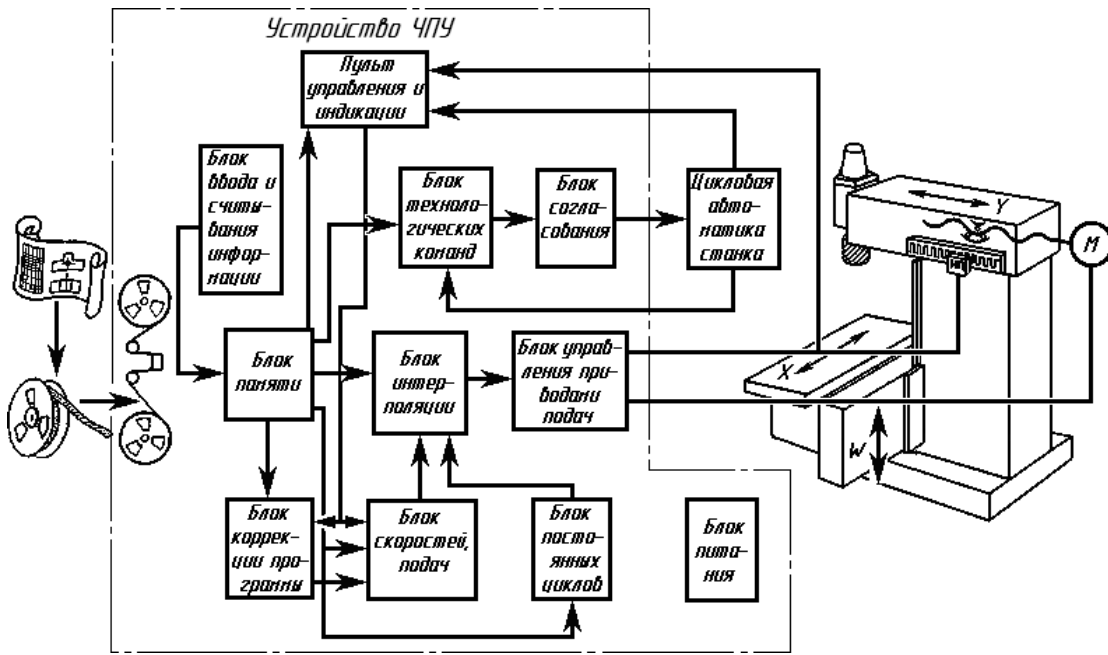


Рисунок 2.14 — Укрупненная структурная схема аппаратной СЧПУ (типа NC)

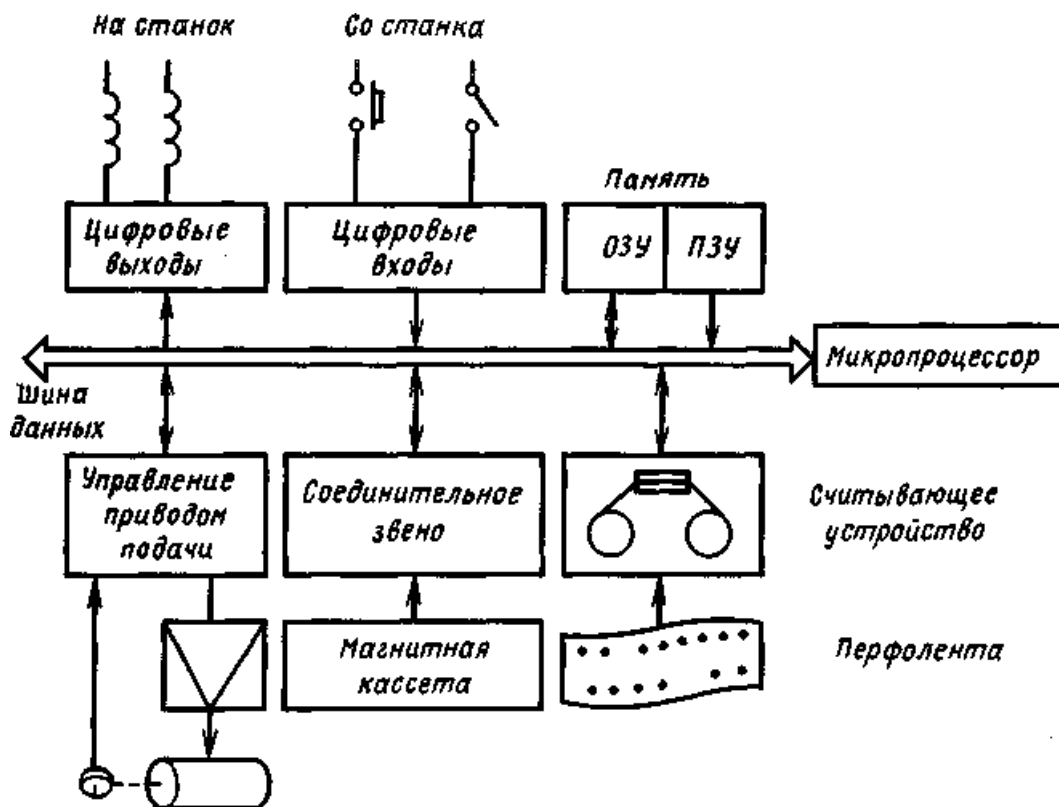


Рисунок 2.15 — Увеличенная структурная схема программируемого устройства ЧПУ (типа CNC)

- надежность (в современных микропроцессорах время наработки на отказ достигает десятка тысяч часов);
  - малые размеры и масса;
  - быстро возрастающие вычислительные возможности (объем памяти, скорость вычислений);
  - малое время разработки СЧПУ, построенных на основе микроЭВМ.
- В целом СЧПУ классифицируются:
- по структуре (числу потоков информации): незамкнутые, замкнутые, самоприспосабливающиеся (адаптивные);
  - по назначению: на системы позиционные и прямоугольные, контурные (непрерывные), универсальные (комбинированные);
  - по типу программносителя и принципу задания программ — на системы с заданием декодированной программы на магнитном носителе и заданием кодированной программы на перфоленте (в абсолютных координатах или в приращениях);
  - по типу привода: на системы со ступенчатым приводом (только для позиционирования и прямоугольной обработки) и со следящим и шаговым приводами;

- по числу одновременно управляемых координат: *на системы* с одной, двумя, тремя, четырьмя и более координатами.

*Система подготовки программ* для управления станками — часть СЧПУ станками, осуществляющая подготовку программы, передаваемой для реализации устройству числового программного управления станка-ми. С целью ускорения этой работы используют автоматизированные системы подготовки программ для управления.

**Разновидности систем ЧПУ в зависимости от уровня технических возможностей: NC, SNC, CNC, DNC.** Различают следующие виды программного управления:

- *NC* (Numerical control) — числовое программное управление обработкой на станке по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде;
- *HNC* (Hand *NC*) — разновидность устройства ЧПУ с ручным заданием программы с пульта устройства (на клавишах, переключателях и т. п.);
- *SNC* (Speicher *NC*, Memory *NC*) — разновидность, устройства ЧПУ, имеющая память для хранения всей управляющей программы;
- *CNC* (Computer numerical control) — автономное управление станком с ЧПУ, содержащее ЭВМ или процессор;
- *DNC* (Direct numerical control) — управление группой станков от общей ЭВМ, осуществляющей хранение программ и распределение их по запросам от устройств управления станков, на которых могут быть установлены устройства типов *NC*, *SNC*, *CNC*.

**Характеристика систем различных классов, их возможности.** Со-временные 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 внешний носитель;
- 22) способ задания перемещений функциями (параметры) ;
- 23) ручной ввод программ;
- 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** различают по поколениям в зависимости от использованной элементной базы.

Устройства *первого поколения* выполнялись 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* выполнялись 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, часть которых приспособлена для решения специальных задач. Некоторые из этих устройств по настоящее время 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.

Современные УЧПУ относятся к *четвертому* и *пятому поколениям*. Их выполняют по агрегатно-блочному принципу и оснащают различными дополнительными узлами. 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.

Практически в состав всех вновь создаваемых УЧПУ входит микро-ЭВМ, 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».

Станки, оснащенные УЧПУ классов *NC* и *SNC*, в настоящее время еще достаточно распространены. Они являются наиболее простыми системами управления с ограниченным числом информационных каналов. В системах класса *NC* принято покадровое чтение перфоленты на протяжении цикла обработки каждой заготовки. Они работают в следующем режиме: после включения станка и УЧПУ читаются первый и второй кадры программы. Как только заканчивается их чтение, станок начинает выполнять команды первого кадра. В это время информация второго кадра программы находится в запоминающем устройстве УЧПУ. После выполнения первого кадра станок начинает обрабатывать второй кадр, который для этого выводится из запоминающего устройства. В процессе обработки станком второго кадра система читает третий кадр программы, который вводится в освободившееся от информации второго кадра запоминающее устройство, и т. д.

Основным недостатком рассмотренного режима работы является то, что для обработки каждой следующей заготовки из партии системе ЧПУ приходится вновь читать все кадры перфоленты. В процессе такого чтения нередко возникают сбои из-за недостаточно надежной работы считывающих устройств УЧПУ.

Особенность систем класса *CNC* заключается в возможности изменять и корректировать в период эксплуатации (а не только в период проектирования и изготовления системы) как управляющую программу обработки детали, так и программы функционирования самой системы в целях максимального учета особенностей данного станка.

Системы класса *CNC* позволяют достаточно просто выполнять в режиме диалога доработку и отладку программ и их редактирование, используя ручной ввод информации и вывод ее на дисплей (на переносной графопостроитель), а также получать отредактированную и отработанную программу на перфоленте, магнитном диске, пленке и т. п.

Системами класса *DNC* можно управлять непосредственно по проводам от центральной ЭВМ, минуя считывающее устройство станка. Однако наличие этой ЭВМ не означает, что необходимость в УЧПУ у станков полностью отпадает. В одном из наиболее распространенных вариантов систем *DNC* каждый вид оборудования на участке сохраняет свои УЧПУ классов *NC*, *SNC*, *CNC*. Нормальным для такого участка является режим работы с управлением от ЭВМ,

но в условиях временного выхода из строя ЭВМ такой участок сохраняет работоспособность, поскольку каждый вид оборудования может работать от 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.

**Основные характеристики УЧПУ.** В состав большинства отечественных и зарубежных устройств ЧПУ класса *CNC* входят микроЭВМ общепромышленного назначения. Все устройства имеют большой объем памяти. Тенденция к обеспечению свободы программирования проявляется в организации гибкого хранения программного обеспечения, для чего предусматривается значительная емкость памяти оперативно-го запоминающего устройства. Проблема энергозависимости памяти решается либо выбором элементной базы, либо использованием автономного питания (аккумуляторы, батареи и т. д.). Для всех систем характерна ориентация на многокоординатное управление и связь с объектом по большому числу двухпозиционных и аналоговых входов- выходов. Применяемые микроЭВМ оперируют в основном 16- разрядными словами. Однако в последнее время для устройств ЧПУ используются специализированные микроЭВМ повышенной разрядности (32 разряда и более), что позволяет использовать прямую адресацию, наиболее удобную при программировании.

**Классификация ЧПУ по характеру движения рабочих органов.** В зависимости от технологических задач управления обработкой ЧПУ станков бывают):

- *позиционными* (рис. 2.16, а), которые определяют не траекторию инструмента, а только исходную и конечную точки (сверлильные и расточные станки при обработке заготовок деталей типа плит, фланцев, крышек и т. д., в которых выполняют сверление, зенкерование, растачивание отверстий, нарезание резьбы и др.);

- *контурными* (рис. 2.16, б), применяемыми для получения сложных профилей (токарные, фрезерные, электроэрозионные станки, когда перемещение рабочих органов станка происходит по заданной траектории и с заданной скоростью);

- *комбинированными*, или универсальными (рис. 2.16, в), которые используют для обработки для обработки сложных профилей (контурно-позиционные станки, которые помнят о положении инструмента). Такая система ЧПУ хорошо подходит для обрабатывающих центров.