

## ***Лекция 3***

# **Технологические возможности и преимущества станков с ЧПУ**

***Общие сведения о системах управления. Структура станка с ЧПУ и системы ЧПУ. Преимущества станков с ЧПУ. Рекомендации по повышению эффективности использования станков с ЧПУ. Классификация систем ЧПУ: системы цифровой индикации, позиционные, контурные, комбинированные (смешанные) системы. Обозначение типа устройства ЧПУ. Обозначение модели станка с ЧПУ. Системы CN, CNC, SNC, HNC, DNC; разомкнутые, замкнутые, самонастраивающиеся системы ЧПУ.***

# Общие сведения о системах управления и станках с ЧПУ

Под *управлением* станком принято понимать совокупность воздействий на его механизмы, обеспечивающих выполнение этими механизмами технологического цикла обработки.

*Система управления* - устройство или совокупность устройств, реализующие эти воздействия.

*Ручное* управление - решение об использовании тех или иных воздействий элементов рабочего цикла принимает человек – оператор станка. Оператор на основании принятых решений включает соответствующие механизмы станка и задает параметры их работы.

Операции ручного управления осуществляют как на **неавтоматических** универсальных и специализированных станках разного назначения, так и на **автоматических** станках. В **автоматических** станках ручное управление используется для реализации наладочных режимов и специальных элементов рабочего цикла. Здесь ручное управление часто сочетается с цифровой индикацией информации, поступающей от датчиков положения исполнительных органов.

**Автоматическое управление** заключается в том, что решения об использовании элементов рабочего цикла принимает **система управления без участия оператора**. Она же выдает команды на включение и выключение механизмов станка и управляет его работой.

**Циклом обработки** называют совокупность перемещений рабочих органов станка, повторяющихся при обработке каждой заготовки. Комплекс перемещений рабочих органов в цикле работы станка осуществляется в определенной последовательности, т. е. по программе.

**Алгоритмом** называют способ достижения цели (решения задачи) с однозначным описанием процедуры его выполнения.

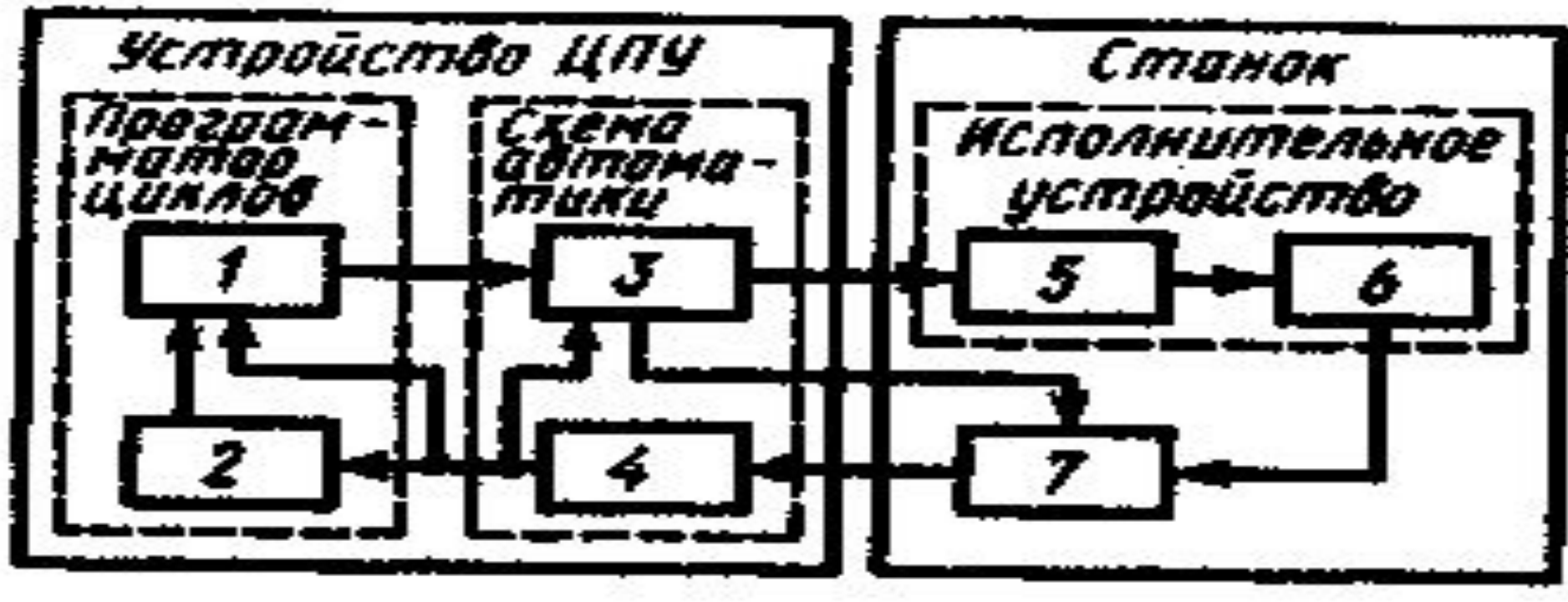
**По функциональному назначению автоматическое управление разделяют следующим образом:**

- управление **неизменными повторяющимися циклами** обработки (например, управление агрегатными станками, выполняющими фрезерные, свер-лильные, расточные и резьбонарезные операции путем осуществления циклов движения многошпиндельных силовых головок);
- управление **изменяемыми автоматическими циклами**, которые задают с помощью индивидуальных для каждого цикла материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т. д.) Примером циклового управления станков (ЦПУ) являются системы управления копировальных токарных и фрезерных станков, многошпиндельных токарных автоматов и др.;

- **числовое программное управление (ЧПУ)**, при котором программу задают в виде записанного на том или ином носителе массива информации. Управляющая информация для станков с ЧПУ является дискретной, и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами.

### **Цикловое программное управление (ЦПУ)**

Система циклового программного управления (ЦПУ) позволяет частично или полностью программировать цикл работы станка, режим обработки и смену инструмента, а также задавать (с помощью предварительного налаживания упоров) величину перемещений исполнительных органов станка. Она **является аналоговой системой управления замкнутого типа** и обладает достаточно высокой гибкостью, т. е. обеспечивает легкое изменение последовательности включения аппаратуры (электрической, гидравлической, пневматической и т. д.), управляющей элементами цикла.



### Блок-схема устройства циклового программного управления

1 – блок задания программы, 2 – блок поэтапного ввода программы, 3 – блок управления циклом работы станка, 4 – блок преобразования сигналов контроля. 5, 6 - приводы исполнительных органов станка, электромагниты, муфты и т. д., 7 – датчик обратной связи

Из блока 1 информация поступает в схему автоматики. Схема автоматики (обычно выполняют на электромагнитных реле) согласует работу программатора циклов с исполнительными органами станка и датчиком обратной связи; усиливает и размножает команды; может выполнять ряд логических функций (например, обеспечивать выполнение стандартных циклов). Из блока 3 сигнал поступает в исполнительное устройство где исполнительные элементы 5, 6 обеспечивают отработку заданных программой команд. Датчик 7 контролирует окончание обработки и через блок 4 дает команду блоку 2 на включение следующего этапа программы.

**В устройствах циклового управления в числовом виде программа содержит информацию только о цикле и режимах обработки, а величину перемещения рабочих органов задают настройкой упоров.**

**Достоинствами** системы ЦПУ являются простота конструкции и обслуживания, а также низкая стоимость.

**Недостатками** – трудоемкость размерной наладки упоров и кулачков.

Станки с ЦПУ целесообразно применять в условиях серийного, крупносерийного и массового производства деталей простых геометрических форм. Системами ЦПУ оснащают токарно-револьверные, токарно-фрезерные, вертикально-сверлильные станки, агрегатные станки, промышленные роботы (ПР) и др.

## Числовое программное управление (ЧПУ)

Под числовым программным управлением (ЧПУ) станком понимают управление по программе, заданной в алфавитно-цифровом коде, движением исполнительных органов станка, скоростью их перемещения, последовательностью цикла обработки, режимом резания и различными вспомогательными функциями.

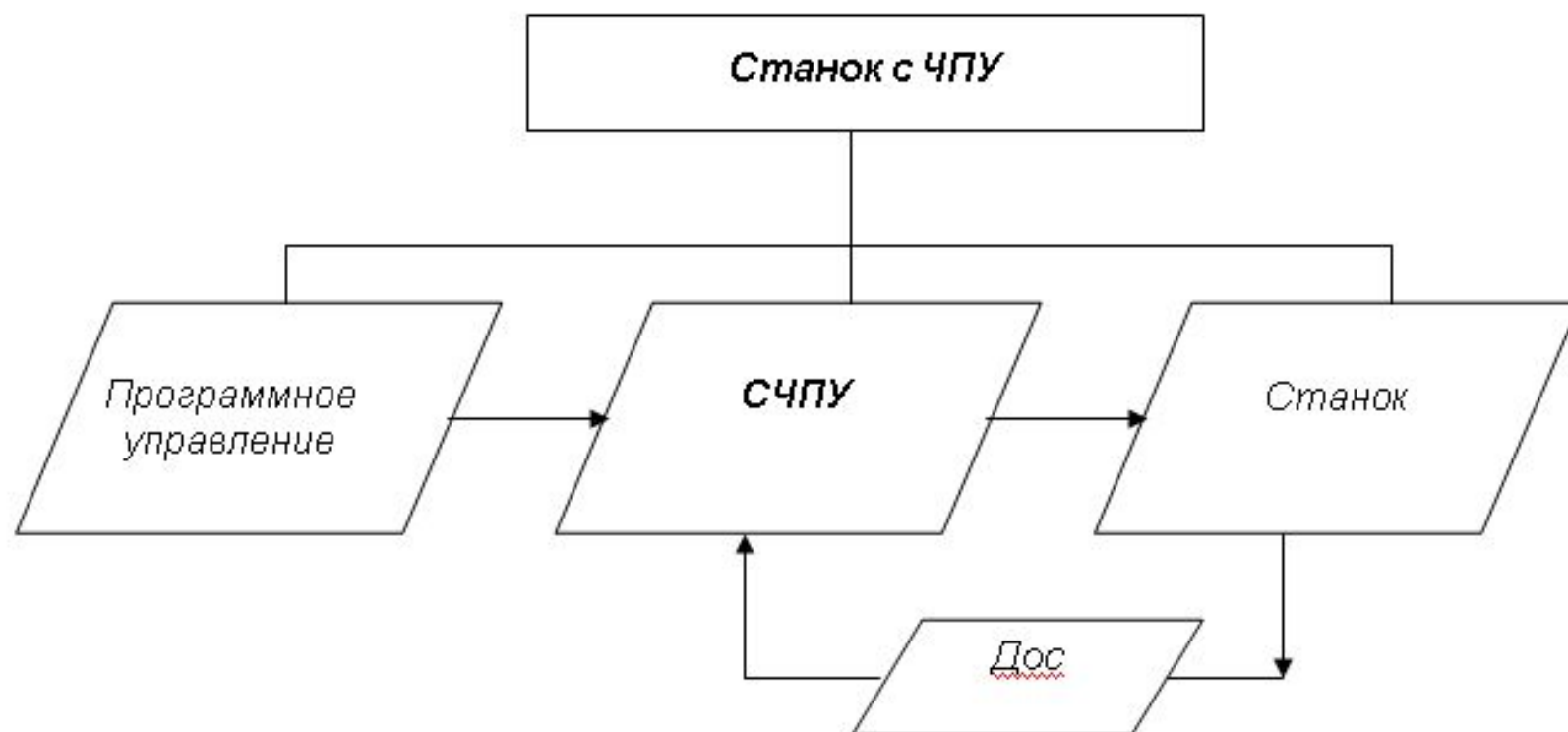
На основе достижений кибернетики, электроники, вычислительной техники и приборостроения были разработаны принципиально новые системы программного управления – **системы ЧПУ**, широко используемые в станкостроении. **В этих системах величина каждого хода исполнительного органа станка задается с помощью числа.** Каждой единице информации соответствует дискретное перемещение исполнительного органа на определенную величину, называемую разрешающей способностью системы ЧПУ или ценой импульса. В определенных пределах исполнительный орган можно переместить на любую величину, кратную разрешающей способности.

**В системах ЧПУ** на всем пути от подготовки программы управления вплоть до ее передачи рабочим органам станка мы имеем дело только с информацией в цифровой (дискретной) форме, полученной непосредственно из чертежа детали. Траектория движения режущего инструмента относительно обрабатываемой заготовки в станках с ЧПУ представляется в виде ряда его последовательных положений, каждое из которых определяется числом. Вся информация программы управления (размерная, технологическая и вспомогательная), необходимая для управления обработкой детали, представленная в текстовой или табличной форме с помощью символов (цифр, букв, условных знаков), кодируется (**код ISO-7bit**) и вводится в память системы управления от ЭВМ или непосредственно с помощью клавишей на пульте управления. Устройство ЧПУ 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, а благодаря управлению независимыми координатными перемещениями этих рабочих органов по программе, заданной в числовом виде.**

В условиях серийного, мелкосерийного и единичного производства сокращение сроков подготовки производства на 50—75 %, снижению общей продолжительности цикла обработки на 50—60 %, уменьшению затрат на проектирование и изготовление технологической оснастки на 30—85 %.

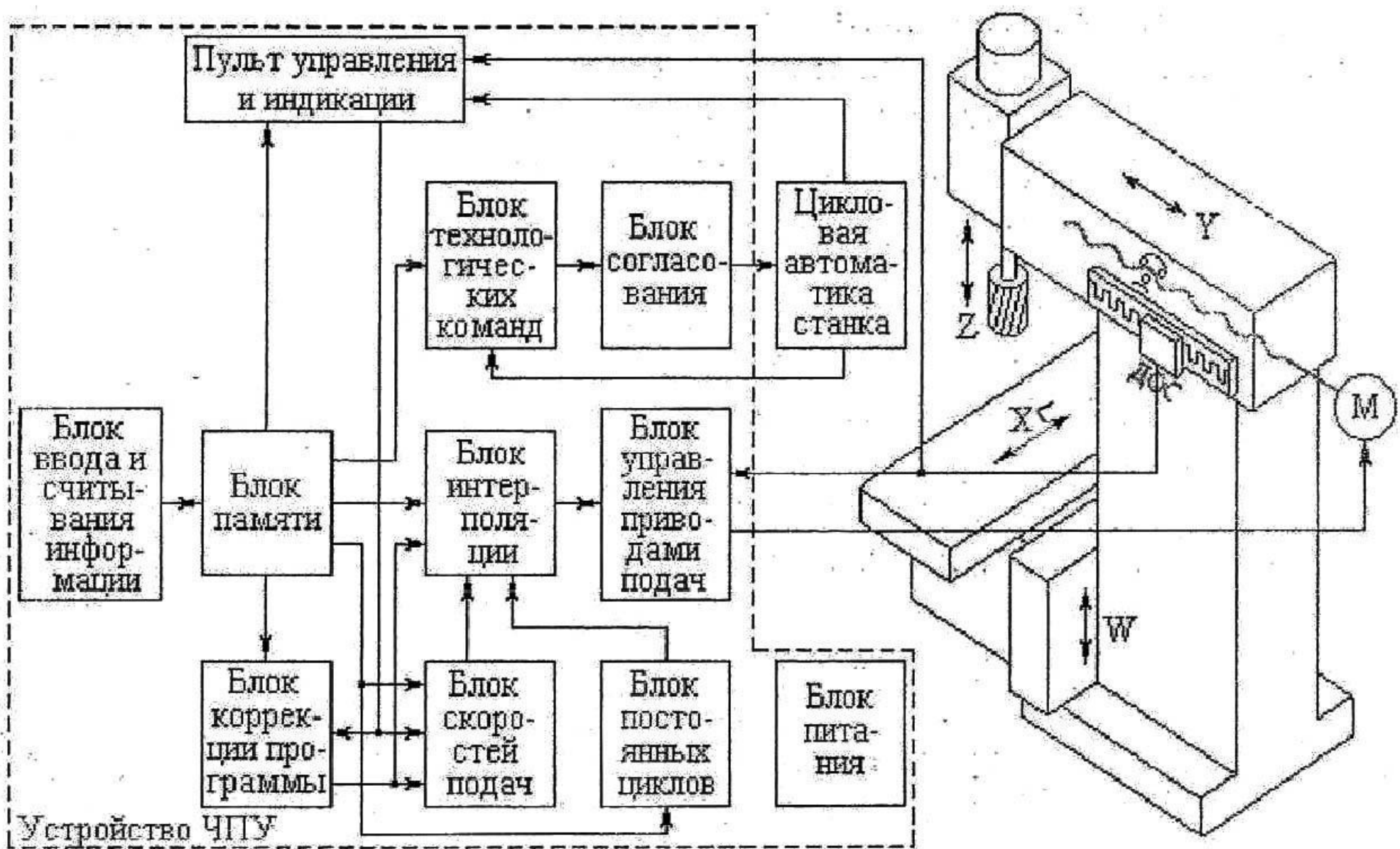


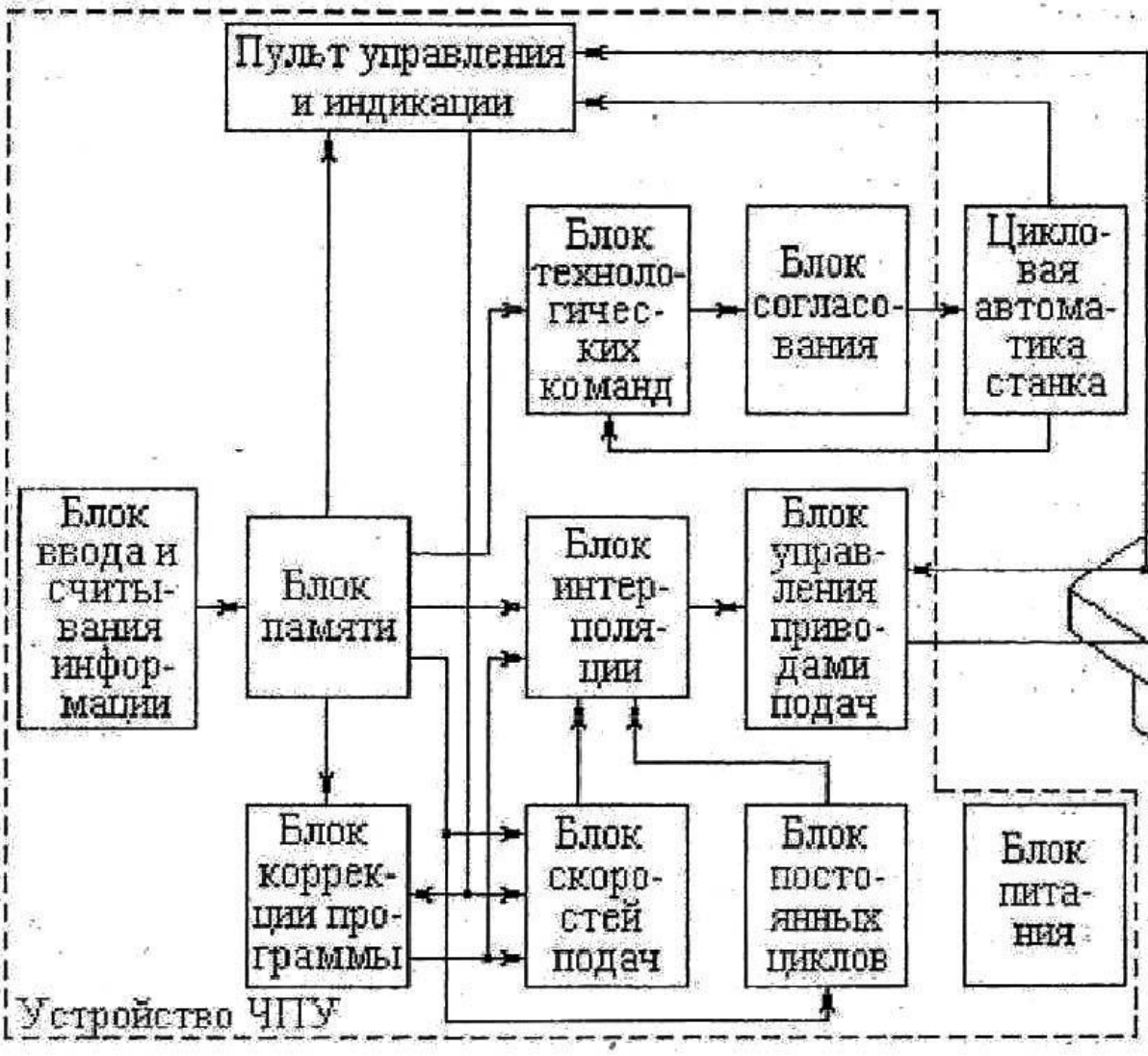
## Структурная схема станка с ЧПУ



УП – управляющая программа;  
СЧПУ – система числового программного управления;  
ДОС – датчик обратной связи.

# Структурная схема системы ЧПУ

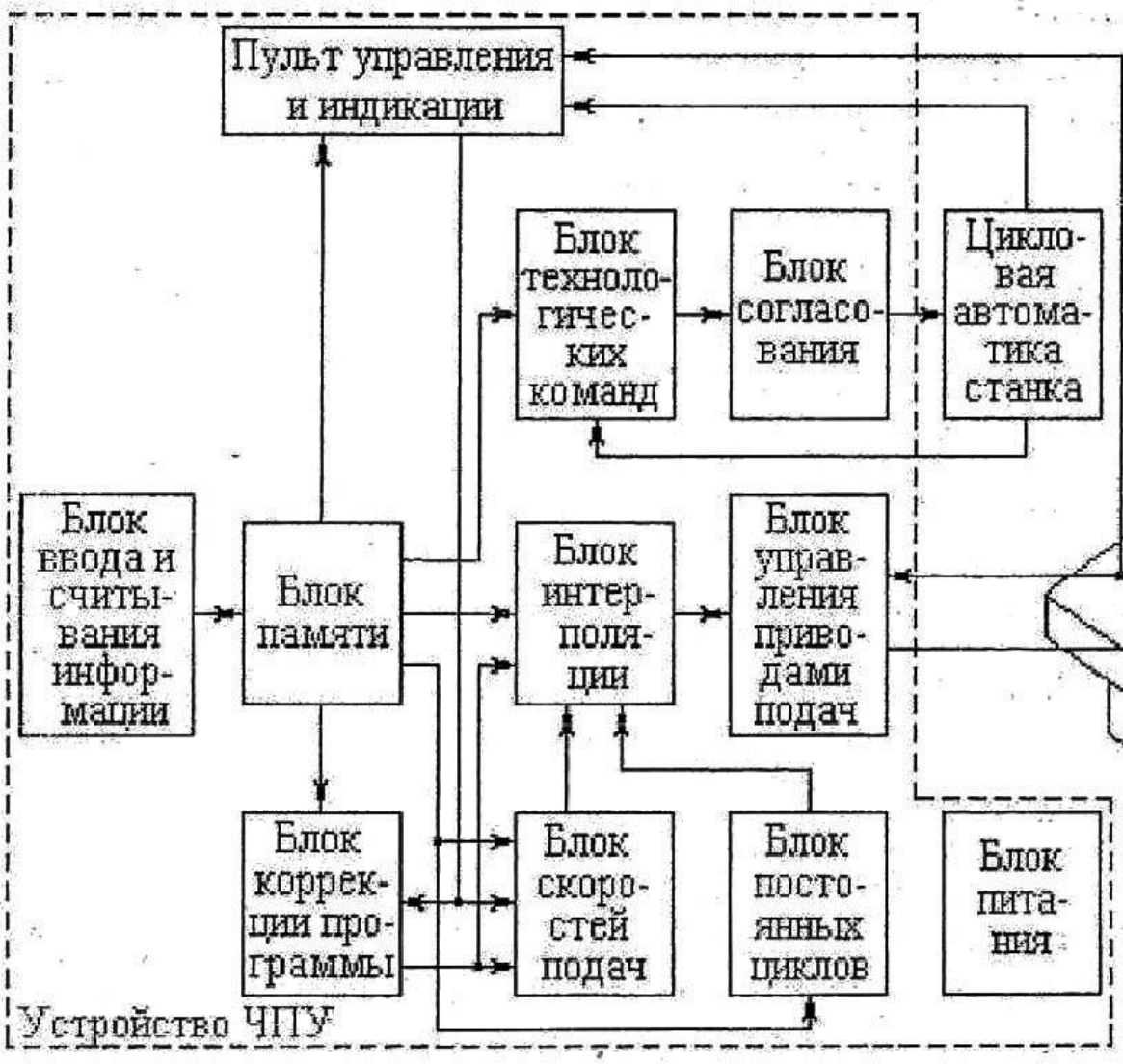




**Устройство ЧПУ** предназначено для выдачи управляющих воздействий рабочим органам станка в соответствии с программой управления, вводимой в блок ввода и считывания информации.

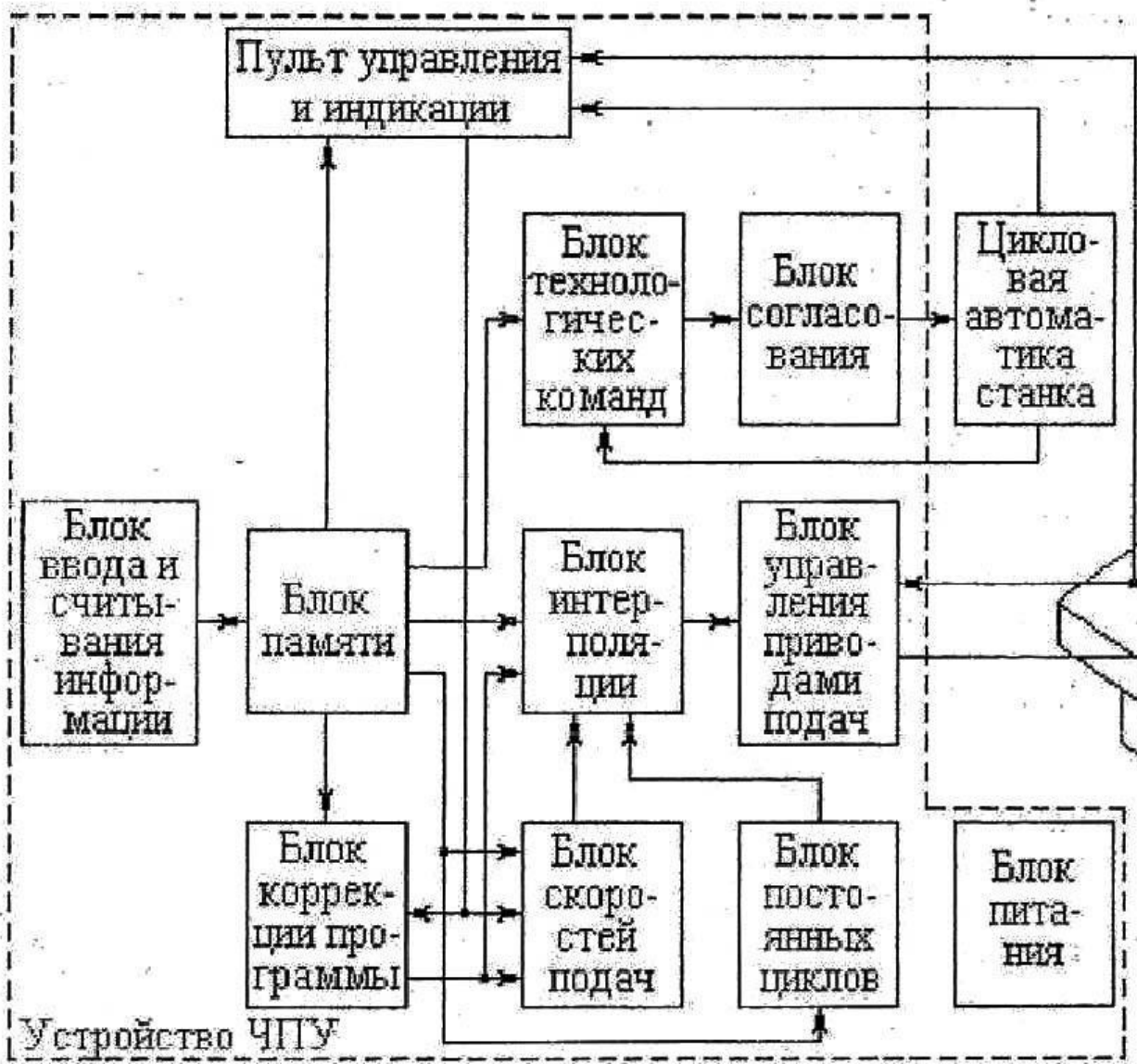
**Блок технологических команд** служит для управления цикловой автоматикой станка, состоящей в основном из исполнительных элементов типа пускателей, электромагнитных муфт, соленоидов, концевых и путевых выключате-

лей, реле давления и т.д., обеспечивающих выполнение различных технологических команд (смены инструмента, переключения частот вращения шпинделя и др.), а также различных блокировок при работе станка.



**Блок интерполяции** – специализированное вычислительное устройство (интерполятор) - формирует **частичную** траекторию движения инструмента между двумя или более заданными в программе управления точками. Выходная информация с этого блока, поступающая на **блок управления приводами подач**, обычно представлена в виде последовательности импульсов по каждой координате, частота которых определяет скорость подачи, а число - величину перемещения.

Заданная скорость подачи вдоль обрабатываемого контура детали, а также процессы разгона и торможения обеспечиваются блоком скоростей подач.



**Блок коррекции программы** служит для изменения запрограммированных параметров обработки: скорости подачи и размеров инструмента (длины и диаметра).

**Блок постоянных циклов** позволяет упростить процесс программирования при обработке повторяющихся элементов детали, например, при сверлении и растачивании отверстий, нарезании резьбы и др.

**Привод подач рабочих органов** состоит из приводного двигателя, систем его управления и кинематических звеньев.

**Точность перемещения рабочих органов станка с ЧПУ** зависит от применяемой схемы управления приводами подач: **разомкнутой** (без системы измерения действительных перемещений управляемого рабочего органа) или **замкнутой** (с системой измерения). Во втором случае контроль точности отработки управляющих сигналов по каждой управляемой координате станка осуществляется датчиком обратной связи (ДОС). Точность данного контроля во многом определяется типом, конструкцией и местом установки датчиков на станке.

В зависимости от вида основных операций механической обработки станки подразделяются на технологические группы:

**токарные, фрезерные, сверлильные, сверлильно - фрезерно - расточные, шлифовальные, многооперационные.**

По количеству используемого инструмента, станки с ЧПУ подразделяются на:

**многоинструментальные**, с числом автоматически сменяемых инструментов до 12, как правило станки с инструментальной револьверной головкой;

**многооперационные**, с числом автоматически сменяемых инструментов более 12, снабженные специальным инструментальным магазином цепного или барабанного типа.

## ***Преимущества станков с ЧПУ.***

1. Повышение точности обработки; обеспечение взаимозаменяемости деталей в серийном и мелкосерийном производстве,
2. Сокращение или полная ликвидация разметочных и слесарно-притирочных работ,
3. Простота и малое время переналадки;
4. Концентрация переходов обработки на одном станке, что приводит к сокращению затрат времени на установку заготовки, сокращению числа операций, оборотных средств в незавершенном производстве, затрат времени и средств на транспортирование и контроль деталей;
5. Сокращение цикла подготовки производства новых изделий и сроков их поставки;
6. Обеспечение высокой точности обработки деталей, так как процесс обработки не зависит от навыков и интуиции оператора;

7. Снижение брака по вине рабочего;
8. Повышение производительности станка в результате оптимизации технологических параметров, автоматизации всех перемещений;
9. Возможность использования менее квалифицированной рабочей силы и сокращение потребности в квалифицированной рабочей силе;
10. Возможность многостаночного обслуживания;
11. Сокращение парка станков, так как один станок с ЧПУ заменяет несколько станков с ручным управлением.

Применение станков с ЧПУ позволяет решить ряд социальных задач: ***улучшить условия труда рабочих-станочников, значительно уменьшить долю тяжелого ручного труда, изменить состав работников механообрабатывающих цехов, сделать менее острой проблему нехватки рабочей силы и т. д.***



# Общие рекомендации по повышению эффективности использования станков с ЧПУ:

1. Широко использовать многоместные приспособления, обеспечивающие обработку нескольких одинаковых или разных по конструкции деталей (особенно это важно при использовании ГПС, так как на приспособлении могут быть закреплены и изготовлены за один цикл комплекты деталей для одного изделия).

2 Применять промежуточные плиты с точно обработанными отверстиями или пазами, что сокращает время наладки и переналадки оборудования на новую деталь; кроме того, это предохраняет от изнашивания рабочие поверхности стола и т. д.

3 Использовать комбинированный инструмент небольшой длины и точного исполнения, предпочтительно со сменными пластинами с покрытием (в том числе и для сверления и развертывания). Это способствует повышению режимов обработки, стойкости и надежности инструмента, а также снижению затрат времени на смену инструмента и позиционирование стола, и сокращению количества инструментов, необходимых для обработки детали, и числа гнезд в инструментальном магазине.

4 На станке следует иметь устройство для контроля состояния режущей кромки, фиксации времени работы с указанием момента смены инструмента;

5 Весь инструмент необходимо налаживать вне станка.

6 Назначать последовательность обработки отверстий на основе учета реальных затрат времени, т.е., одним инструментом обрабатывать ряд отверстий одного диаметра, или каждое отверстие обрабатывать полностью со сменой инструмента;

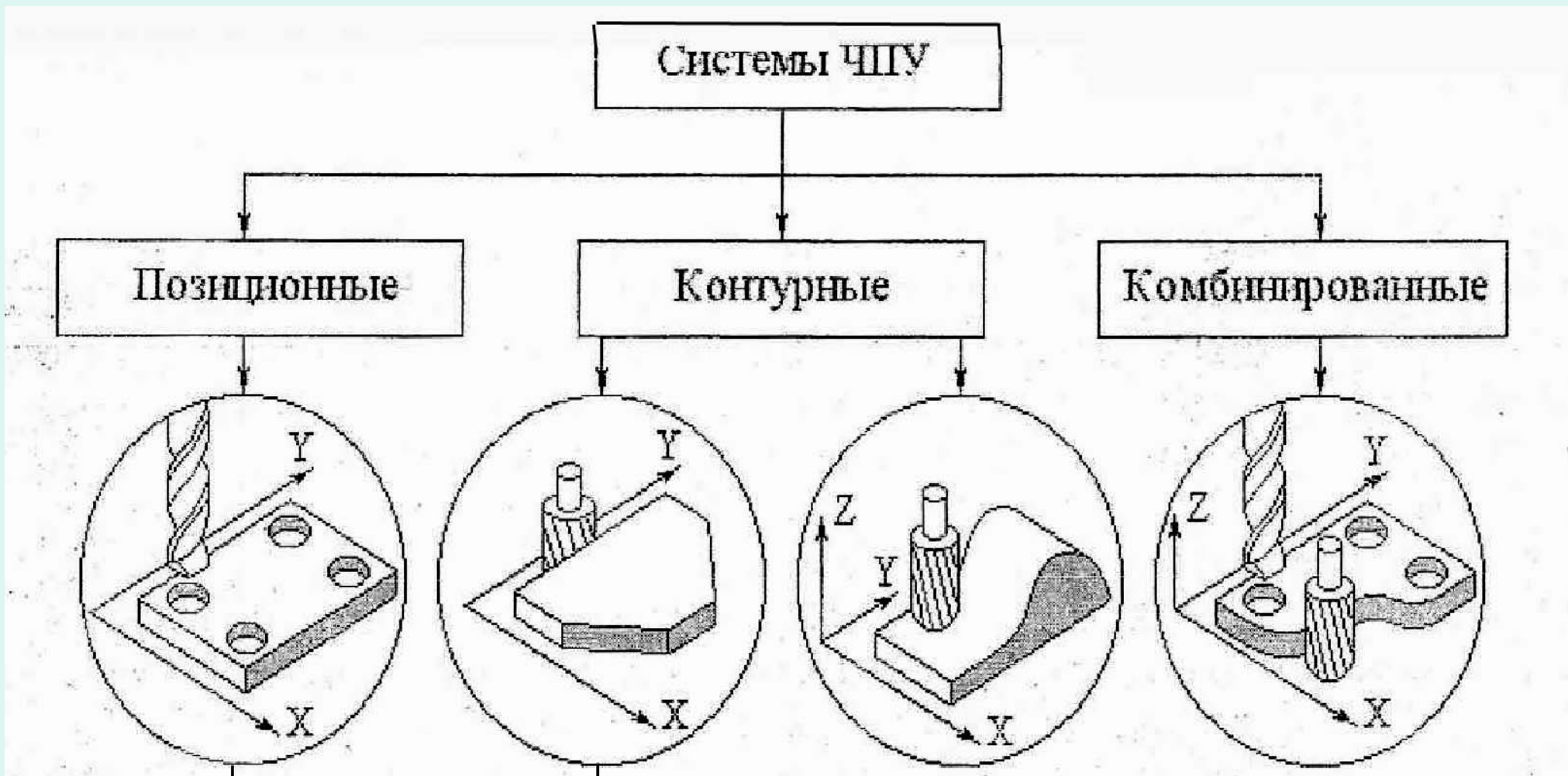
6 В процессе механической обработки вначале выполнять переходы, требующие наибольшей частоты вращения шпинделя, например, вначале целесообразно сверлить отверстие малого, а затем большого диаметра;

7. Избегать частых скачкообразных изменений частот вращения шпинделя;

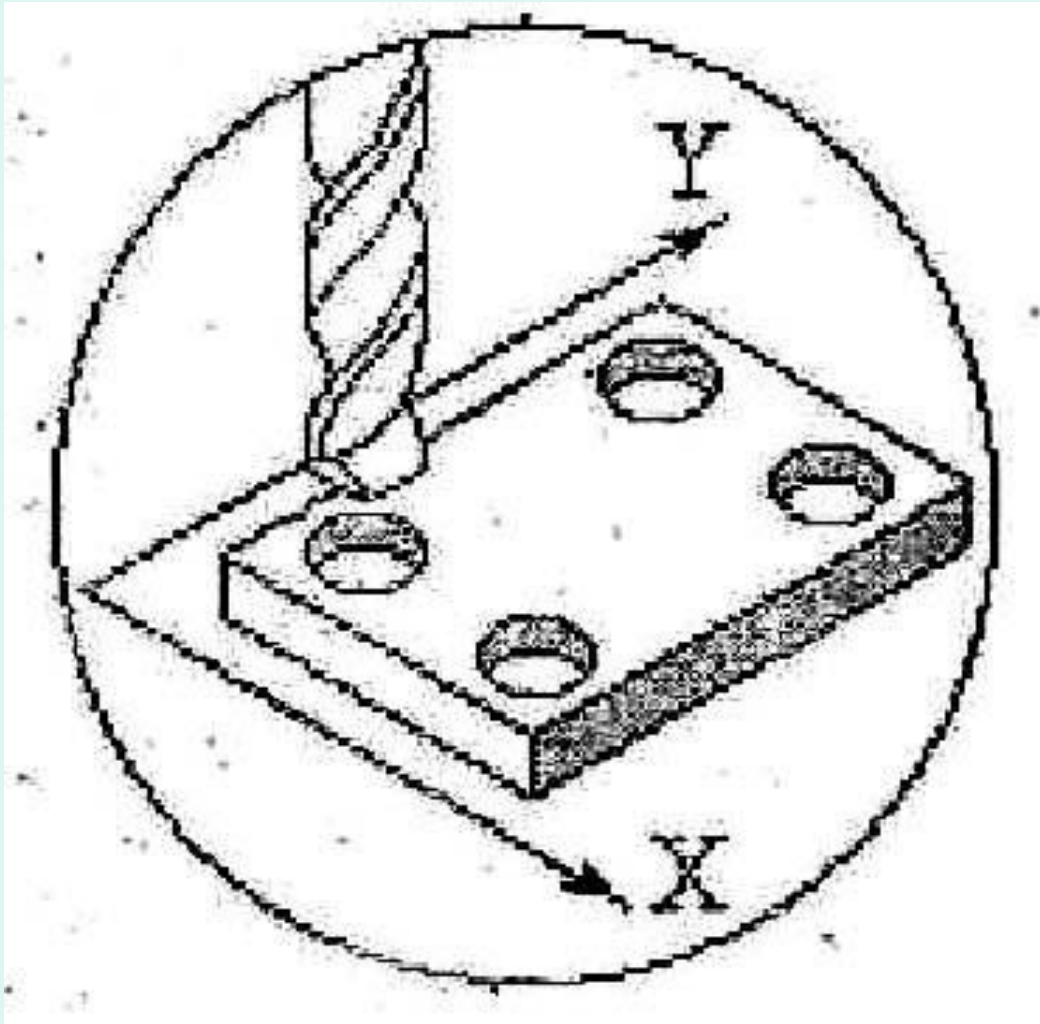
8 Станки с ЧПУ независимо от класса точности должны использоваться только для работ, ограниченных технологическим назначением станка, допустимыми нагрузками, размерами фрез, сверл и т. д.

9 Станки с ЧПУ высокого класса точности не следует использовать для обработки деталей, которые по точности, заданной чертежом, могут быть обработаны на станках более низкого класса точности.

# Классификация систем ЧПУ по характеру движения рабочих органов

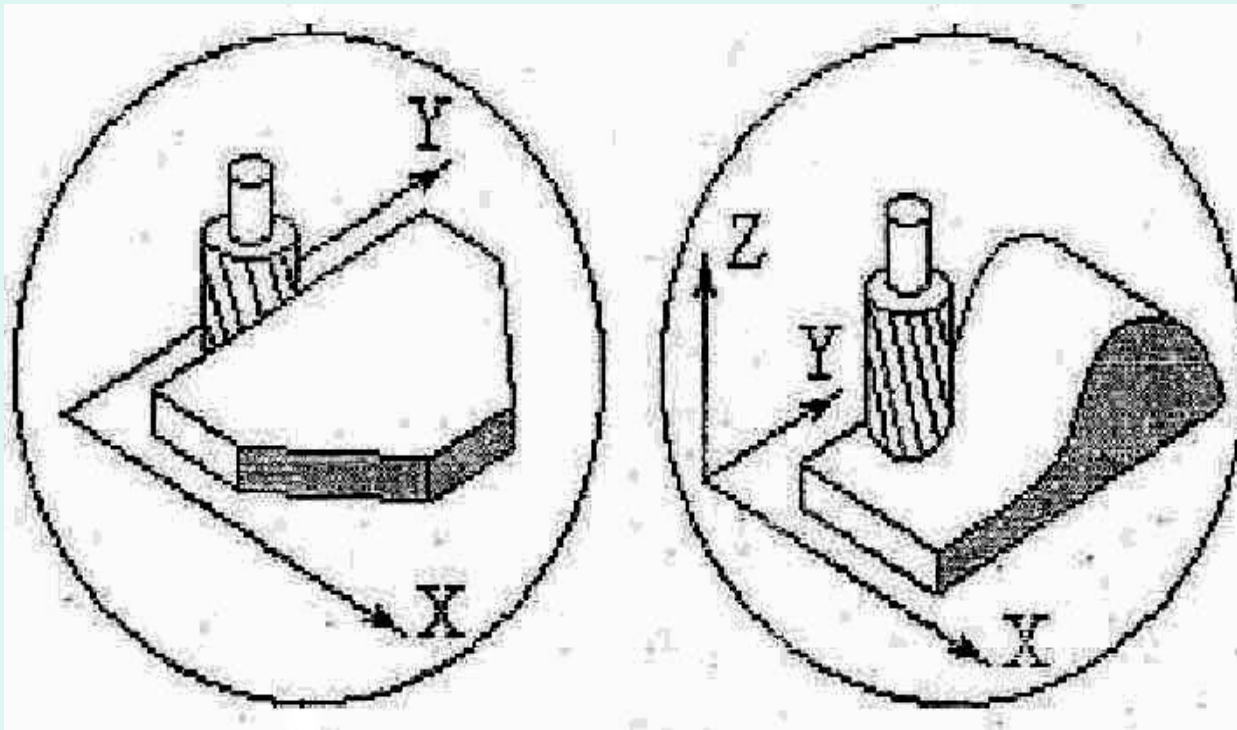


Классификация систем ЧПУ исходя из технологических задач управления обработкой



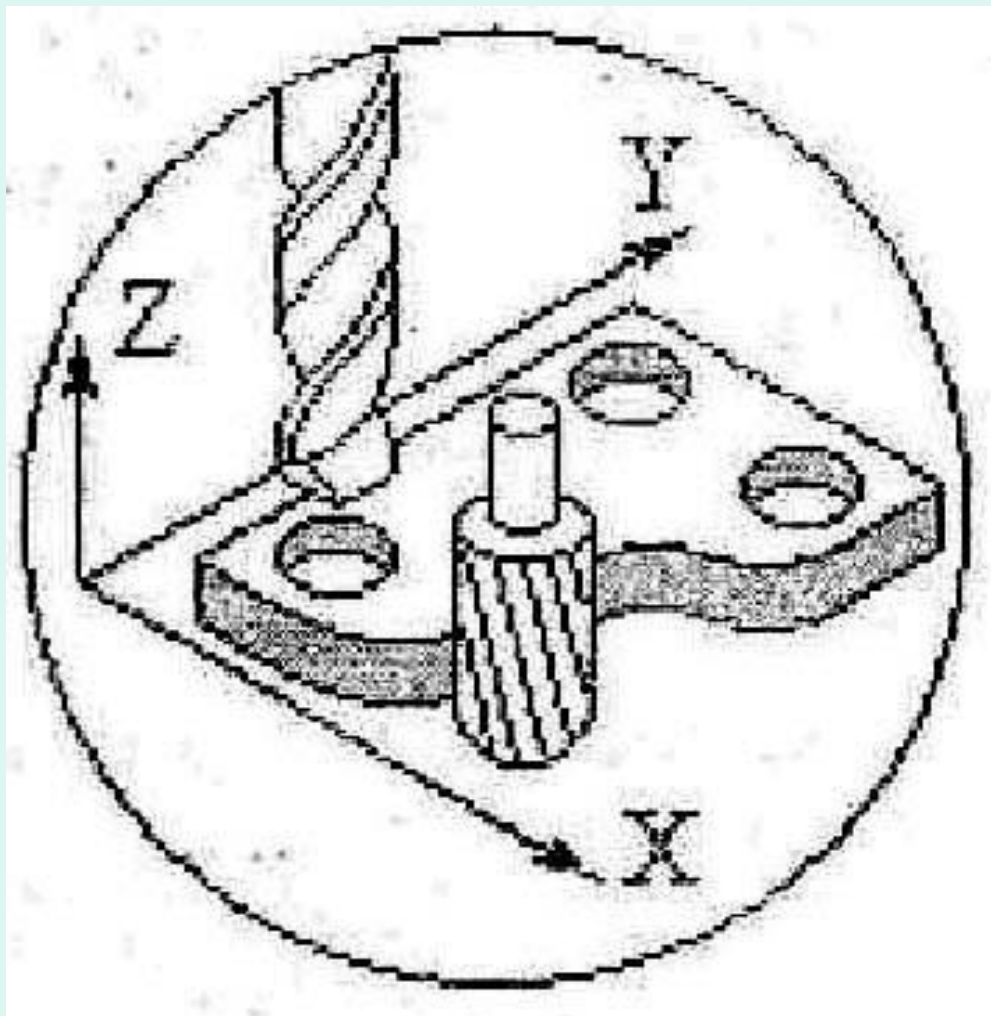
**Позиционные системы ЧПУ** - обеспечивают управление перемещениями рабочих органов станка в соответствии с командами, определяющими позиции, заданные программой управления. **При этом перемещения вдоль различных осей координат могут выполняться одновременно (при заданной постоянной скорости) или последовательно.** Данными системами оснащают в основном сверлильные и

расточные станки для обработки деталей типа плит, фланцев, крышек и др., в которых производится сверление, зенкерование, растачивание отверстий, нарезание резьбы и др. (например, мод. 2P135Ф2, 6902МФ2, 2А622Ф2-1).



**Контурные системы ЧПУ** - обеспечивают управление перемещениями рабочих органов станка по траектории и с **контурной скоростью**, заданными программой управления. **Контурной скоростью** является результирующая

**скорость подачи рабочего органа станка, направление которой совпадает с направлением касательной в каждой точке заданного контура обработки.** Контурные системы ЧПУ в отличие от позиционных обеспечивают **непрерывное управление перемещениями инструмента или заготовки поочередно или сразу по нескольким координатам** в результате чего может обеспечиваться обработка очень сложных деталей (с управлением одновременно по более чем двум координатам). Контурными системами ЧПУ оснащены в основном токарные и фрезерные станки (например, мод. 16K20Ф3, 6P13Ф3).



**Комбинированные системы ЧПУ**, сочетают функции позиционных и контурных систем ЧПУ. Являются наиболее сложными и более универсальными. В связи с повышением степени автоматизации станков с ЧПУ, усложнением) и расширением их технологических возможностей (особенно многооперационных) применение комбинированных систем ЧПУ значительно возрастает (например, мод. ИР500МФ4, ИР320ГШФ4; 2206ПМФ4, 6305Ф4).

В отдельную группу выделяют станки с цифровой индикацией и преднабором координат. В этих станках имеется электронное **устройство для задания координат нужных точек (преднабор координат)** и крестовый стол, снабженный датчиками положения, который дает команды на перемещение до необходимой позиции. При этом **на экране высвечивается каждое текущее положение стола (цифровая индикация)**. В таких станках можно применять преднабор координат или цифровую индикацию. Исходную программу работы задает **станочник**.

В моделях станков с ЧПУ для обозначения степени автоматизации добавляется буква **Ф** с цифрой:

- Ф 1** – станки с цифровой индикацией и преднабором координат;
- Ф 2** – станки с позиционными системами ЧПУ;
- Ф 3** – станки с контурными системами ЧПУ;
- Ф 4** – станки с комбинированной системой ЧПУ для позиционно - контурной обработки.

Кроме того, к обозначению модели станка с ЧПУ могут прибавляться приставки С1, С2, С3, С4 и С5, что указывает на различные модели систем ЧПУ, применяемых в станках, а также на различные технологические возможности станков. Например, станок модели 16К20Ф3С1 оснащен системой ЧПУ «Контур 2ПТ-71», станок модели 16К20Ф3С4 – системой ЧПУ ЭМ907 и т. д.

Для станков с **цикловыми системами ПУ**, где в качестве управляющих элементов являются концевые переключатели, упоры и т. д., в обозначении модели введен **индекс Ц**, с **оперативными системами – индекс Т** (например, 16К20Т1).

**По способу подготовки и ввода управляющей программы различают:**

**оперативные системы ЧПУ** (в этом случае управляющую программу готовят и редактируют непосредственно на станке, в процессе обработки первой детали из партии или имитации ее обработки);

**адаптивные системы ЧПУ**, для которых управляющая программа готовится, независимо от места обработки детали. Причем независимая подготовка управляющей программы может выполняться либо с помощью средств вычислительной техники, входящих в состав системы ЧПУ данного станка, либо вне ее (вручную или с помощью системы автоматизированного программирования.)



**В соответствии с международной классификацией, все устройства ЧПУ по уровню технических возможностей делятся на основные классы:**

**NC - Numerical Control** - созданы на основе счетно-решающих аналоговых устройств, в следствии чего имеют "жесткую" архитектуру адаптированную к конкретной модели станка, как правило на основе шагового привода. При каждом цикле обработки заготовки, УП считывается по кадрам – один обрабатывается, другой записывается в буферное запоминающее устройство. При таком режиме работы, значительные нагрузки на считывающее устройство и материал программносителя, поэтому нередко возникают сбои системы.

**SNC - Stored Numerical Control** - сохраняют все свойства класса **NC** но отличаются от них увеличенным объемом памяти.

**CNC - Computer Numerical Control** - выполнены на основе микроЭВМ и позволяют создавать устройства ЧПУ совмещающие функции управления станком (как правило с приводами на основе двигателей постоянного тока) и решения отдельных задач подготовки **УП**. Особенность систем данного класса заключается в

возможности изменять и корректировать в период эксплуатации как **УП** обработки детали, так и свойства функционирования самой системы, в целях максимального учета особенностей модели, данного станка. В запоминающее устройство системы **CNC**, УП вводится полностью, с программоносителя или в режиме диалога с **ПУ** станка.

**DNC - Direct Numerical Control** - сохраняют все свойства систем класса **CNC** и при этом имеют возможность обмена информацией с центральной ЭВМ обслуживающей группу станков, производственный участок или цех.

# Системы управления привода подач в станках с ЧПУ

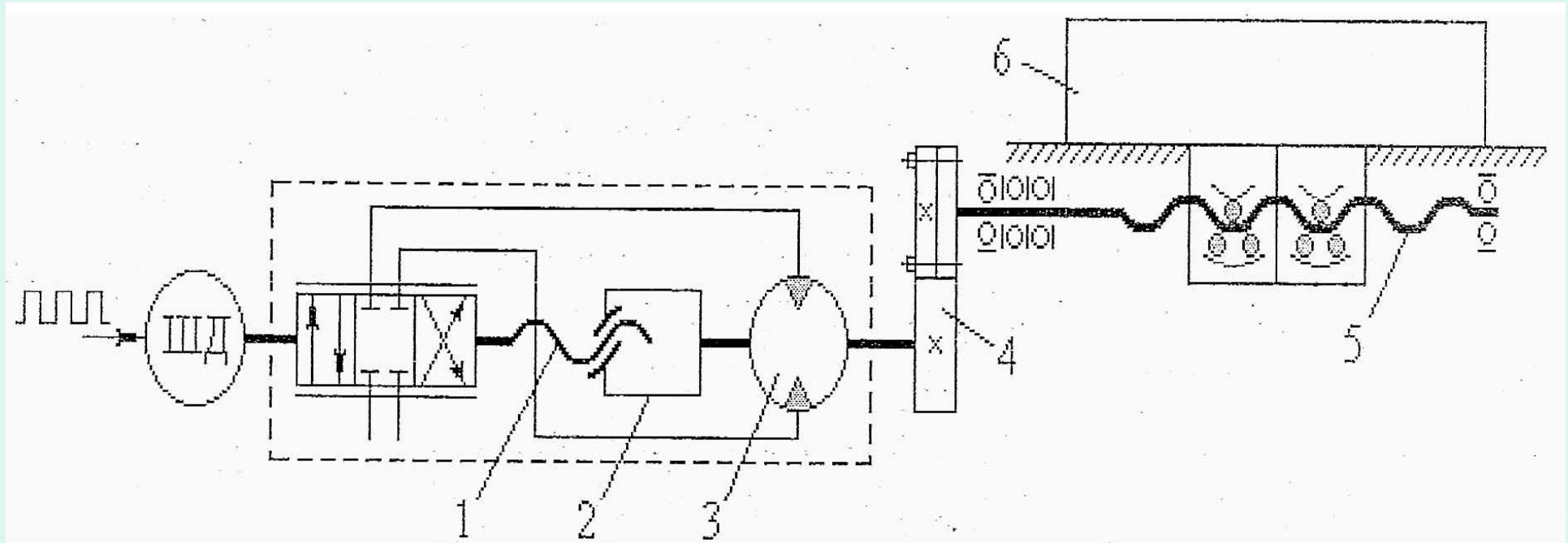
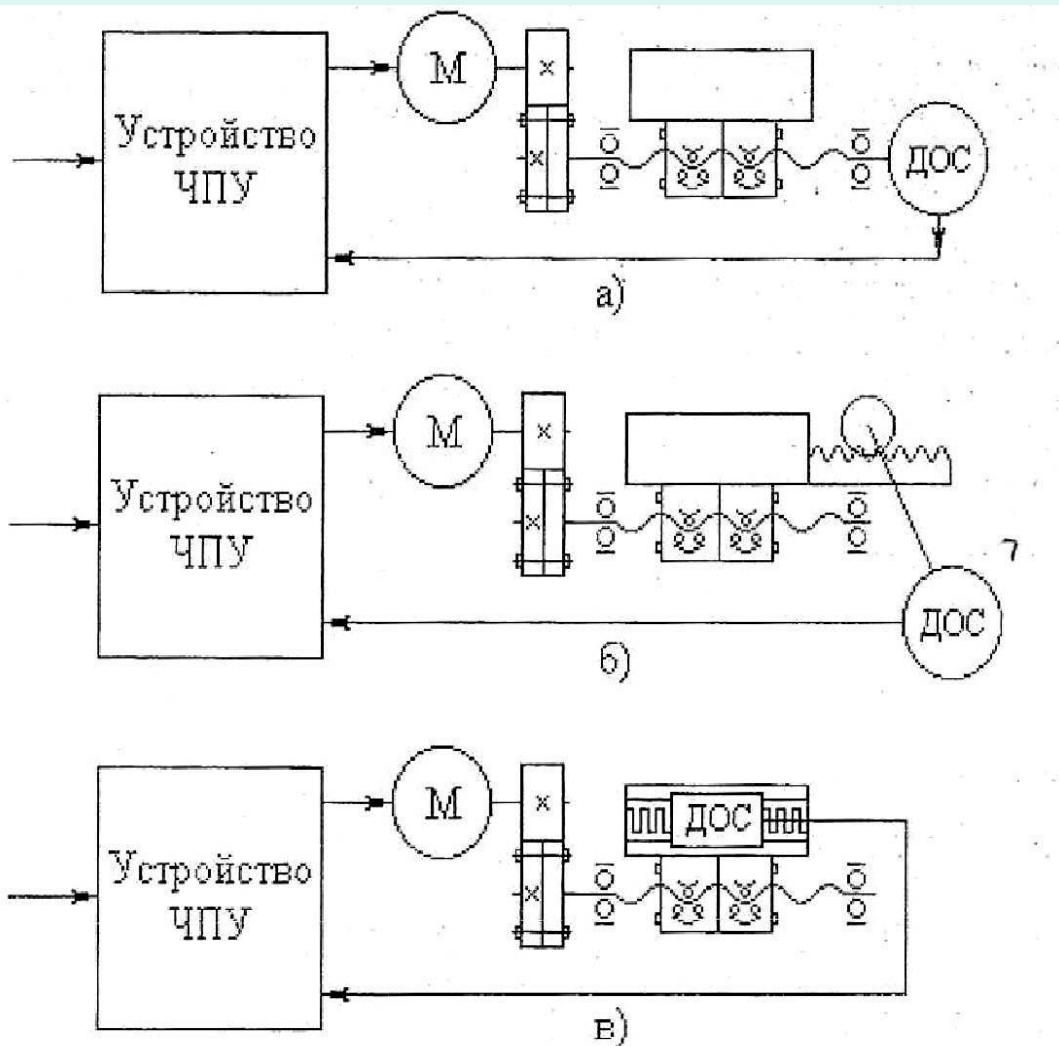


Схема разомкнутой системы управления привода подач станка с ЧПУ: 1,2,3, - элементы гидропривода; 4 – зубчатая пара; 5- ходовой винт; 6 – рабочий орган станка с ЧПУ

**Разомкнутые системы** характеризуются наличием одного потока информации, поступающего со считывающего устройства к исполнительному органу станка.

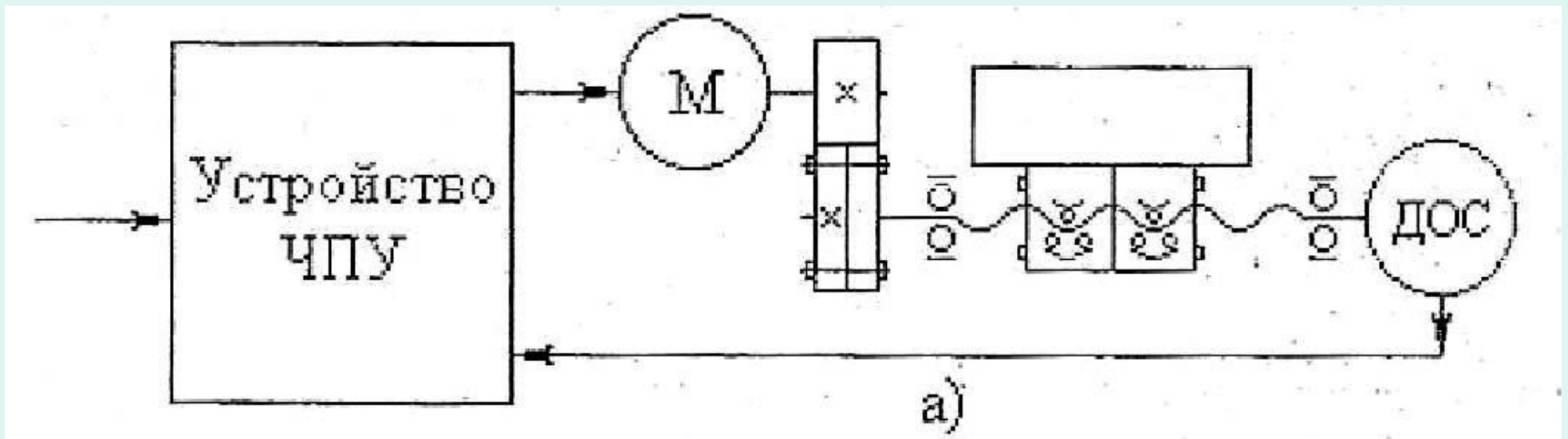
**Недостаток** - нет датчика обратной связи и поэтому отсутствует информация о действительном положении исполнительных органов станка.



**Замкнутые системы ЧПУ -** характеризуются двумя потоками информации – от считывающего устройства и от датчика обратной связи по пути. В этих системах рассогласование между заданными и действительными величинами перемещений исполнительных органов устраняется благодаря наличию обратной связи. В основе работы замкнутых систем ЧПУ лежит принцип следящих систем управления.

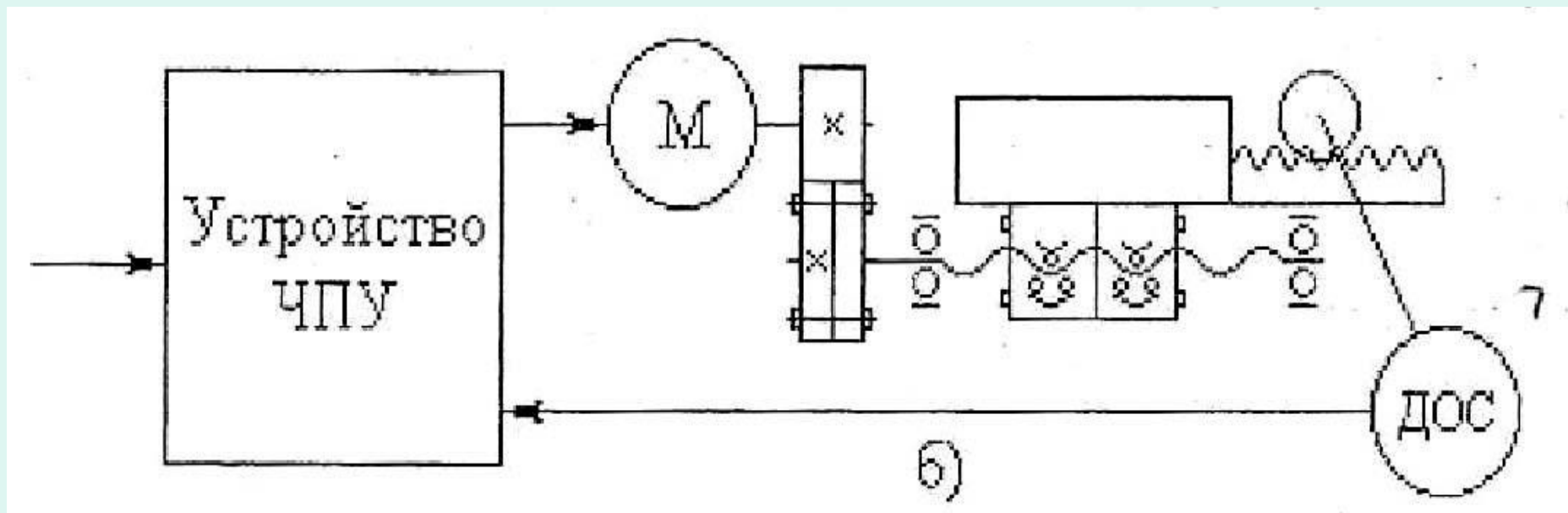
Структурные схемы замкнутых систем ЧПУ:

- а) - замкнутая с круговым ДОС на ходовом винте;
- б) – замкнутая с круговым ДОС и реечной передачей
- в) - замкнутая с линейным ДОС на рабочем органе станка



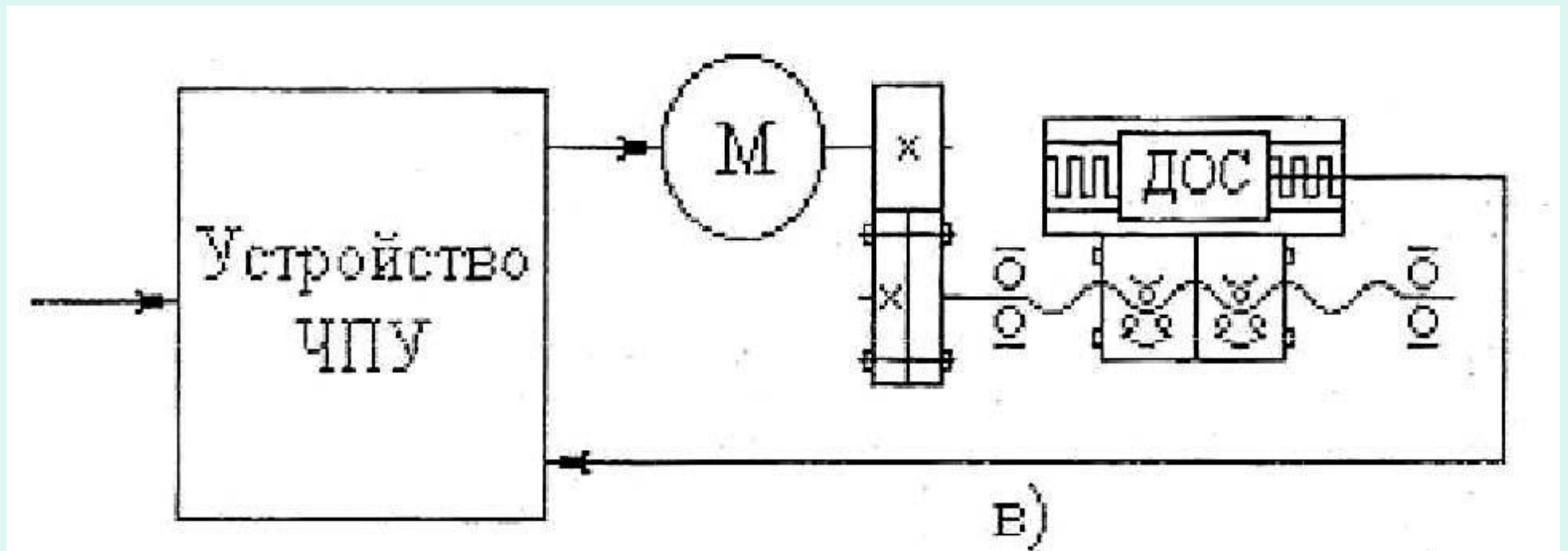
## Замкнутая система ЧПУ с круговым ДОС на ходовом винте

В подобных системах ЧПУ производится косвенное измерение положения рабочего органа с помощью **кругового ДОС**, установленного на **ходовом винте**. Данная схема достаточно проста и удобна с точки зрения установки ДОС. Габаритные размеры применяемого датчика не зависят от величины измеряемого перемещения. При применении круговых ДОС, устанавливаемых на ходовом винте, **высокие требования предъявляются к точностным характеристикам передачи винт-гайка** (точность изготовления, жесткость, отсутствие зазоров), которая в этом случае **не охватывается обратной связью**.



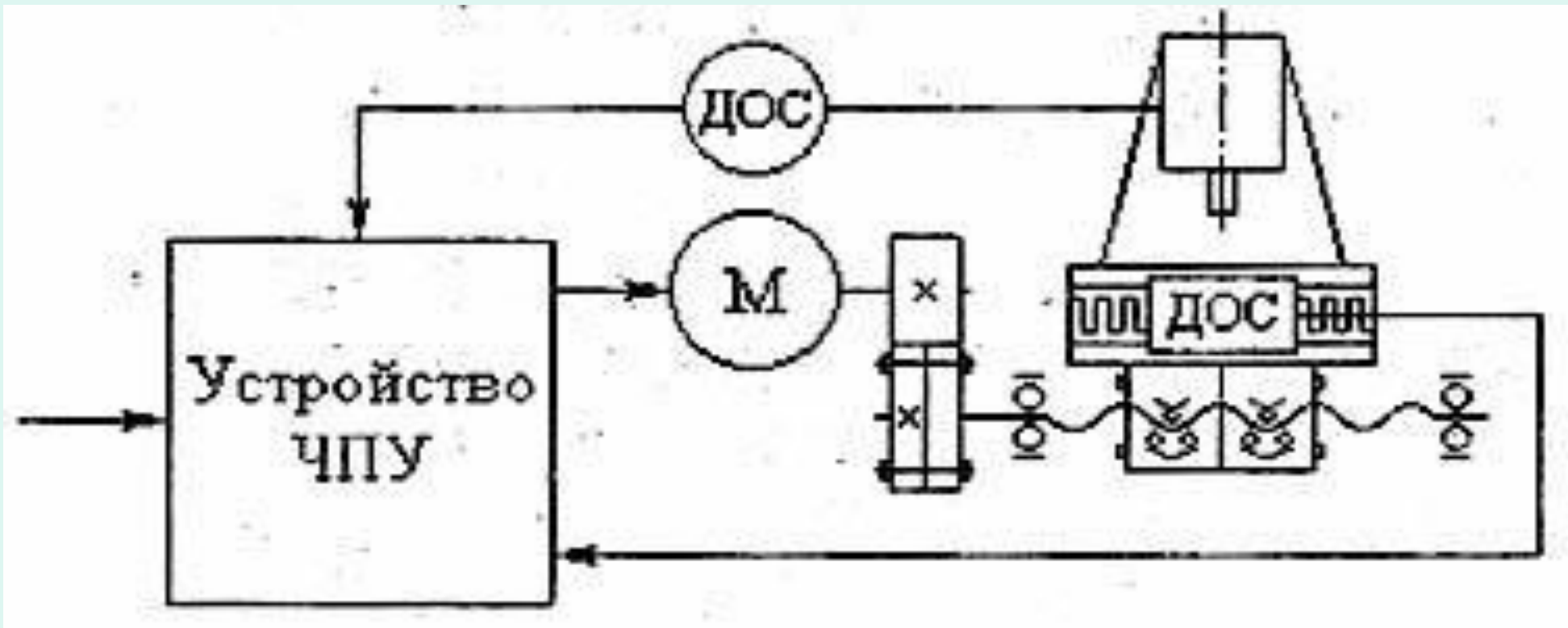
## Замкнутая система ЧПУ с круговым ДОС и реечной передачей

Замкнутые системы ЧПУ этого типа также используют круговой ДОС, но измеряющий перемещение рабочего органа станка через реечную передачу. В данном случае система обратной связи охватывает все передаточные механизмы привода подачи, включая и передачу винт-гайка. Однако, на точность измерений перемещений могут влиять погрешности изготовления реечной передачи. Во избежание этого необходимо применять прецизионную реечную передачу с рейкой, длина которой зависит от величины хода рабочего органа станка. В ряде случаев это усложняет и удорожает систему обратной связи.



## Замкнутая система ЧПУ с линейным ДОС на рабочем органе станка

**Подобные системы ЧПУ** оснащены **линейными ДОС** обеспечивающими **непосредственное измерение перемещения рабочего органа станка**. Это позволяет охватить обратной связью все передаточные механизмы привода подачи, что обеспечивает высокую точность перемещений. Однако **линейные ДОС сложнее и дороже**, чем круговые; их габаритные размеры зависят от длины хода рабочего органа станка. На точность работы **линейных ДОС** могут влиять погрешности станка (например, износ направляющих, тепловые деформации и др.).

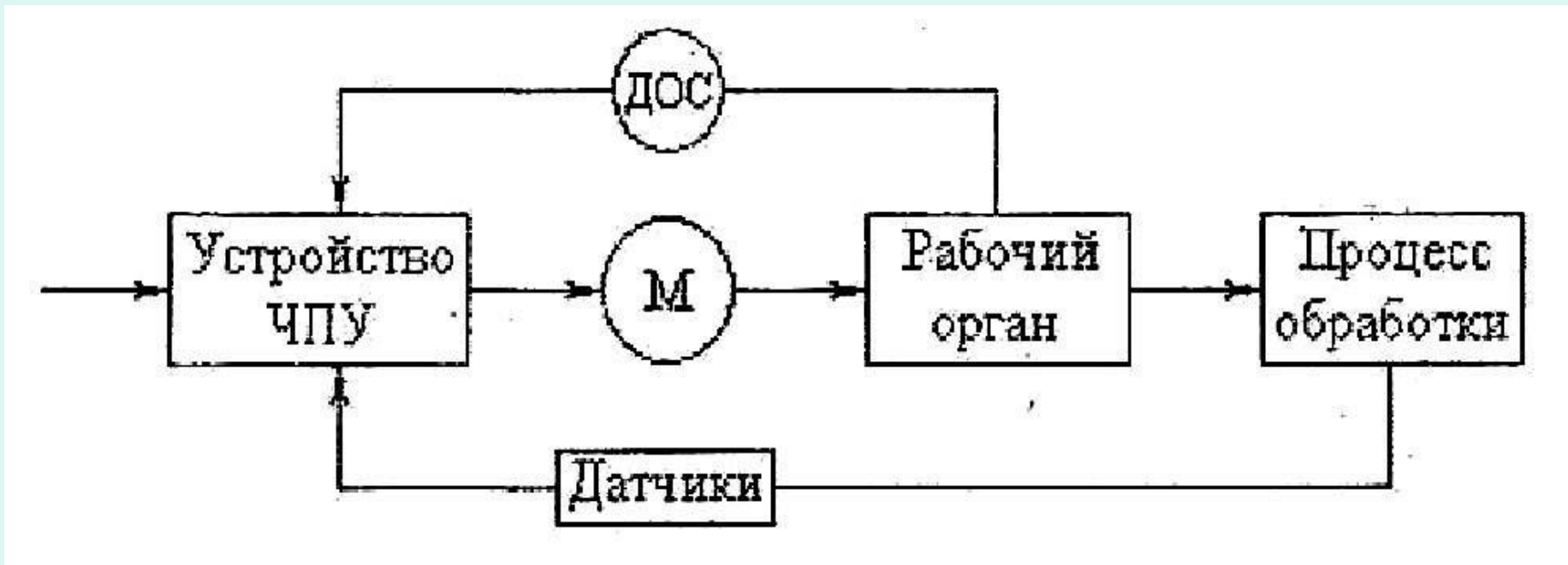


**Структурная схема системы ЧПУ с компенсирующим учетом погрешностей станка**

**Системы ЧПУ с компенсирующим учетом погрешностей станка**

оснащены дополнительными системами обратной связи, с датчиками, учитывающими погрешности станка (тепловые деформации, вибрации, износ направляющих и др.)





## Структурная схема адаптивной системы ЧПУ

### Адаптивные (самоприспосабливающиеся) системы ЧПУ

характеризуются тремя потоками информации: 1) от считывающего устройства; 2) от датчика обратной связи по пути; 3) от датчиков, установленных на станке и контролирующих процесс обработки по таким параметрам, как износ режущего инструмента, изменение сил резания и трения, колебания припуска и твердости материала обрабатываемой заготовки и др. Такие системы позволяют корректировать программу обработки с учетом реальных условий резания.

## Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под управлением станком?
2. В чем отличие ручного управления от автоматического?
3. На какие виды управлений по своему функциональному назначению разделяют автоматическое управление?
4. Что понимают под числовым программным управлением?
5. Назовите основные элементы входящие в устройство ЧПУ.
6. Назовите основные преимущества станков с ЧПУ?
7. Назовите общие рекомендации по повышению эффективности использования станков с ЧПУ?
8. Как классифицируют системы ЧПУ и их обозначение.
9. Назовите способы ввода управляющих программ.
10. Назовите классы устройств с ЧПУ по уровню технических возможностей. В чем их различие?
11. Какие схемы приводов подач используют в станках с ЧПУ и в чем их различие?

11.