

# Управление станками и станочными комплексами



**ПРЕПОДАВАТЕЛЬ: МАЛАХОВ ИВАН ИГОРЕВИЧ, К.Т.Н., ДОЦЕНТ**

**ЛЕКЦИЙ: 18 ЧАС.**

**ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ: 18 ЧАС.**

**ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ: 10 ЧАС.**

**ФОРМА ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ: ЗАЧЕТ**

# Этапы создания и совершенствования систем программного управления





- **Управление станками и станочными комплексами** – это совокупность воздействий на их механизмы, обеспечивающих выполнение этими механизмами технологического цикла обработки.
- **Система управления** – устройство, реализующее эти воздействия. Применительно к отдельным станкам различают два вида управления – *ручное* и *автоматическое*.



- **Ручное управление** основывается на том, что решения об использовании тех или иных элементов рабочего цикла принимает человек – оператор станка. Оператор на основании принятых решений включает соответствующие механизмы станка и задает параметры их работы.
- Операции ручного управления осуществляются как в неавтоматических универсальных и специализированных станках разного назначения, так и в автоматических станках.



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



- По функциональному назначению автоматическое управление делится следующим образом:

1

- управление неизменными повторяющимися циклами обработки (например, управление агрегатными станками, выполняющими фрезерные, сверлильные, расточные и резьбонарезные операции путем осуществления циклов движения многошпиндельных силовых головок);

# 2

- управление изменяемыми автоматическими циклами, которые задают в виде индивидуальных для каждого цикла материальных моделей-аналогов (копиров, наборов кулачков, системы упоров и т.д.). Примером циклового управления станков являются системы управления копировальных токарных и фрезерных станков, многошпиндельные токарные автоматы и др.;

# 3

- ЧПУ, при котором программу задают в виде записанного на том или ином носителе массива информации. Управляющая информация для систем ЧПУ является дискретной, и ее обработка в процессе управления осуществляется цифровыми методами



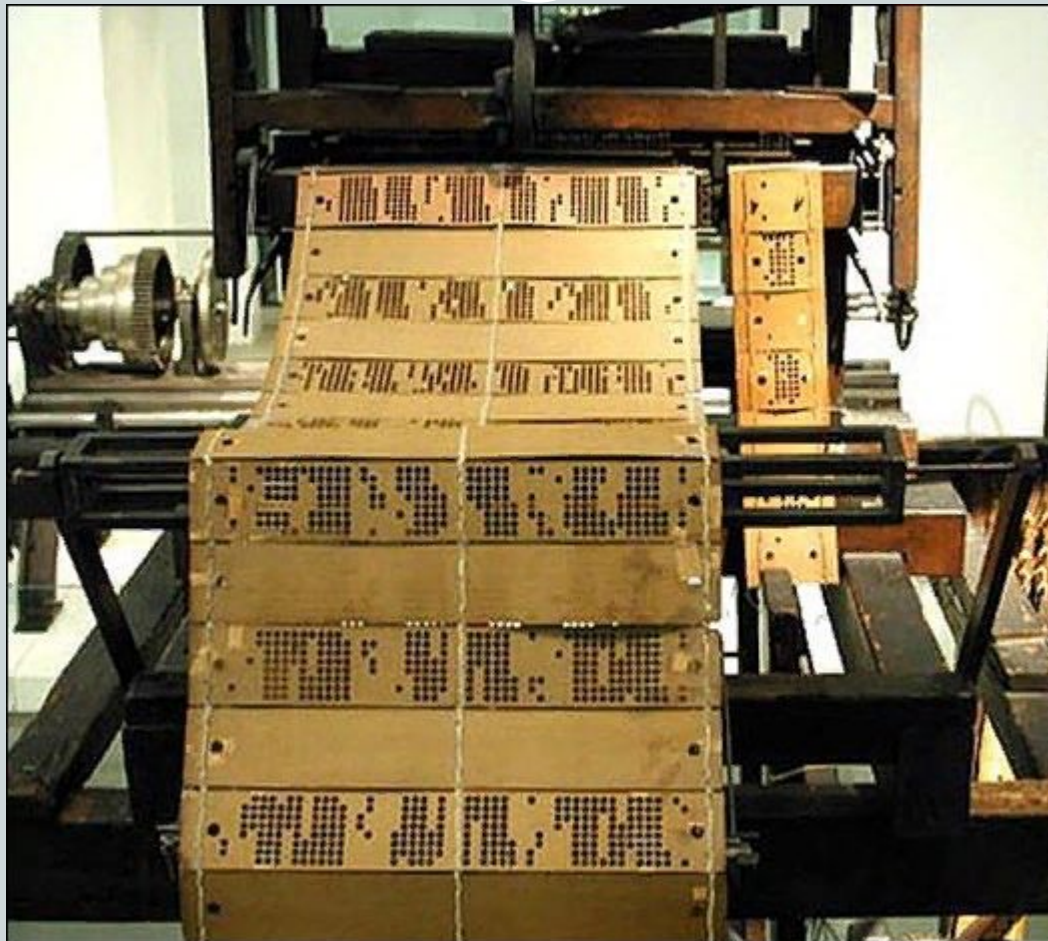


- С некоторой долей допущения появление программного управления в примитивном варианте можно датировать второй половиной восемнадцатого века.
- В этот период интенсивно начало развиваться мануфактурное производство и появились механизированные ткацкие станки.
- При этом качество и повторяемость рисунка во многом определялось мастерством человека, управляющего машиной, но в то же время не было застраховано от ошибок

# Пример рисунка, полученного на ткацком станке



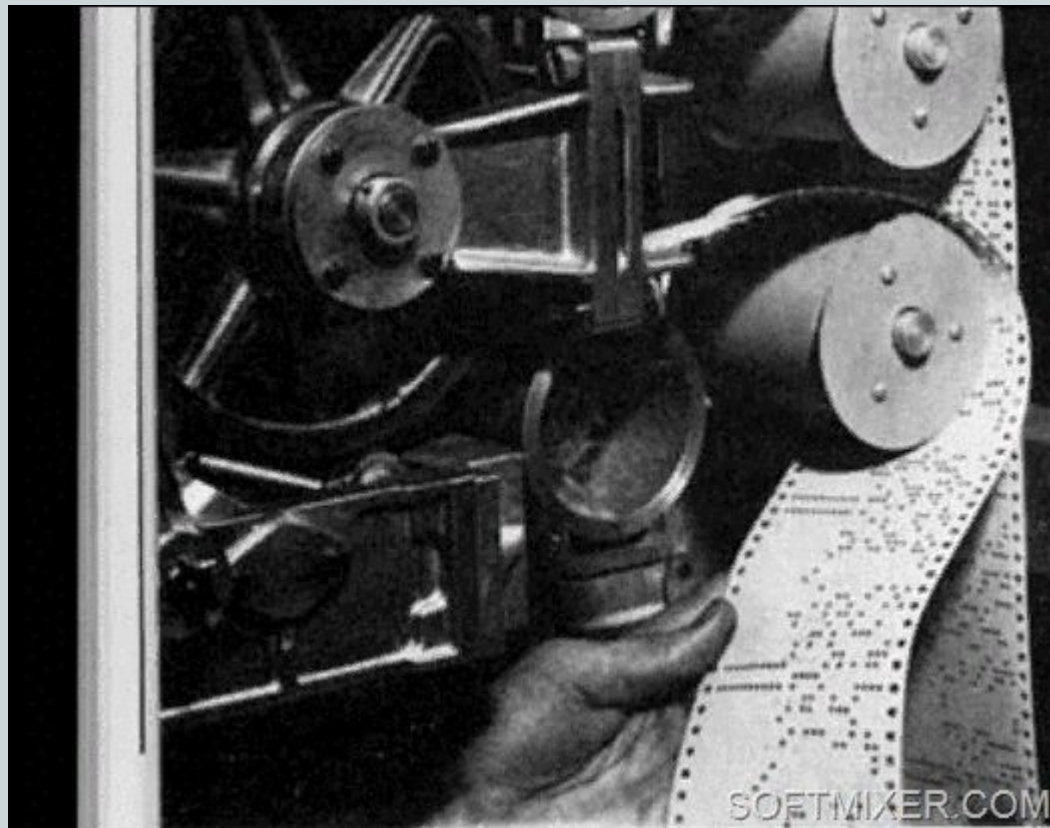
# Перфокарты ткацкого станка



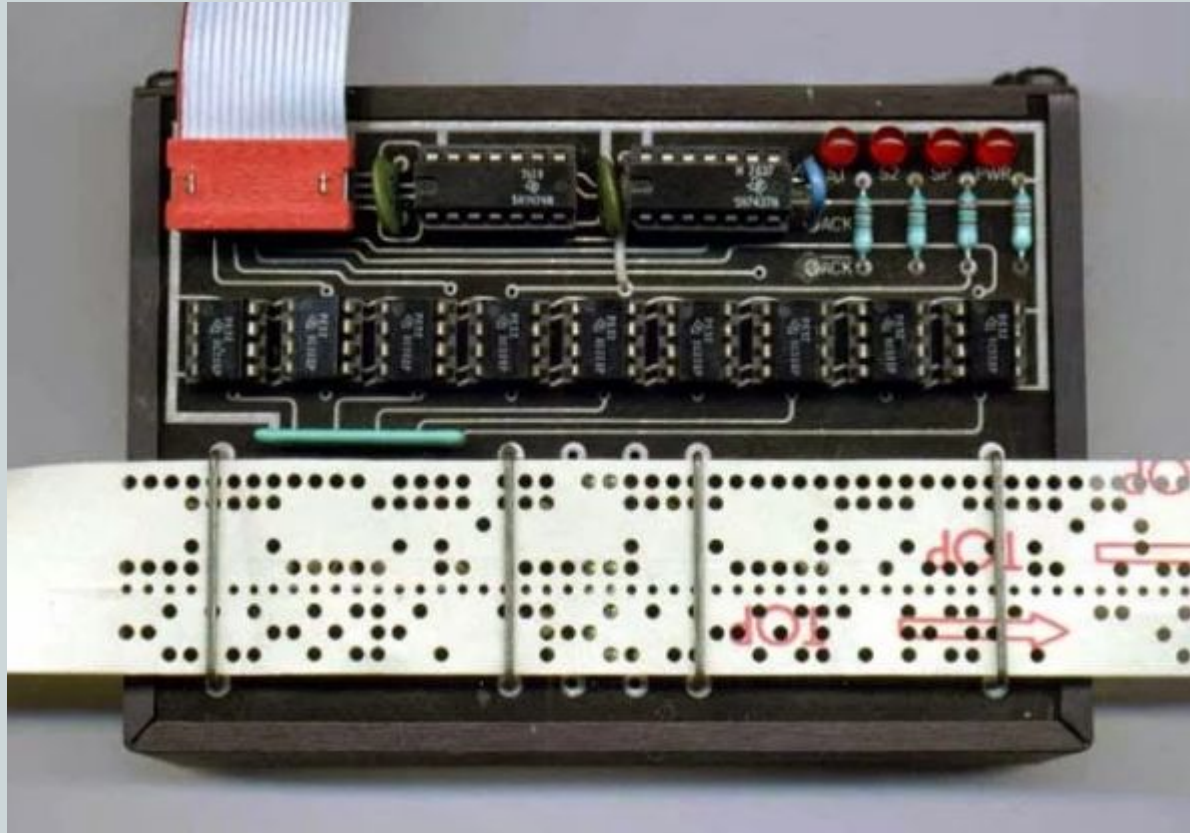
# Станок Фалькона, 1728 год



# Перфолента



# Перфолента





- Появившиеся на определённом этапе развития металлорежущие станки-автоматы и полуавтоматы с кулачковыми и копирными системами управления так же можно отнести к группе станков с программным управлением.
- Программа для обработки на таких станках фиксировалась на так называемых жёстких программоносителях, в качестве которых использовались кулачки и копирные линейки. Но использование их в единичном и мелкосерийном производстве было нерентабельным из-за больших затрат на изготовление управляющих устройств в виде кулачков и копирных линеек.

# Системы управления с распределительными валами



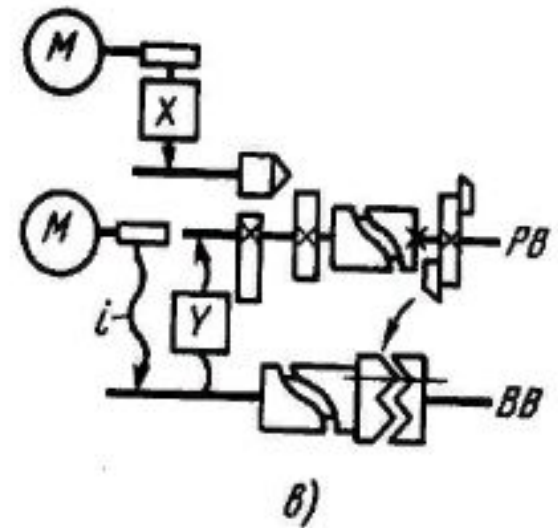
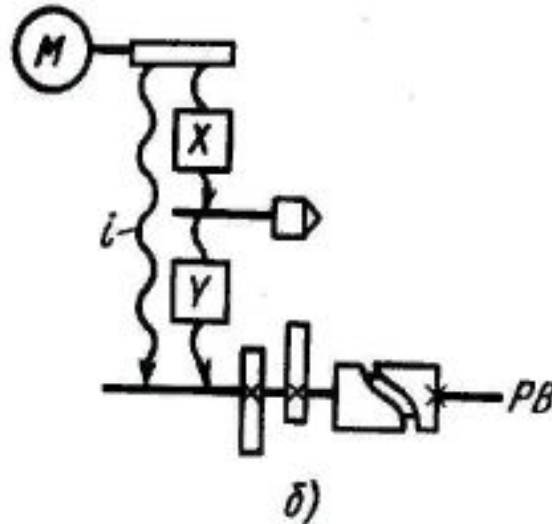
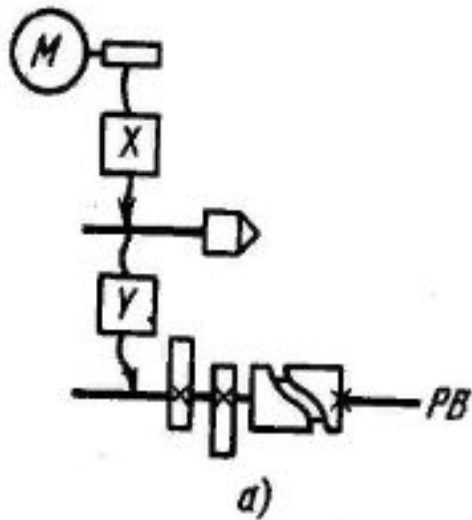
- В данных системах управления за счет применения дисковых и цилиндрических кулачков, установленных на распределительных валах, обеспечивается управление большим числом различных рабочих органов с надежной и максимальной синхронизацией их движений.
- Путем построения циклограммы для этих систем управления заранее проектируют и рассчитывают рабочий цикл обработки заготовки любой сложности за определенный промежуток времени соответствующий одному обороту распределительного вала.



# Системы управления с распределительными валами



Системы управления с распределительными валами подразделяют на три группы по принципу совершения вспомогательных ходов.



# Копировальные системы управления

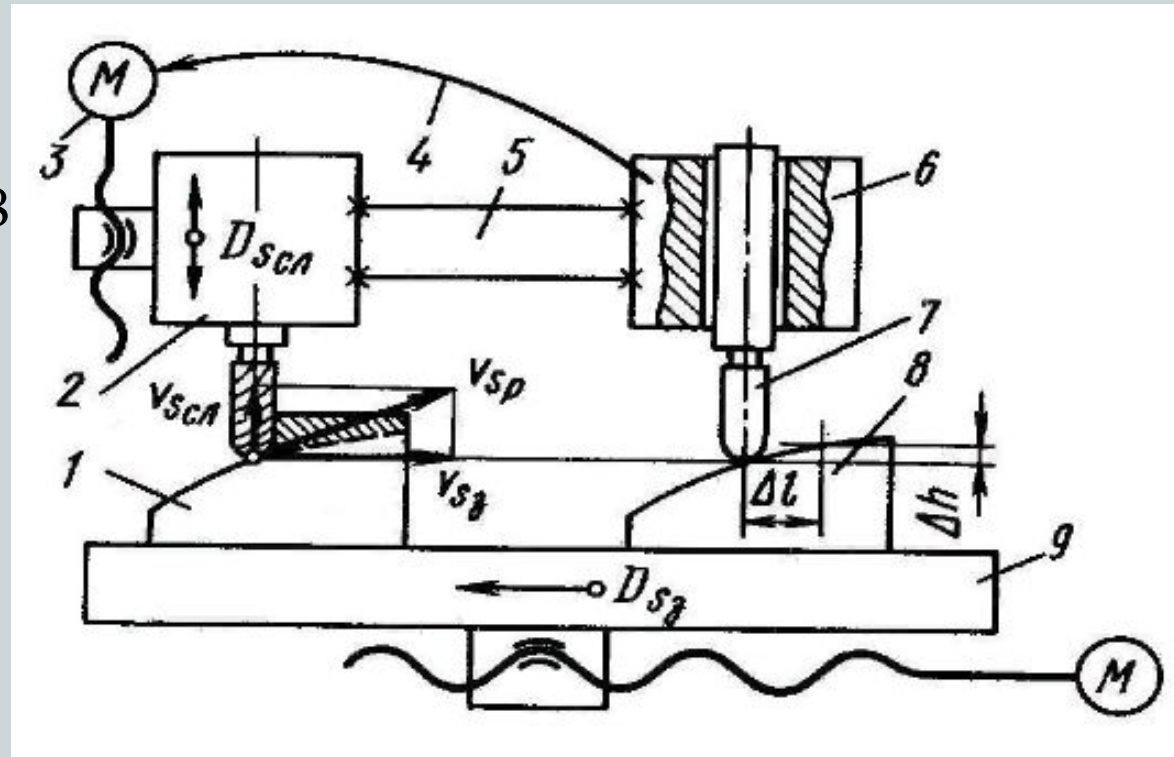


- В механических копировальных системах копир выполняет функции управления и подачи режущего инструмента, воспринимая силы резания, а в следящих копировальных системах он осуществляет только функцию управления.

# Копировальные системы управления

- Функцию рабочей подачи выполняет силовой следящий привод 3, получающий сигналы управления 4 от копировальной головки 6 и обеспечивающий шпиндельной бабке 2 следящее движение подачи  $D_{Scл}$ .

Это происходит при задающем движении  $D_{Sз}$  стола 9 с копиром 8 на расстояние  $\Delta l$  и подъеме щупа 7 относительно копировальной головки 6 на величину  $\Delta h$ .



# История ЧПУ



1808 год

- Жозеф Мари Жаккар считается изобретателем сменных носителей данных. Он использовал перфорированные жестяные челноки для автоматического управления ткацкими станками.

1949 год

- ВВС США поручали Массачусетскому технологическому институту разработать систему для фрезерных станков, которая позволила бы управлять производством при помощи вычислительной машины.

# История ЧПУ

1952 год

- В Массачусетском технологическом институте был запущен первый численно управляемый станок. Оснащенная электронными лампами панель управления получала данные при помощи бинарно кодируемой перфоленте и одновременно обеспечивала движение по трем осям (3-осевая линейная интерполяция).

1954 год

- В результате исследовательским результатам, которые получил МТИ, был построен первый в мире промышленный станок ЧПУ.

# История ЧПУ



1957 год

- В лабораториях ВВС США были установлены первые ЧПУ фрезеры.

1958 год

- Изобретен первый символьный язык программирования АРТ (Automatically Programmed Tools).

# История ЧПУ

с 1960  
года

- Устаревшие станки отправляются на реконструкцию и оснащаются численным программным управлением. Практическое внедрение этих машин на производстве очень скоро показало, что для оптимального использования необходимы специальные конструкции машин.
- Были изобретены удовлетворяющие всем требованиям станки с более стабильной конструкцией и оснащенные моторами постоянного тока, гидростатическими или направляющими качения, а также шариковым циркуляционным ходовым шпинделем.
- В последующем времени повышалась степень автоматизации производства благодаря автоматическим сменным насадкам (1965), устройствам смены палетт, а также зажимов.

# История ЧПУ



с 1968  
года

- Решающий прорыв ЧПУ технологиями был совершен благодаря развитию современной электроники. Интегрированные схемы (1968) и микропроцессоры (1976) привели к значительному снижению затрат и повышению производительности.
- Аппаратура управления заменяется в большинстве своем на программное обеспечение

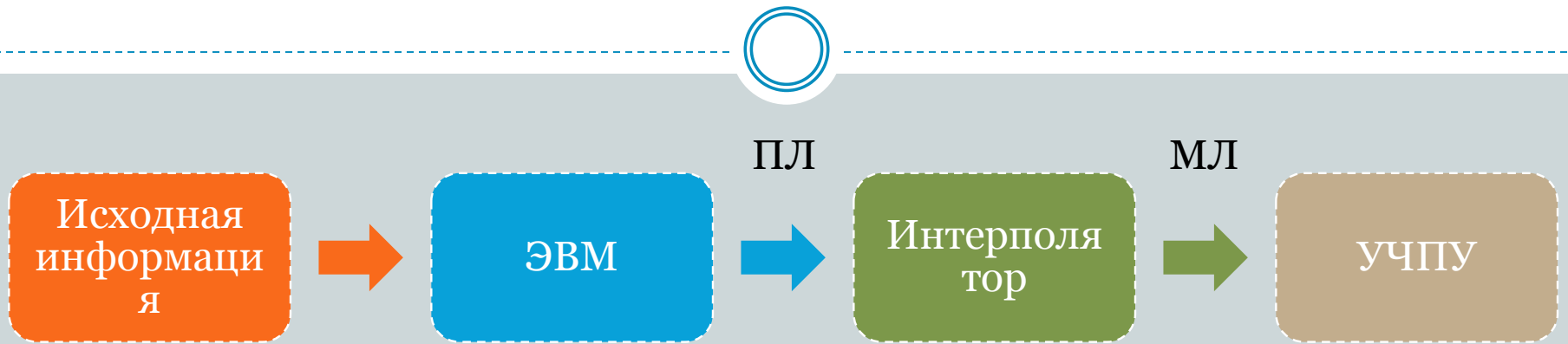


# Этапы развития станков с ЧПУ



- **1 этап** – начало промышленного выпуска станков с ЧПУ и опробование принципов ЧПУ в промышленности.
- ЭВМ использовалась только при подготовке программы для расчета координат траектории РО и других математических расчетов.
- Программа записывалась на перфоленту, потом с помощью вынесенного интерполятора преобразовывалась и переписывалась на магнитную ленту, которая использовалась для управления станком.

# Этапы развития станков с ЧПУ



В промышленных конструкциях систем программного управления этого поколения станков программа записывалась на 35 мм магнитной ленте.

На ленте располагалось 9 дорожек: по 2 дорожки на каждую координату (для положительного и отрицательного направлений перемещений) и 3 дорожки для технологических команд. При протягивании магнитной ленты в специальном магнитном считывающем устройстве, имеющем 9 считывающих головок, сигналы с них через усилительное устройство поступают на станок, на котором производится обработка.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- На этом этапе конструкция станка практически не изменилась по сравнению с универсальным. На него просто "навешивались" устройства программного управления (двигатели подач с соответствующими редукторами и соответствующие датчики обратной связи), органы ручного управления при этом не менялись. Этот этап можно рассматривать как модернизацию станка под ПУ.
- Точность и производительность станков не повысилась. Основная причина низкой точности - большие зазоры в передачах и нежесткость конструкций. Управление станком осуществлялось от несложного универсального пульта ЧПУ.
- Этот этап не дал результата ни по повышению точности, ни по повышению производительности. Поэтому от такой модернизации станков отказались

# Этапы развития станков с ЧПУ



## Достоинства 1-го этапа

- Дешевизна
- Простота

# Этапы развития станков с ЧПУ



## Недостатки 1-го этапа

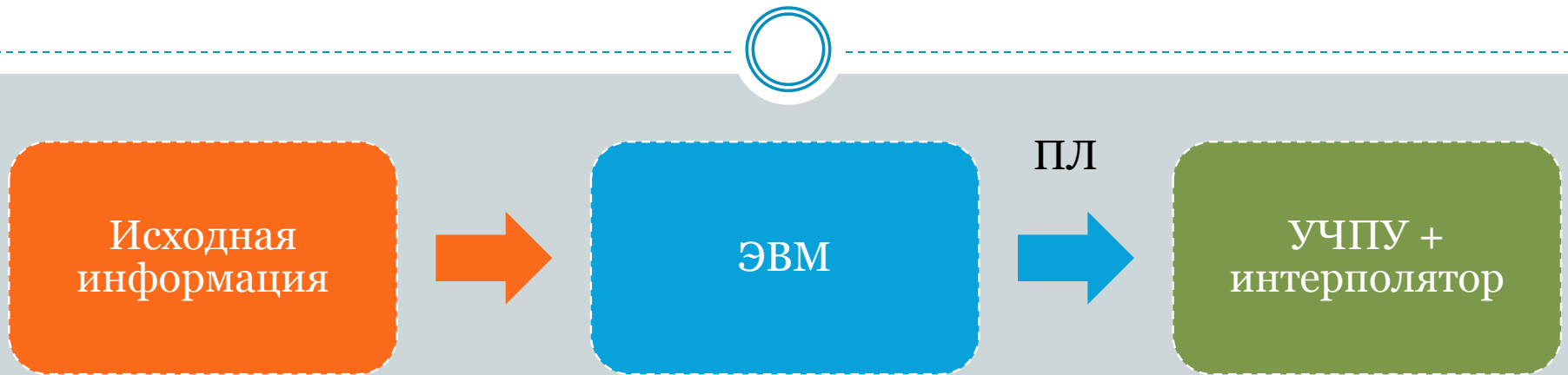
- низкая точность
- ограниченные технологические возможности из-за работы одним инструментом
- невысокая производительность из-за малой скорости холостых ходов, невысоких допустимых рабочих усилий, значительного подготовительно-заключительного времени
- невозможность записи большого числа команд, что резко ограничивало возможности оборудования
- большой расход программносителя; трудоемкость редактирования и исправления программ

# Этапы развития станков с ЧПУ



- **2 этап** – широкое внедрение в промышленность станков с автономными устройствами ЧПУ постоянной структуры.
- Конструкция станка специально разработана для ЧПУ. Обладают более высокой жесткостью элементов станка и, следовательно, более высокой точностью.
- Скорости холостых перемещений повышены до 5-10 м/мин..

# Этапы развития станков с ЧПУ



Интерполятор встроен в УЧПУ, станок управляется перфолентой, но ЭВМ используется только для подготовки УП, как и у станков 1 поколения.

Все это создает возможность высокопроизводительной и высокоточной обработки.

Часто предусмотрен самоотвод стружки в автономное транспортное устройство.

**Недостаток** - ручная установка и снятие детали. Освоение систем автоматизированного программирования на ЭВМ

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Станки с ЧПУ второго поколения работают в автоматическом режиме (следящий привод, автоматическая смена инструмента, смена скорости главного движения и т.д.).
- Станки для позиционной обработки (координатно-расточные) оснащены поворотными столами, управляемыми по программе, и устройства АСИ и смены числа оборотов шпинделя под инструмент.
- Развитие таких станков привело к появлению многооперационных станков.



# Этапы развития станков с ЧПУ



- Обработка криволинейной поверхности требует выполнения большого количества вычислительных операций и значительного увеличения управляющей программы, так как криволинейный профиль представлялся в виде ломаной линии с малым шагом.
- При записи программы каждый шаг записывался отдельным кадром, а величина шага определялась тем минимальным перемещением, которое могла отработать механика станка.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Совершенствование технологии производства интегральных микросхем и использование их при разработке систем ЧПУ привело к появлению следующего поколения программного управления более высокого уровня.
- Интерполятор, который раньше являлся дополнительным устройством для преобразования кодовой информации на перфоленте в соответствующие сигналы для перезаписи на магнитную ленту, встраивается непосредственно в ЧПУ.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Используются датчики обратной связи. Такие системы выдавали управляющее воздействие на исполнительные органы в соответствии с алгоритмом обработки и информацией о состоянии управляемого объекта. В программе записывалась информация не только о направлении и скорости перемещения, но и задавались величины перемещений в их реальных значениях.
- На встроенные в систему элементы вычислительной техники поступали данные от датчиков обратной связи о положении рабочего органа станка, параметров, записанных в программе и состоянии других элементов системы. Эти данные подвергались математической обработке и после анализа преобразовывались в сигналы управления станком.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Совершенствование математического аппарата вычислительных машин, встраиваемых в системы программного управления, позволило упростить подготовку управляющих программ.
- Длина кадра программы стала переменной, появились стандартные циклы обработки, расширился список вспомогательных команд.
- Выполнение отдельных переходов и некоторых операций программировалось одной командой, например, цикл глубокого сверления, обработка галтели и т.д.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Для работы на таких станках уже не требовалась высокая квалификация рабочих, потому что качество обработки обеспечивалось программой и техническими характеристиками станка.
- Однако трудоёмкость подготовки управляющей программы оставалась довольно высокой. Разработка программы выполнялась высококвалифицированными программистами, после чего она переносилась на программноноситель на специальном оборудовании.
- При обнаружении ошибок в программе в процессе её отладки необходимо было изготавливать новый программноноситель и снова проверять программу.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- **3 этап** – создание устройств ЧПУ на микроЭВМ и многоцелевых станков.
- Развитие микроэлектроники привело к появлению систем управления следующего поколения.
- Станок с числовым программным управлением выполняется в виде двух самостоятельных агрегатов: непосредственно металлорежущего станка и собственно системы программного управления.
- Система управления представляет собой стойку с электронными устройствами и панелью управления и монтируется рядом со станком.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- **Функции интерполятора переданы ЭВМ. Управляющая программа записывается непосредственно с пульта управления в память ЭВМ.**
- **Такие системы еще называют системами оперативного программного управления (ОПУ).**
- **Сначала использовалась одна ЭВМ на группу станков. Появление микро-ЭВМ позволило встроить ЭВМ в УЧПУ станка. УЧПУ этих станков позволяют управлять большим количеством координат одновременно.**
- **Разработка новых конструктивных компоновок станков.**

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Использование микропроцессорной техники позволило использовать программный метод реализации функций управления станком вместо аппаратного.
- Повысилась универсальность управляющего устройства, гибкость и эффективность программирования, расширились технологические возможности. Для этих станков характерен модульный принцип компоновки, короткие передачи в системе привода РО.



# Этапы развития станков с ЧПУ



- Точность выполнения заданного размера уже не зависит от точности настройки станка, так как в этой системе отсутствуют концевые выключатели, ограничивающие величину перемещений, а определяется кинематической точностью передаточного механизма от шагово-импульсного двигателя до рабочего органа станка.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Следующее поколение систем программного управления позволило отказаться от использования внешних программносителей, таких как перфолента и магнитная лента.
- Программа обработки записывалась в долговременную память системы непосредственно с клавиатуры пульта оператора. Это предоставило широкие возможности для редактирования программ непосредственно у станка.
- Отлаженная программа переносилась на внешний программноситель для хранения в библиотеке программ.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Совершенствовалась система индикации и диагностики. На пульте оператора можно прочесть параметры выполняемого перехода: обрабатываемый размер, величина подачи и т.д.
- В случае возникновения сбоев в системе управления на пульте оператора отображается вид неисправности и код того элемента, где она возникла.
- Многие модели пультов оператора снабжались дисплеем, на который выводилась вся информация, вплоть до конфигурации детали, траектории движения инструмента и выполняемой в данный момент технологической команды.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Вносились изменения в конструкцию станков. В приводах главного движения подач устанавливаются регулируемые двигатели постоянного или переменного тока, что позволило отказаться от громоздких и тяжёлых коробок скоростей и использования гидравлики в качестве усилителей крутящего момента.
- При этом появилась возможность плавного регулирования скоростей и подач, что расширило технологические возможности оборудования.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Совокупность прогрессивных технических решений в области механики и электроники привело к созданию уникальных металлообрабатывающих станков с очень широкими технологическими возможностями, которые получили название обрабатывающие центры.
- На таких станках обрабатываются сложные корпусные детали с высокой точностью почти полностью с одной установки.
- Для выполнения большого количества видов работ такие станки оснащаются инструментальным магазином и устройством для автоматической его замены.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- **4 этап** – объединение станков с ЧПУ в общую систему автоматизированного управления технологическим процессом (создание ГПС).
- Для этих станков характерен модульный принцип компоновки, появились многооперационные станки с автоматической сменой многошпиндельных головок и насадок, столов, зажимных патронов и планшайб.
- Повышение степени автоматизации привело к появлению многошпиндельных и многокоординатных станков с ЧПУ, причем каждый шпиндель может работать автономно по собственной программе одновременно с другими.

# Этапы развития станков с ЧПУ



- Следующее поколение систем программного управления оснащалось настолько мощным математическим аппаратом, что позволило решать ряд технологических задач непосредственно оператору станка.
- Работа по вводу управляющей программы ведётся в диалоговом режиме. Оператор с пульта управления выводит на дисплей чертёж обрабатываемой детали с указанием заданных размеров с допусками и материал заготовки. На дисплее появляются вопросы, на которые должен отвечать оператор, вводя соответствующую информацию. Например, какой режущий инструмент, какова твёрдость обрабатываемого материала, какой элемент заготовки подвергается обработке на данном переходе и т.д.
- На основе полученной информации система предлагает рациональную траекторию перемещения инструмента и режимы обработки.



- Станочные модули и станочные комплексы, созданные на базе ЧПУ, предназначенные для автоматизированной обработки деталей:
- **ГПМ (FMM) – гибкий производственный модуль** – единица технологического оборудования с системой автоматической загрузки/выгрузки деталей, локальным накопителем, транспортером деталей и инструмента.





- **ГАЛ –гибкая автоматическая линия** – система, включающая в себя несколько ГПМ, с общим управлением от ЭВМ, транспортной системой и складом заготовок.
- ЭВМ выполняет функции хранения и передачи к устройству ЧПУ станков управляющих программ, а также осуществляет текущее управление и оперативное планирование



- **ГПС (FMS) – гибкая производственная система** – комплекс технологического оборудования и системы управления от ЭВМ, обладающий свойством автоматизированной переналадки.
- **ГАЦ (FMF) – гибкий автоматизированный цех** – система, включающая в себя несколько ГАЛ и ГПМ с общими транспортной системой, складом, многоуровневой (иерархической) системой управления от ЭВМ.



- **АЗ – автоматический завод** – система, состоящая из ГАЦ, в том числе цеха автоматической сборки и упаковки готовой продукции.
- Центральная ЭВМ осуществляет управление всеми подразделениями завода и долгосрочное планирование.

# Области применения автоматизированного оборудования с ЧПУ



Вид оборудования	Число деталей в партии	Число партий деталей в год
Станок с ЧПУ	менее 100	более 500
ГПМ	от 25 до 500	от 40 до 800
ГАЛ	от 200 до 2000	от 4 до 100
ГАЦ	от 1000 до 15000	от до 10
АЗ	более 2000	менее 2

# Преимущества станков с ЧПУ



Повышение точности и однородности размеров и формы получаемых деталей, полностью определяемых правильностью программирования, точностью автоматических перемещений узлов станка и наличием адаптивного контроля.

Повышение производительности обработки, связанное с уменьшением доли вспомогательного времени  $t_{всп}$  с 70...80% (универсальные станки с ручным управлением) до 40...50% , а при использовании многооперационных станков – и до 20...30%; а также с интенсификацией режимов резания. В среднем, при переводе обработки на станки с ЧПУ производительность возрастает: для токарных станков – в 2...3 раза, для фрезерных – в 3...4 раза, для обрабатывающих центров (ОЦ) – в 5...6 раз.

# Преимущества станков с ЧПУ



Снижение себестоимости обработки, связанное с повышением производительности, понижением требований к квалификации станочника, а также в снижении затрат на приспособления и переналадку, потребность в которых (особенно для ОЦ) значительно уменьшается.

Возможность обрабатывать детали сложной формы; многофункциональность станков с ЧПУ (особенно ОЦ) позволяет производить несколько операций с одного установка, что повышает точность и устраняет потери времени на загрузку и транспортировку.

Исключение брака. В ряде производств требования безопасности предполагают полное исключение брака, поэтому выполняется полный контроль всей продукции. Оборудование же с ЧПУ благодаря обратной связи может выполнять такой контроль автоматически, в процессе обработки.

# Возможности современных станков с ЧПУ



- дискретность позиционирования 0,5...1мкм, а в некоторых случаях и до 0,25 мкм
- адаптивное управление по силе и мощности резания, изменяющее  $n$  и  $S$  за несколько миллисекунд, что важно при значительных колебаниях припуска и механических свойств материала заготовки

# Возможности современных станков с ЧПУ



- бесступенчатое регулирование  $n$  с сохранением  $V = \text{const}$  при технологических переходах
- автоматические ограничители по предельной мощности резания, силе, крутящему моменту для предотвращения поломки инструмента и появления брака
- компенсацию систематических погрешностей обработки, связанных с тепловыми деформациями технологической системы



# Возможности современных станков с ЧПУ



- компенсацию погрешности закрепления заготовки путём коррекции её положения
- компенсацию погрешностей перемещений инструмента

# Возможности современных станков с ЧПУ



- возможность углового позиционирования шпинделя для ориентированной установки в патрон несимметричной заготовки, для осуществления внеосевой (поперечной) обработки сверлением или фрезерованием
- автоматическое измерение размеров заготовки при помощи датчиков контактного типа

# Возможности современных станков с ЧПУ



- автоматические устройства для контроля состояния режущего инструмента, программная смена режущего инструмента
- устройства для смены отдельных инструментов, многошпиндельных головок и даже инструментальных магазинов

# Возможности современных станков с ЧПУ



- использование в УЧПУ стандартных циклов обработки геометрических элементов заготовок, подпрограмм обработки типовых деталей
- применение различных загрузочных устройств для автоматической установки и снятия заготовок, что позволяет включать станки с ЧПУ в ГАУ, управляемые от общей ЭВМ