

# Управление машиностроительными процессами

**Производственный процесс** — это совокупность действий работников и орудий труда, в результате которых сырьё, материалы, полуфабрикаты и комплектующие изделия, поступающие на предприятие, превращаются в готовую продукцию или услугу в заданном количестве и заданного свойства, качестве и ассортименте в определённые сроки.



# Основные этапы производственного процесса:

- технологическая подготовка (специалисты-технологи)
- подготовка и обслуживание средств производства (механики, энергетики, служба КИПиА)
- получение, перемещение и хранение материалов, заготовок, полуфабрикатов (отдел снабжения, транспортные службы)
- различные виды обработки (механическая, термическая, окраска, упаковка...)
- сборка изделия и контроль качества

# Технологический процесс

Заготовительная  
фаза (получение  
заготовок)



- Метод литья
- Метод формования
- Метод штампования
- Метод прессования
- Раскрой листового материала

Обрабатывающая  
фаза (превращение  
заготовок в готовые  
детали)



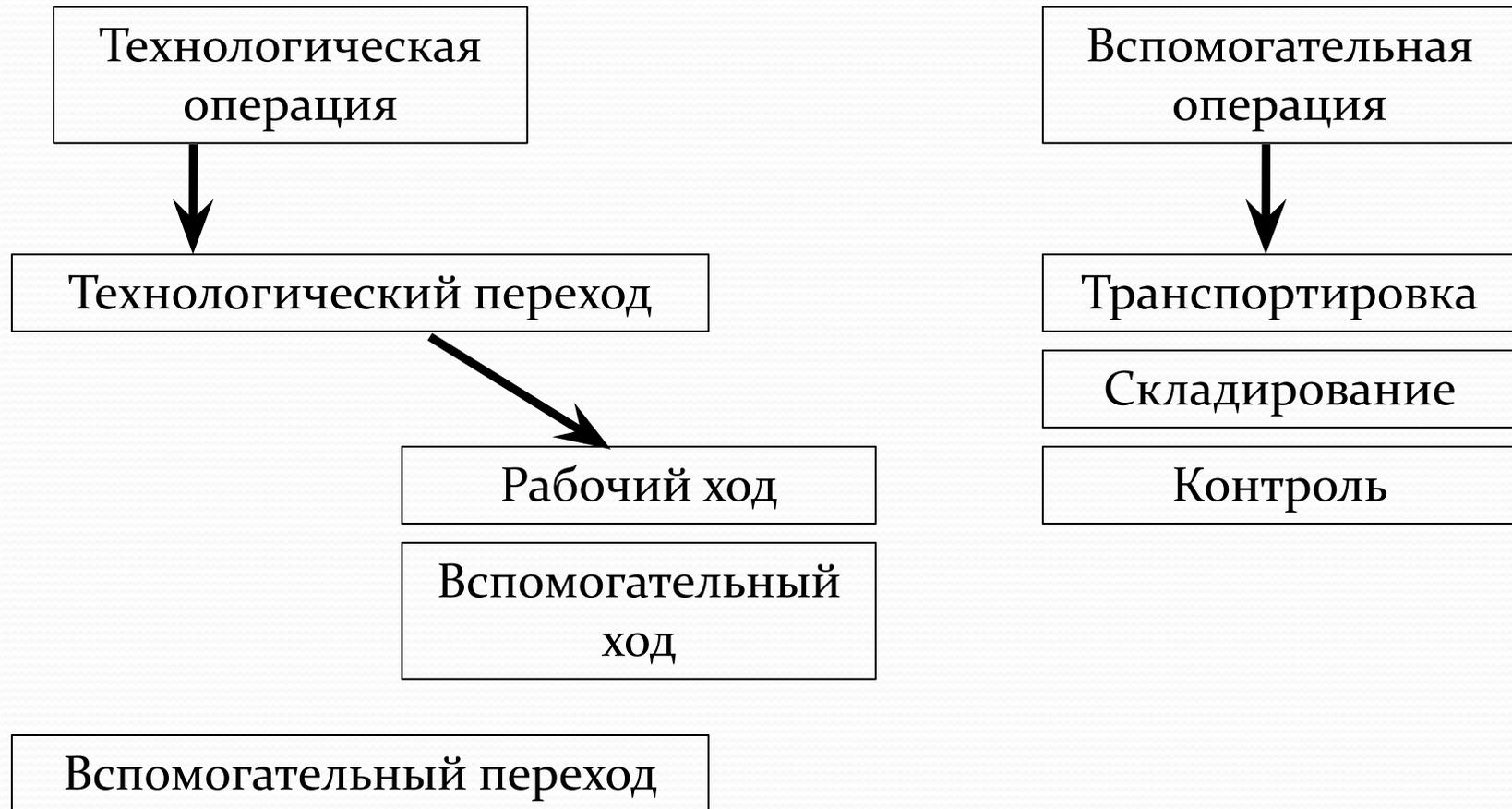
- **Обработка резаньем**
- Электрохимическая обработка
- Электрофизическая обработка
- Гальваническое покрытие
- Окраска
- Термообработка
- Сварка

Сборочная  
фаза

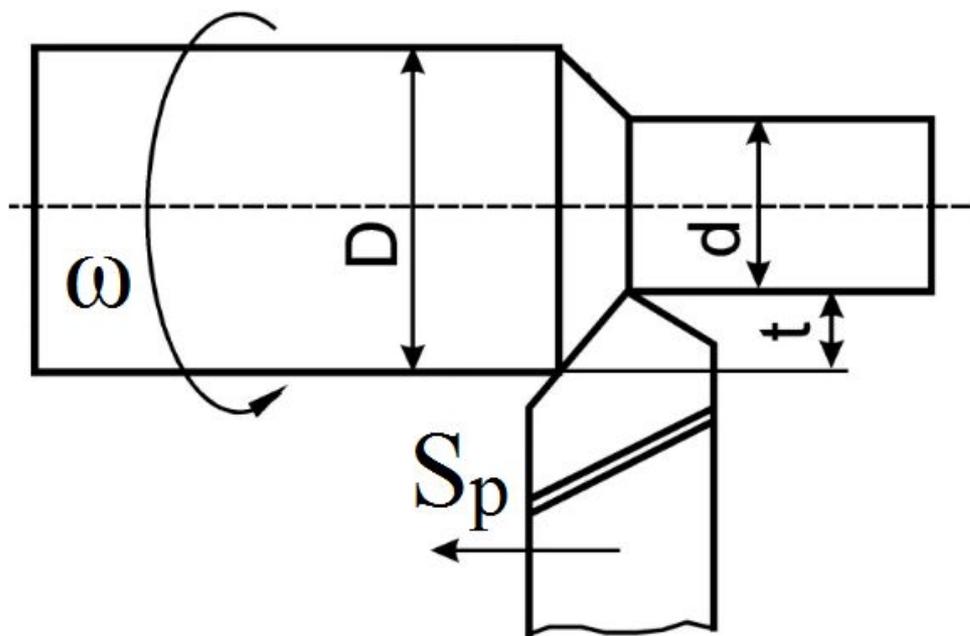


- Процесс сборки изделия из готовых деталей
- Регулировочно-наладочные
- Испытательные

# Структура технологического процесса механической обработки



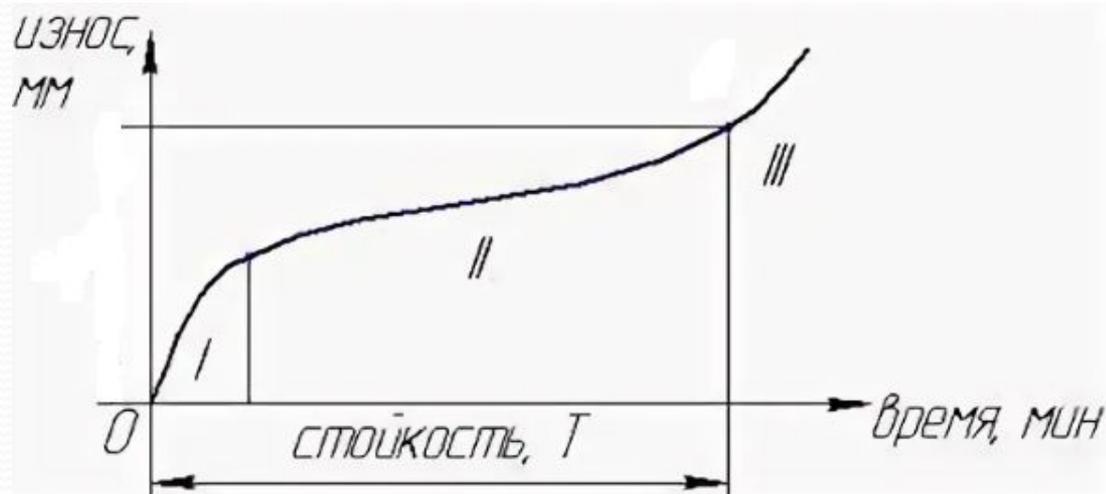
# Режимы обработки резаньем



- $D$  – необработанная поверхность (мм)
- $d$  – обработанная поверхность (мм)
- $\omega$  – угловая скорость главного движения (рад/с)
- $S_p$  – продольная подача (мм/оборот)

# Режимы обработки резаньем

- Скорость резанья  $V = \omega \cdot \frac{D}{2} \cdot 60 \cdot 10^{-3} = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000}$  м/мин
- Глубина резанья – толщина снимаемого слоя металла  $t = (D - d)/2$ , мм
- Стойкость инструмента  $T$ , мин. – время работы инструмента от переточки до переточки.  $T = f(V, t, Sp, Me \text{ инстр.}, Me \text{ обраб.})$

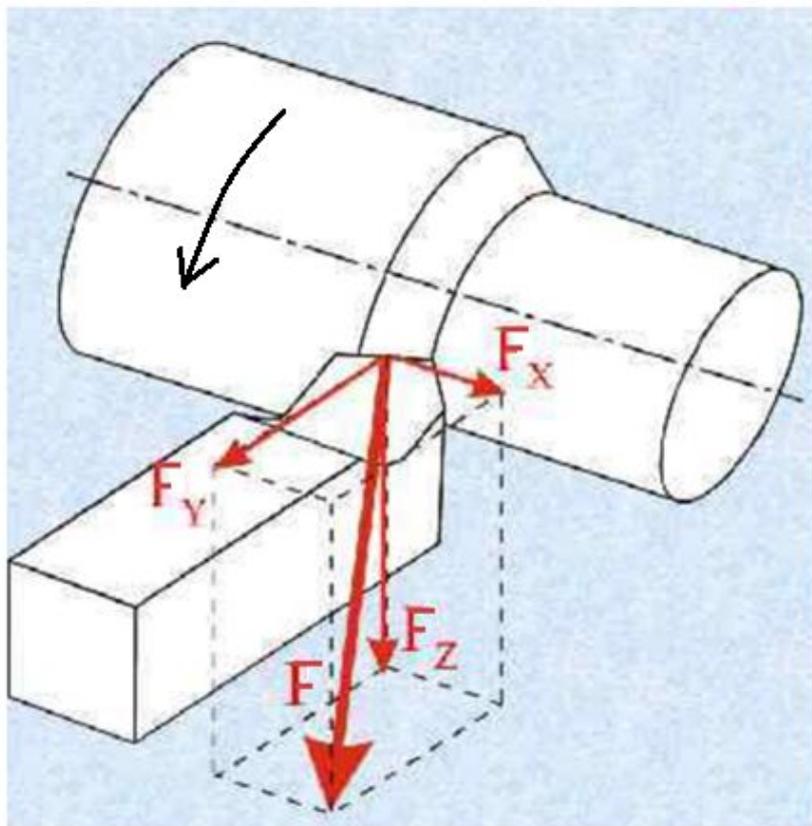


I - приработка инструмента II - процесс нормальной работы

III - интенсивный износ

$$T = I + II$$

# Режимы обработки резаньем



На инструмент действует сила  $F$ ,  
её составляющие по осям:  
 $F_z$  – главная (тангенциальная составляющая)  
 $F_y$  – радиальная составляющая  
 $F_x$  – осевая составляющая

$F_z = f(V, t, S_p, H_{rc}, \delta)$  – главная  
(тангенциальная составляющая)

$F_y \sim 30\%F_z$

$F_x \sim 40\%F_z$

Мощность резанья:

$$P = \frac{F \cdot V}{60} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}$$

Момент резанья

$$M = \frac{P}{\omega} \cdot 1000, \text{ Нм}$$

# Тип производства

Определяется по нескольким признакам:

- Широта номенклатуры выпускаемых изделий
- Объём выпуска продукции
- Регулярность и стабильность

Количественная оценка: коэффициент закрепления операций

$$K_{zo} = Q/P$$

Q – количество операций необходимое для изготовления изделия

P – число рабочих мест на которых реализуются операции

# Классификация типов производств

## Единичное



- Широкая номенклатура
- Объём выпуска мал
- Применяется универсальное оборудование, станки с ЧПУ (станкостроение, судостроение, крупные гидротурбины, опытные образцы)
- Кзо - большой

## Серийное



- Мелкосерийное  
Кзо = 20..40  
Универсальные станки
- Среднесерийное  
Кзо = 10..20  
Специальное оборудование
- Крупносерийное  
Кзо = 1..10  
Станки автоматы, АЛ

## Массовое



- Узкая номенклатура  
Кзо = 1  
Станки автоматы, АЛ, спец.станки (выпуск автомобилей, пищевая, текстильная, химическая промышленность)

# Классификация технологического оборудования механической обработки

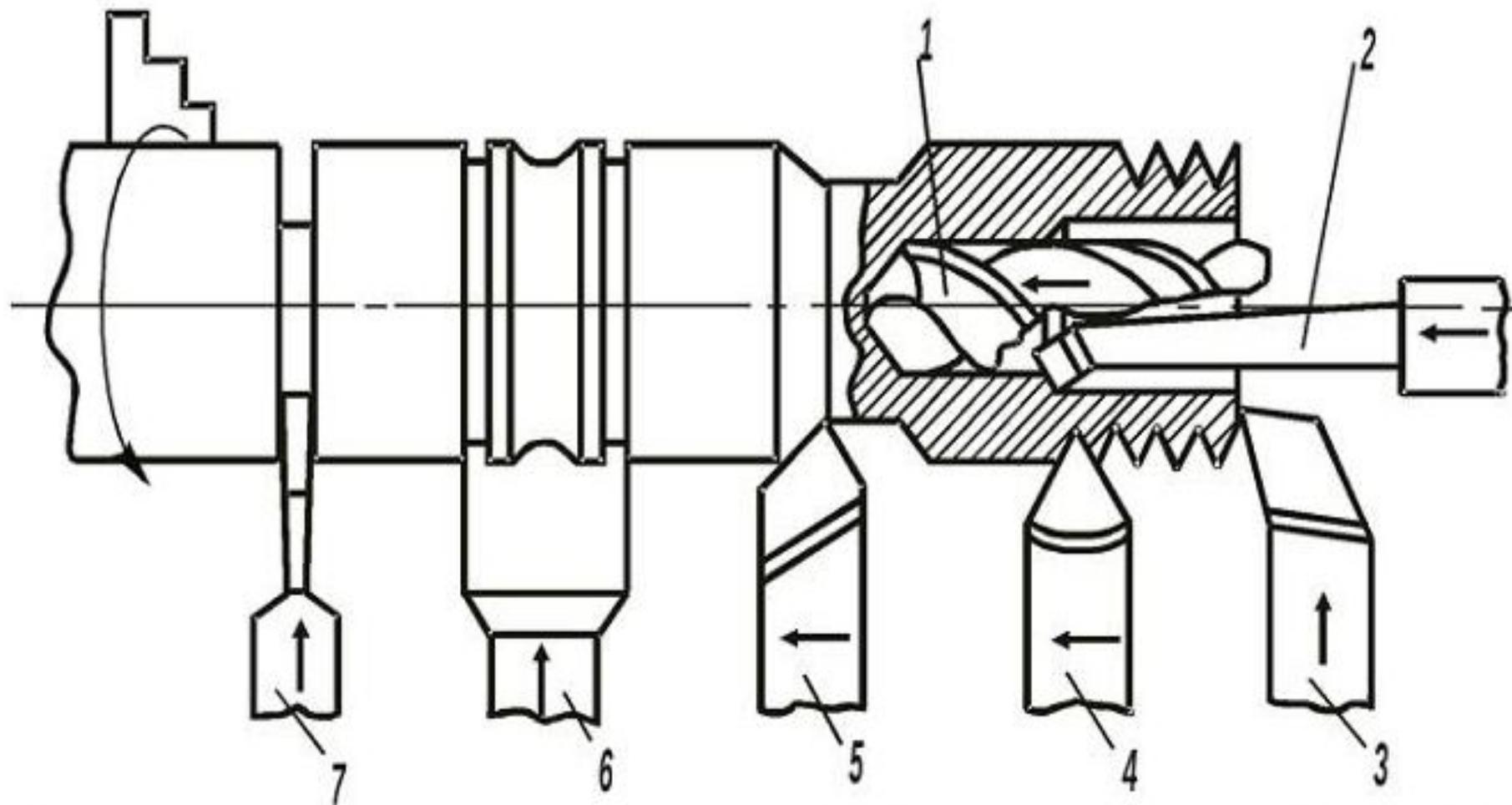


# Токарные станки

Предназначение: обработка деталей типа тел вращения.

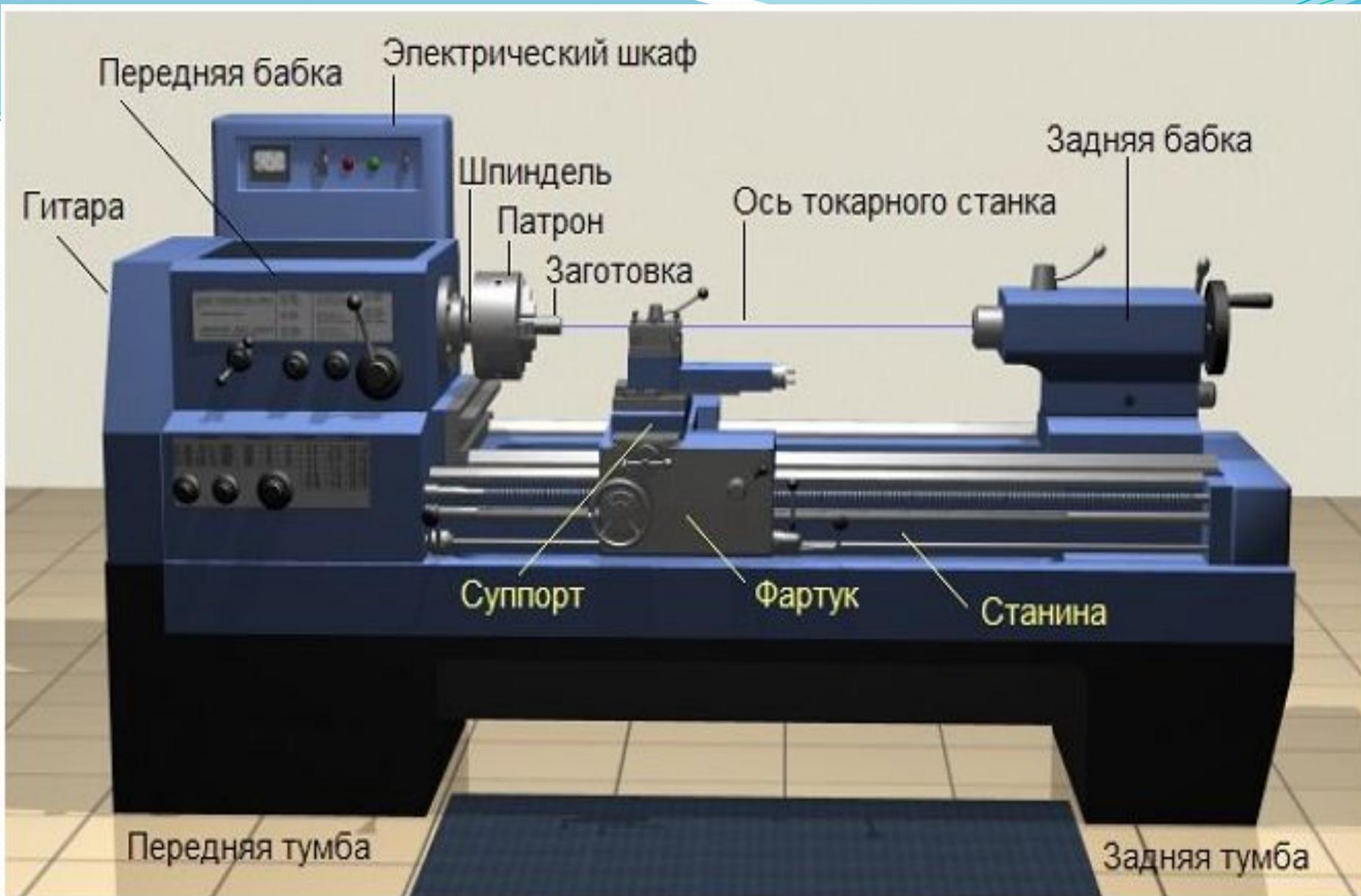
Классификация:

- автоматические и полуавтоматические токарные агрегаты с одним шпинделем
- многошпиндельные станки: автомат и полуавтомат
- револьверные станки
- станки отрезной группы
- карусельные станки
- лобовые и винторезные станки
- многорезцовые и полировальные агрегаты
- специализированные станки



- 1 - Сверление, зенкерование и развертывание отверстий, 2 - Растачивание внутренних поверхностей,  
 3 - Подрезание торца, 4 - Нарезание резьбы, 5 - Обтачивание – обработка наружных поверхностей,  
 6 - Обработка фасонных поверхностей, 7 - Отрезка

Основные виды токарных работ



Основные узлы токарного станка

# Токарно-револьверный станок



# Токарно-карусельный станок

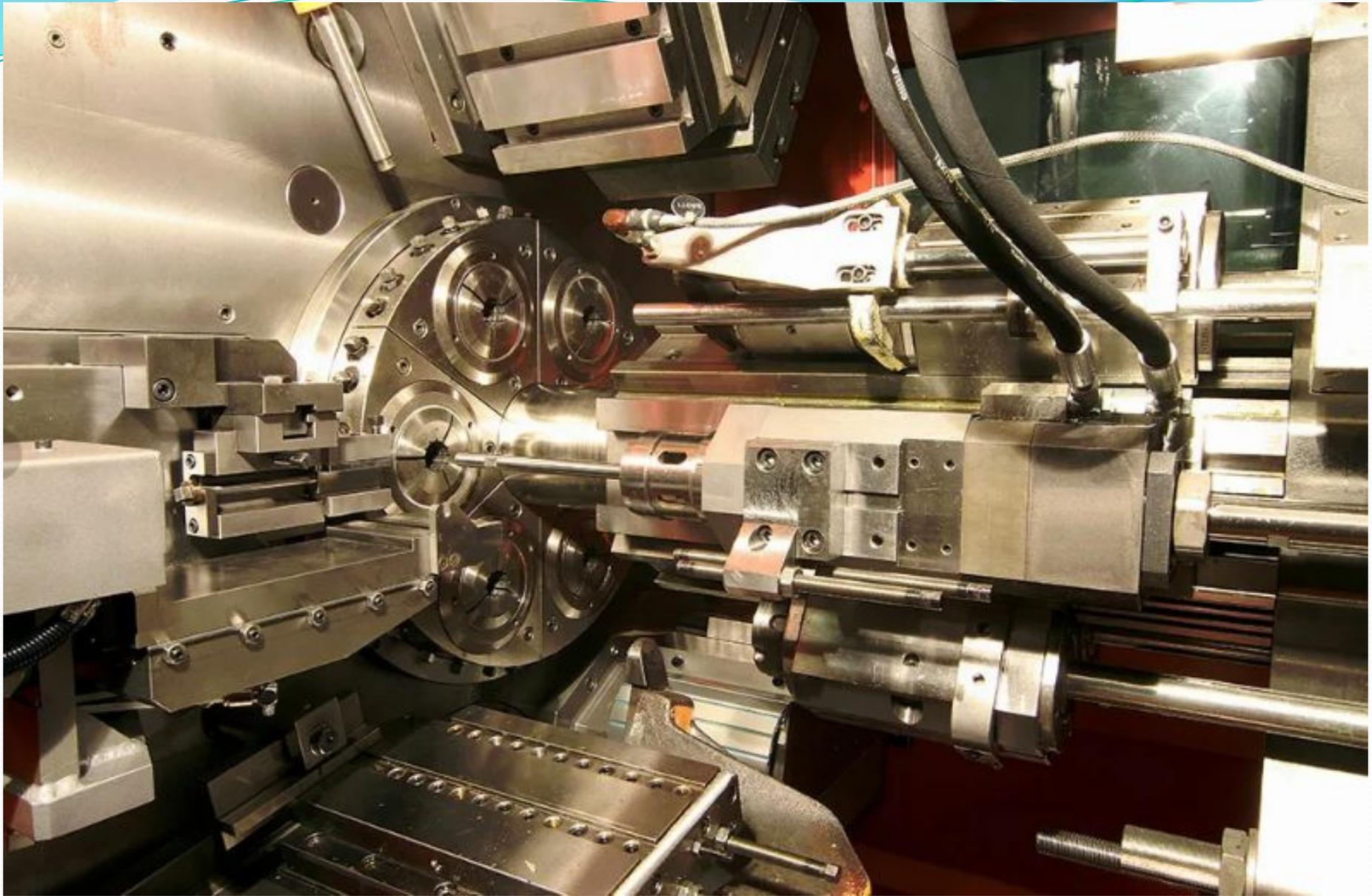


[https://images.ru.prom.st/720742244\\_w640\\_h640\\_tokarno-karuselnyj-standok-ck51121620.jpg](https://images.ru.prom.st/720742244_w640_h640_tokarno-karuselnyj-standok-ck51121620.jpg)

# Токарно-лобовой станок



# Многошпиндельный токарный станок



## СИСТЕМЫ ОБОЗНАЧЕНИЯ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ



## марки станков

1) 1532Т

ОТВЕТ: 1-группа токарные  
5 - тип карусельные  
320 мм- основной параметр станка  
Т- модифицированный

2) 16К20Т

ОТВЕТ: 1-группа токарные  
6 - тип токарные и лобовые  
200 мм- основной параметр станка  
Т- модифицированный

3) 1112

ОТВЕТ: 1-группа токарные  
1- тип автоматы и полуавтоматы  
120 мм- основной параметр станка

Расшифровка маркировки токарных станков

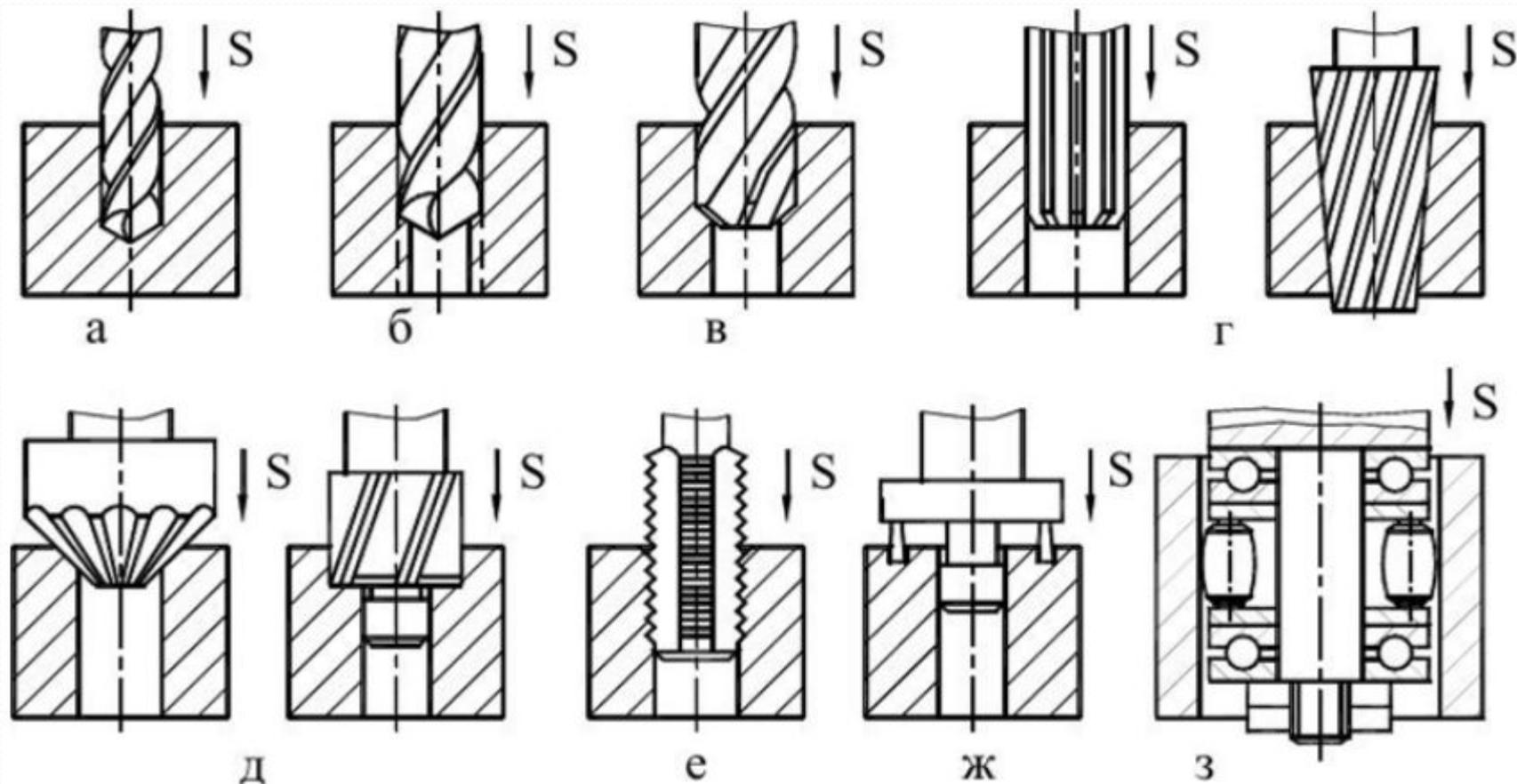
# Станки сверлильно-расточной группы

Предназначение: обработка отверстий.

Классификация:

- Вертикально-сверлильные;
- Горизонтально-сверлильные;
- Одношпиндельные полуавтоматические;
- Многошпиндельные полуавтоматические;
- Одностоечные координатно-расточные;
- Радиально-сверлильные;
- Алмазно-расточные;

# Обработка отверстий

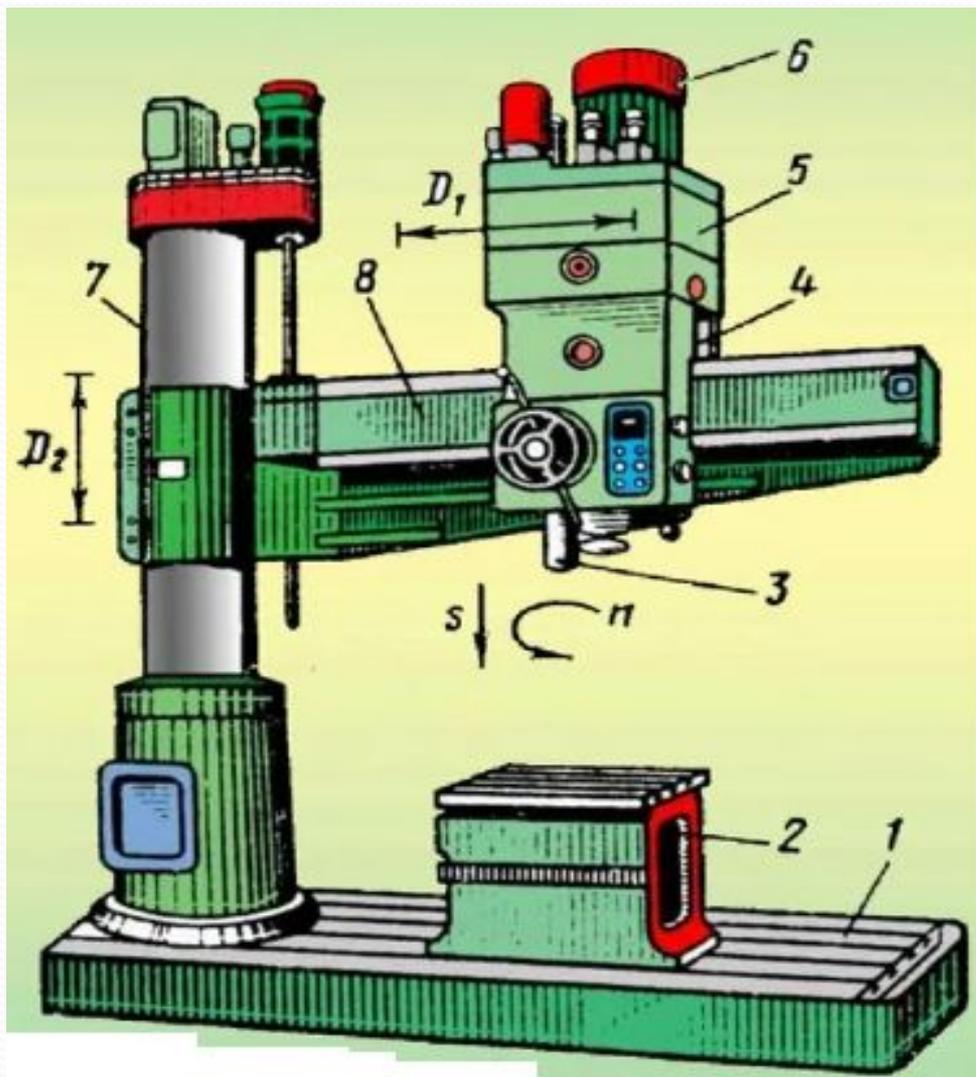


а - сверление; б - рассверливание; в - зенкерование;

г - развертывание; д - зенкование; е - нарезание резьбы;

ж-получение торцовых канавок и вырезание дисков; з-раскатывание

# Радиально-сверлильный станок



- 1- Плита
- 2 – Стол
- 3- Шпиндель
- 4-Шпиндельная бабка
- 5-Коробка скоростей
- 6-Электродвигатель
- 7-Колонна
- 8-Траверса

# Многошпиндельный сверлильный станок



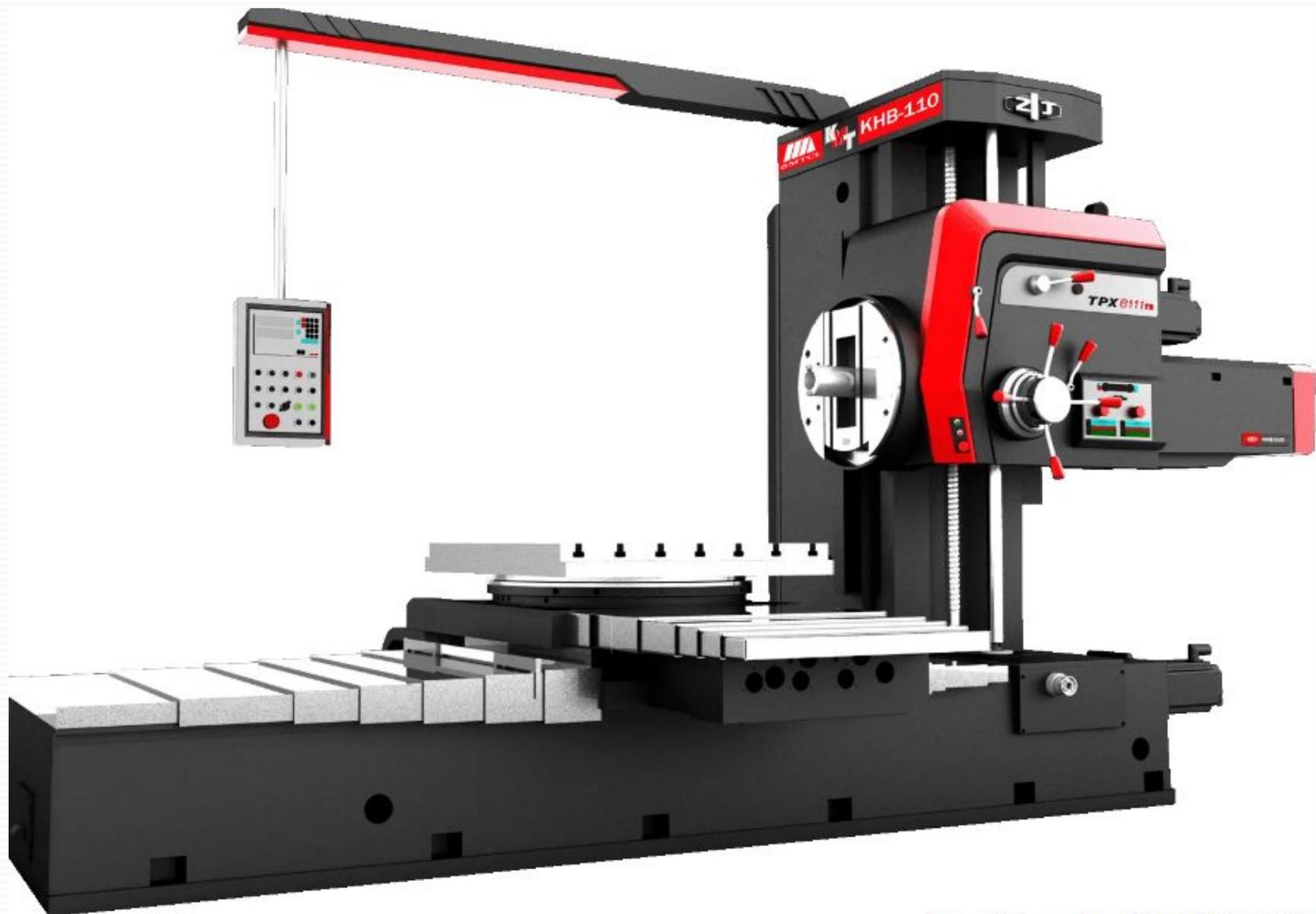
<https://vseochpu.ru/wp-content/uploads/2019/11/mnogoshpindelnyj-sverlilnyj-standok-768x1067.jpg>

# Вертикально-расточной станок



<http://vbobylev.ru/wp-content/uploads/2021/02/B200A-600x600.jpg>

# Горизонтально-расточной станок



# Кондуктор и кондукторные втулки



[http://www.esse.fr/WebRoot/netissime/Shops/xsisunlz/4D75/7104/D5BD/A525/2AF7/7F00/0001/2CBD/gabarit-de-percage-gamme-serrure-tube-carre-portai-battantl-locinox-mlt0312\\_s.jpg](http://www.esse.fr/WebRoot/netissime/Shops/xsisunlz/4D75/7104/D5BD/A525/2AF7/7F00/0001/2CBD/gabarit-de-percage-gamme-serrure-tube-carre-portai-battantl-locinox-mlt0312_s.jpg)



<https://alufix.com.ua/image/cache/catalog/tools/tools/15006-6-500x500.jpg>

# Координатно-расточной станок



# Расточная головка



# Станки фрезерной

## группы

Предназначение: обработка плоских и фасонных поверхностей с помощью фрезы.

Классификация:

- Вертикально-фрезерные;
- Горизонтально-фрезерные;
- Продольно-фрезерные;



Фреза  
цилиндрическая



Фреза  
концевая



Фреза  
торцевая

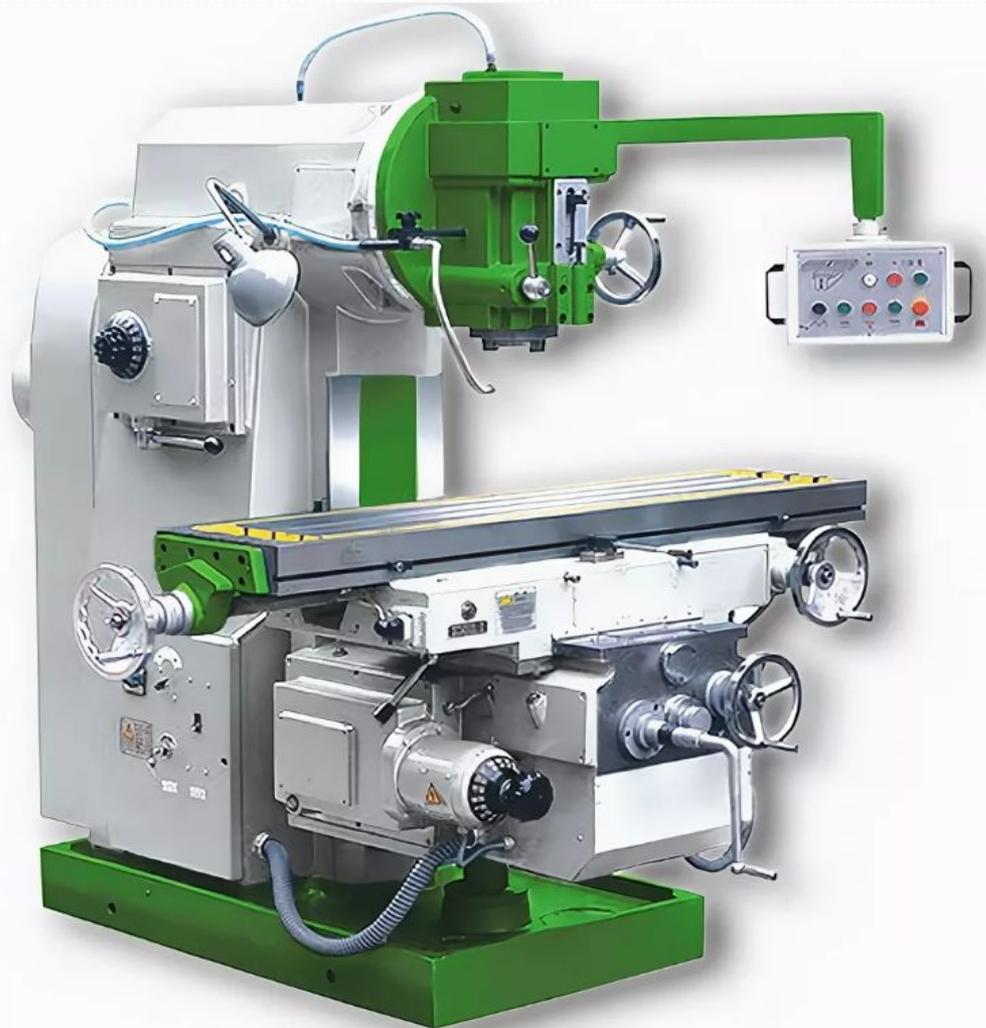


Фреза  
Дисковая  
3-х сторонняя

# Горизонтально-фрезерный



# Вертикально-фрезерный



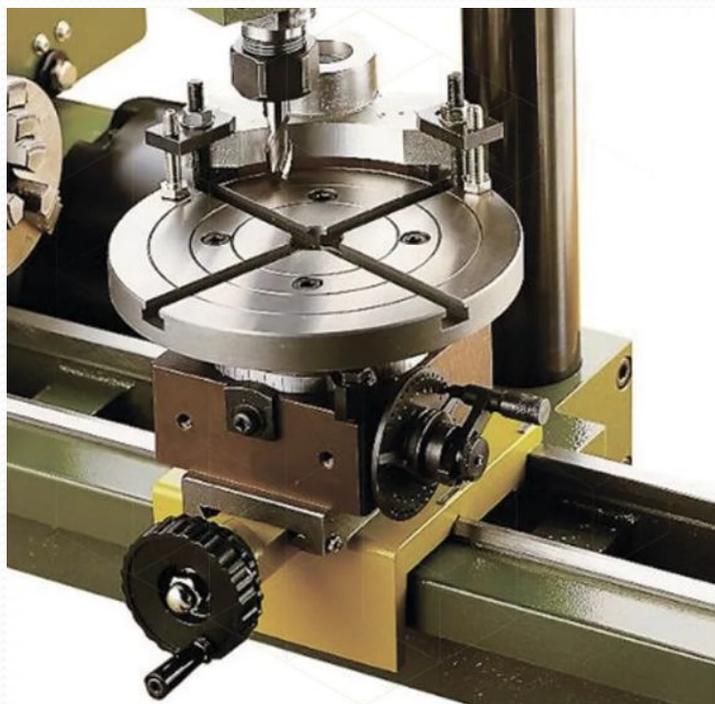
<https://poip.by/upload/iblock/95e/c730294722b04269012d813b842fb49f.jpg>

# Фрезерно-гравировальный



[https://st1.stpulscen.ru/images/product/068/562/537\\_medium2.jpg](https://st1.stpulscen.ru/images/product/068/562/537_medium2.jpg)

## Делительная головка



<https://alextool.ru/wa-data/public/shop/products/45/03/345/images/510/proxxon-24421-1.750x0.png>

## Поворотный стол с приводом



[https://images.ru.prom.st/255648341\\_w200\\_h200\\_upravlyaemyj-kruglyj-stol.jpg](https://images.ru.prom.st/255648341_w200_h200_upravlyaemyj-kruglyj-stol.jpg)

# Револьверный магазин инструмента



<https://frezeru.ru/rezhuschiy-instrument/images/instrument-frezernogo-stanka-chpu.jpg>



[https://vektorus.ru/image/data/articles/reviews/smena-instrumenta-v-stankah-s-chpu/1604575579OvFRv8btMG\\_1.jpg](https://vektorus.ru/image/data/articles/reviews/smena-instrumenta-v-stankah-s-chpu/1604575579OvFRv8btMG_1.jpg)

# Шлифовальные станки

Предназначение: окончательная обработка детали абразивным инструментом.

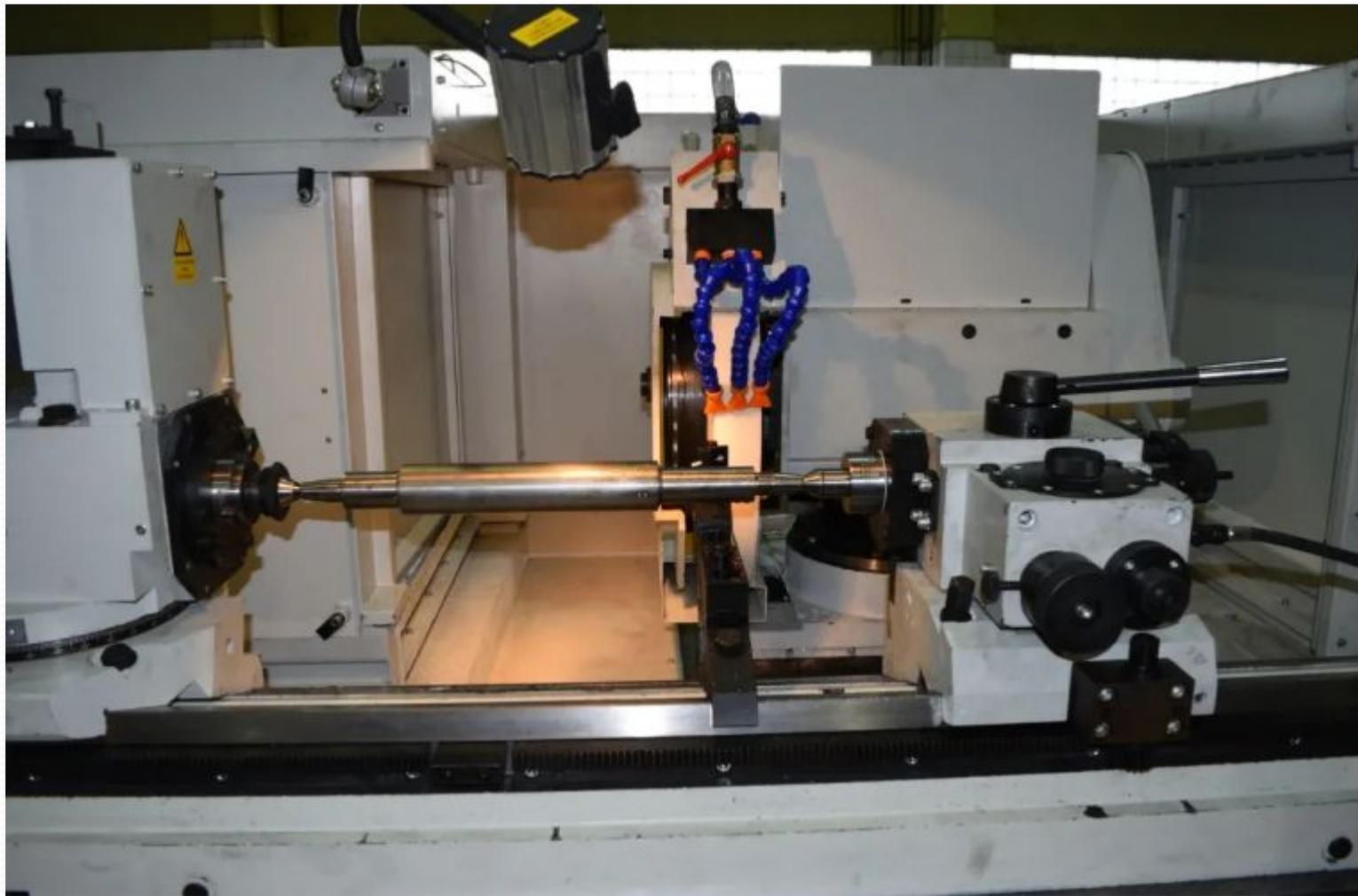
Классификация:

- Круглошлифовальные;
- Плоскошлифовальные;
- Шлицешлифовальные;
- Зубошлифовальные.



<https://www.metaalmagazine.nl/wp-content/uploads/2014/12/221091112536.jpg>

# Круглошлифовальный станок



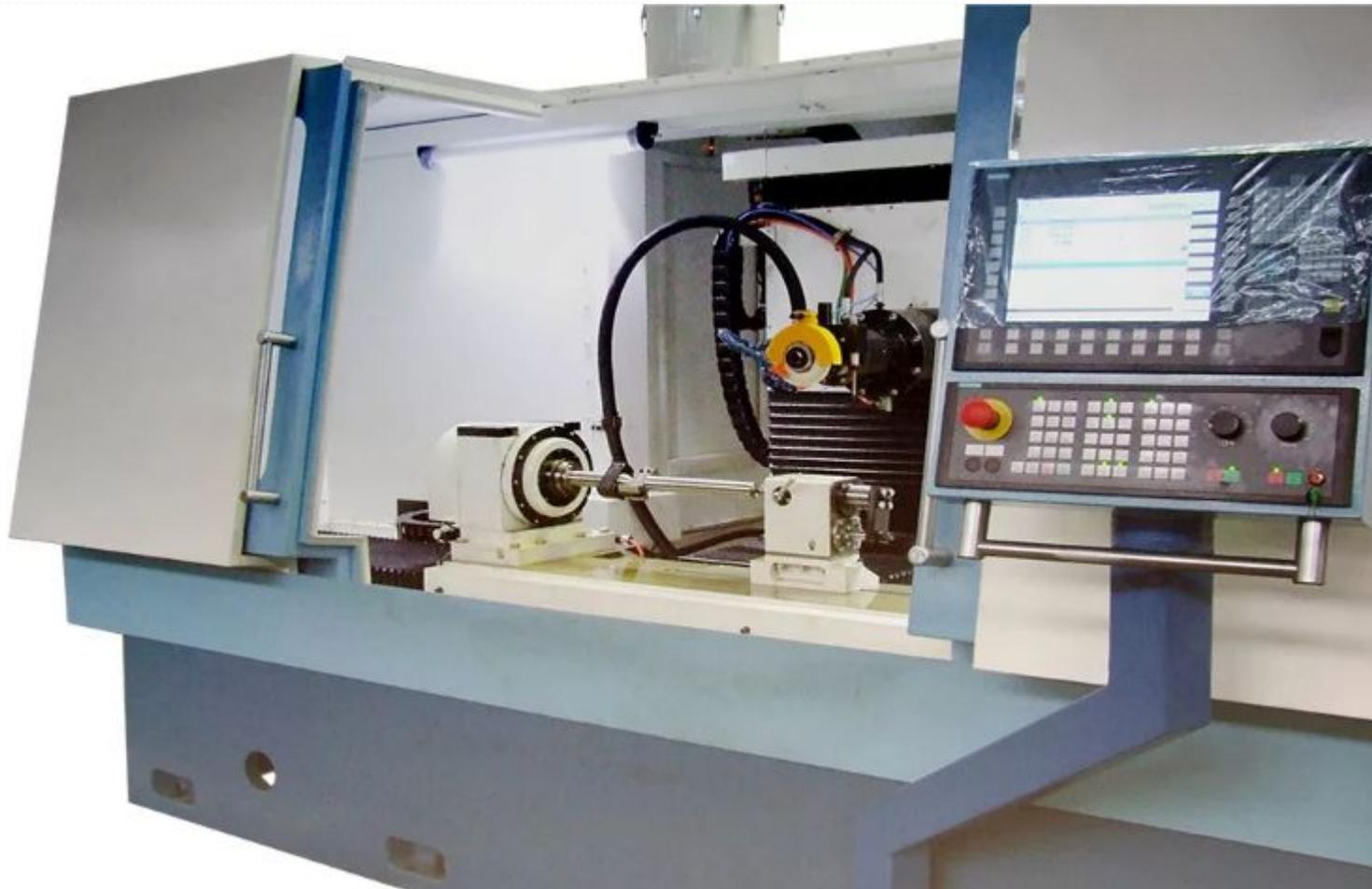
<https://stanmar.ru/upload/iblock/254/254839c246f9d4133cee203cb1b51ad4.jpg>

# Плоскошлифовальный станок



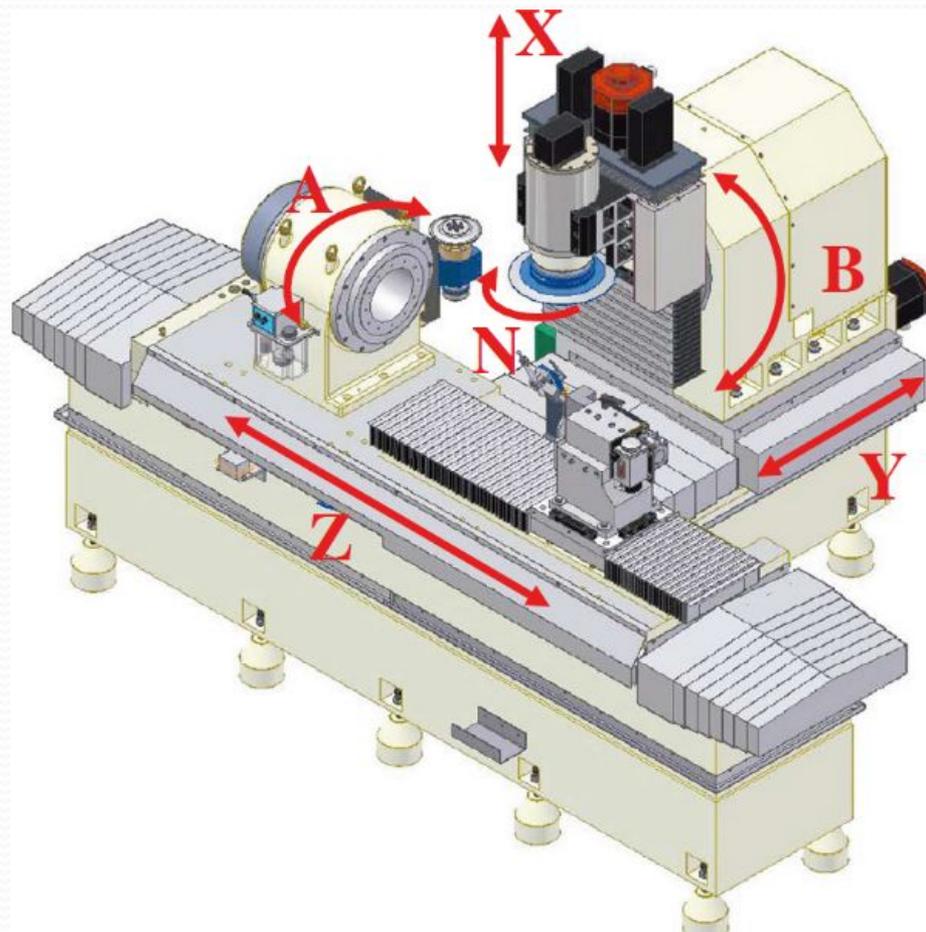
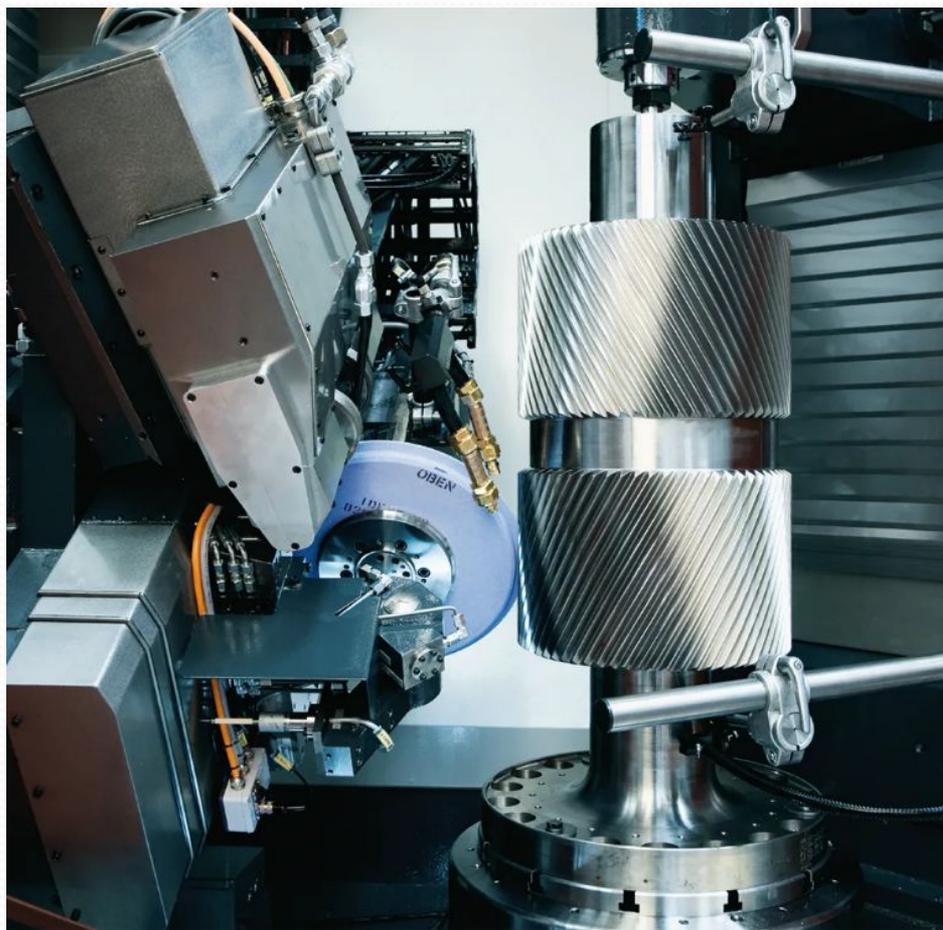
[https://images.zakupka.com/i3/firms/27/10326/10326263/ploskoshlifovalnyy-  
stanok-cormak-m300x600\\_6ef563eefcbf3be\\_800x600.png](https://images.zakupka.com/i3/firms/27/10326/10326263/ploskoshlifovalnyy-<br/>stanok-cormak-m300x600_6ef563eefcbf3be_800x600.png)

# Шлицшлифовальный станок



[http://stm-market.ru/\\_pictures/729.jpg](http://stm-market.ru/_pictures/729.jpg)

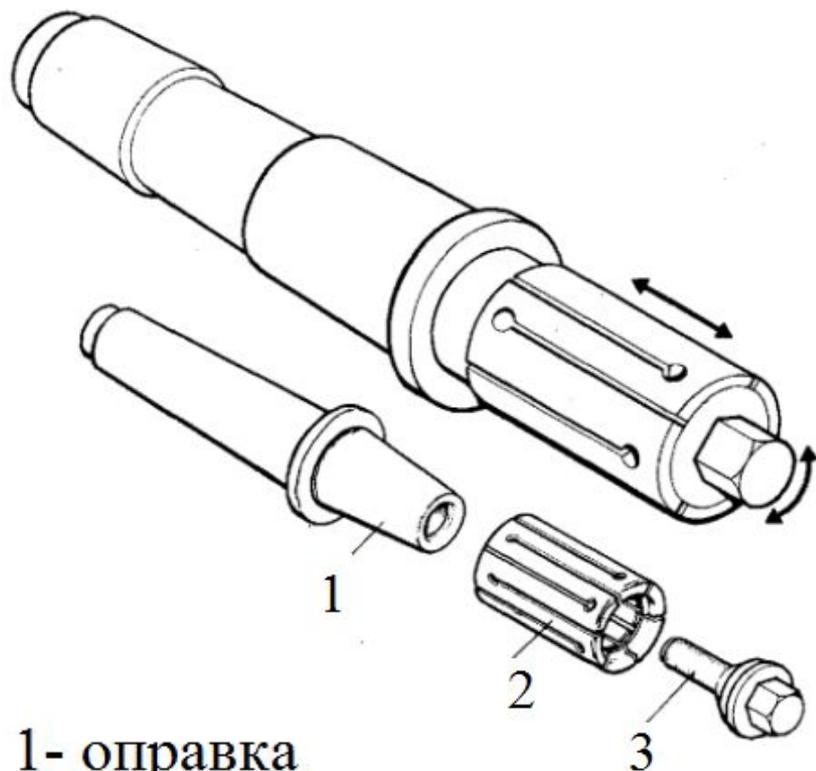
# Зубошлифовальный станок



<https://finval.ru/upload/iblock/840/8404de258fed7b7bbc119ab0b9e3101a.png>

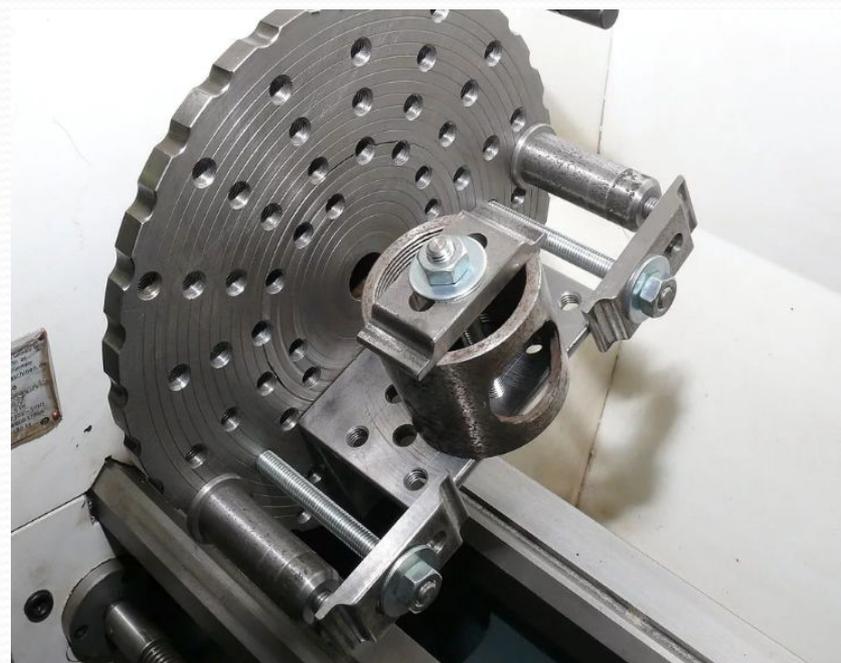
<https://finval.ru/upload/iblock/a93/a938522799d3048e22153f1e294629ca.png>

# Оправка шпиндельная разжимная

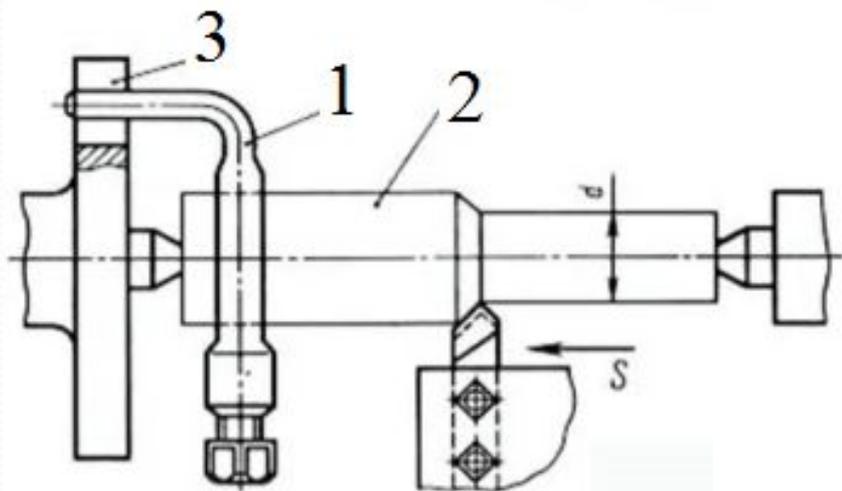


- 1 - оправка
- 2 - цанга
- 3 - винт

# Планшайба



# Поводковый патрон



1-хомутик  
2-заготовка  
3-поводковый  
патрон



# Автоматизация процессов механической обработки

**Объект управления** – станок, процесс обработки

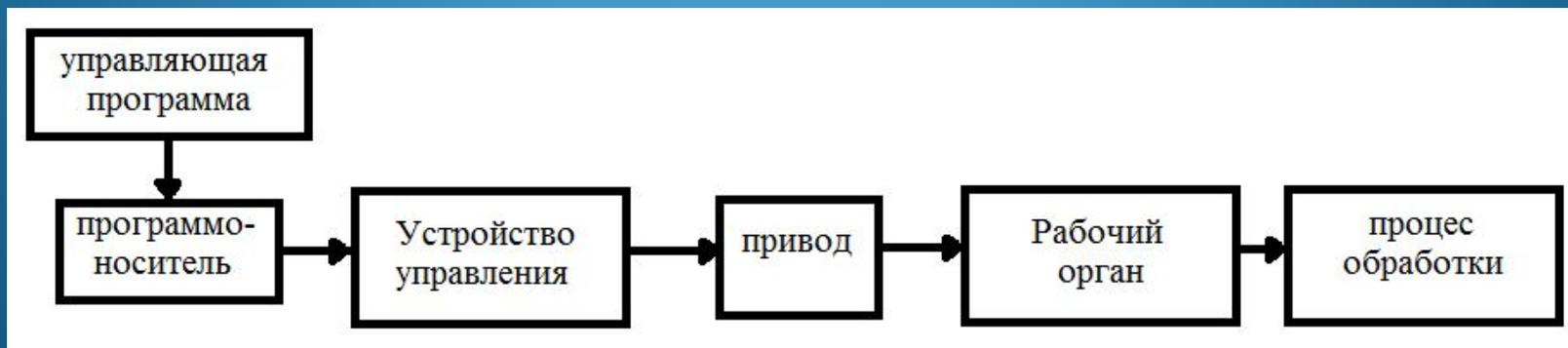
**Исполнительный механизм** – приводы подач, привод шпинделя

**Датчики** – перемещений, конечных положений, параметров процесса обработки

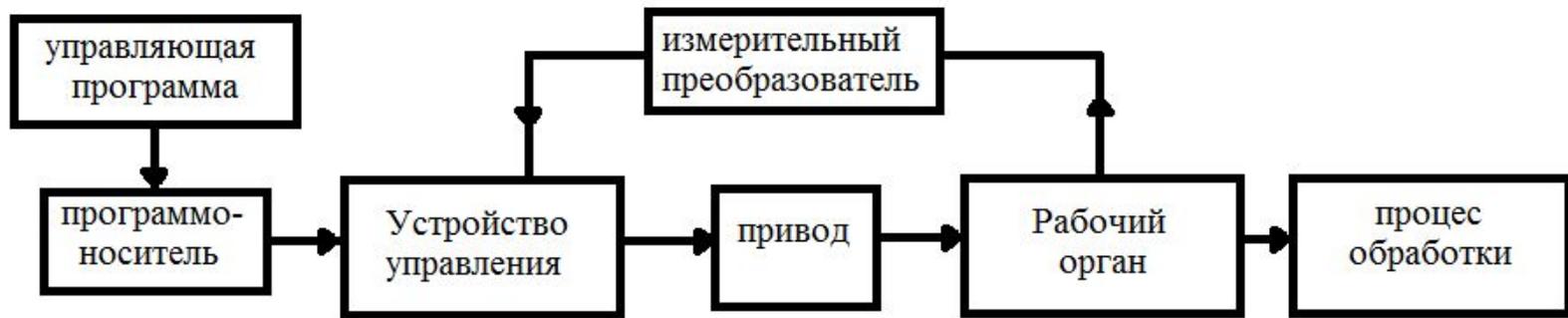
**Управляющая программа** – механические упоры, кулачки, шаблон, циклограмма ПЛК, программа на цифровом носителе для ЧПУ

**Управление** – программное без ОС и с ОС (следящее), стабилизация параметров

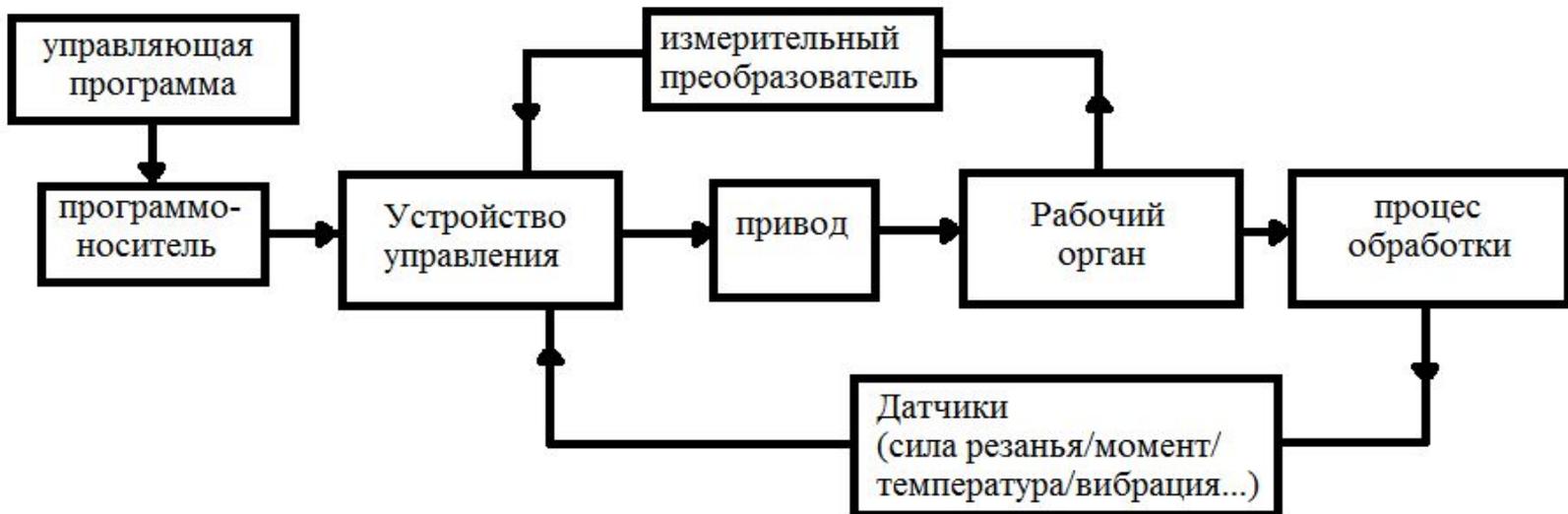
## Разомкнутая САУ



# САУ с обратной связью по положению рабочих органов



## Адаптивные САУ



# Станки автоматы и полуавтоматы

Предназначены для обработки деталей в условиях крупносерийного и массового производства.

- Автоматы – автоматизированы все основные и вспомогательные движения, загрузка и выгрузка заготовок.
- Полуавтоматы - автоматизированы все основные и вспомогательные движения в цикле обработки одной заготовки. Для повторения цикла оператор должен снять/установить деталь, вновь запустить станок.

## Классификация:

- По назначению: Универсальные / специализированные
- По виду заготовки: Прутковые / патронные
- По количеству шпинделей : одно/многошпиндельные
- По расположению шпинделей:  
горизонтальные/вертикальные

# Автоматизация станков автоматов и полуавтоматов

- Средства механики, гидравлики, электротехники и электроники, пневматики и комбинированные.

Механическая база автоматизации – специализированные станки для массового производства, переналадка сложна.

Гидравлика, электротехника, пневматика – серийные и массовые производства с возможностью быстрой переналадкой.

Электроника - станки с ЧПУ для мелко и среднесерийных производств.

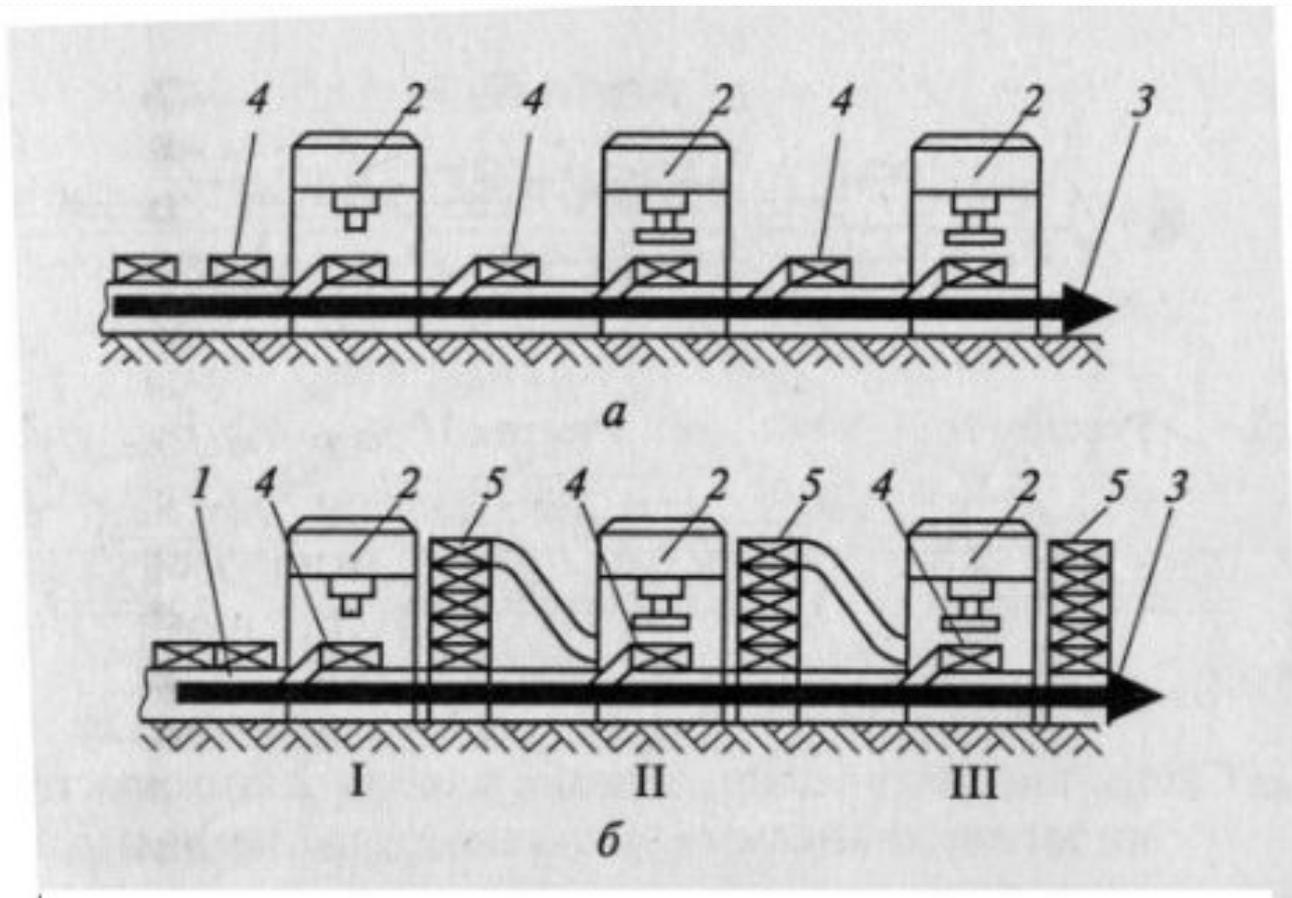
# Автоматические линии

Классификация:

- Жёсткие (синхронные)/Гибкие (асинхронные);
- Спутниковые/Безспутниковые;
- Ветвящиеся/ Не ветвящиеся;
- Из специализированных станков;
- Из агрегатных станков.



# Жёсткие и гибкие автоматические линии

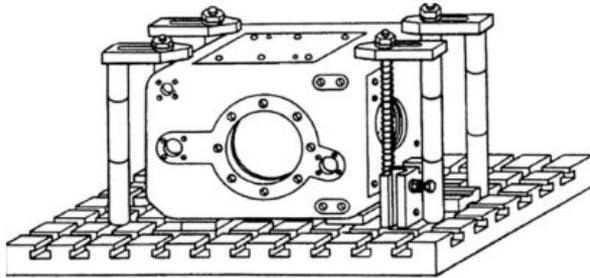


[https://studfile.net/html/2706/47/html\\_J4MHt1W5tg.by3B/img-ICSUwF.jpg](https://studfile.net/html/2706/47/html_J4MHt1W5tg.by3B/img-ICSUwF.jpg)

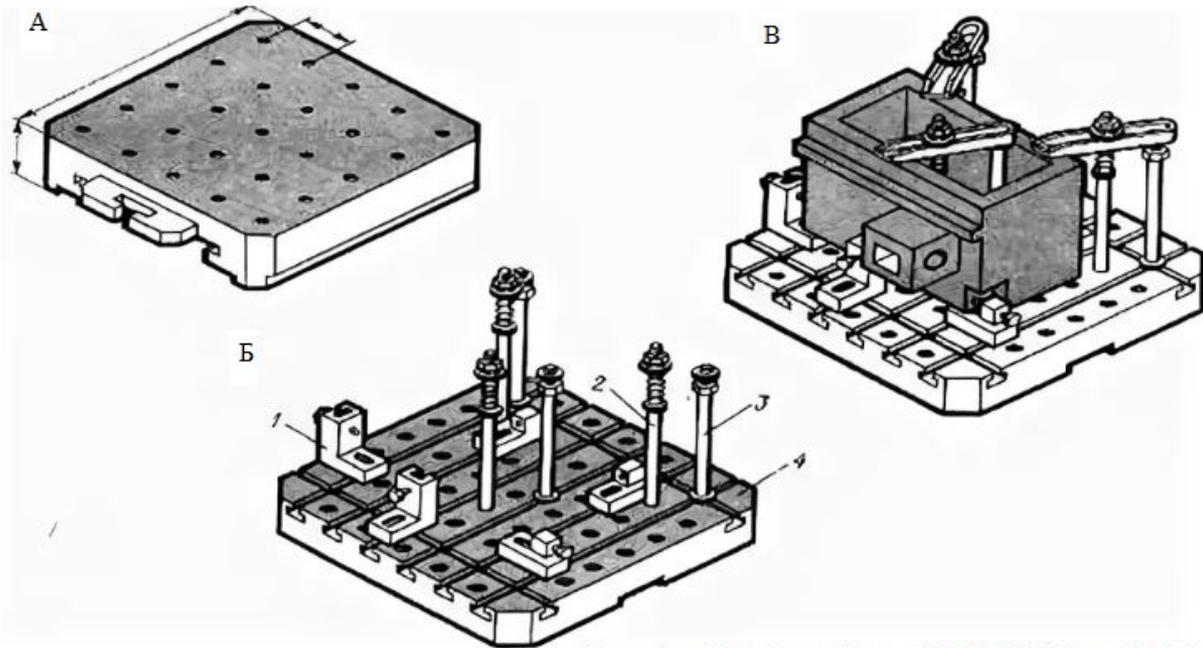
1 — накопитель первичной загрузки; 2 — станки;  
3 — транспортер; 4 — заготовки; 5 — накопители;  
I, II, III — номера участков

# Спутниковые автоматические линии

Приспособления спутники имеют форму плиты, на которой закрепляется обрабатываемая деталь. Нижняя часть плиты имеет пазы для базирования на накопителях, транспортёрах или рабочих столах станков.



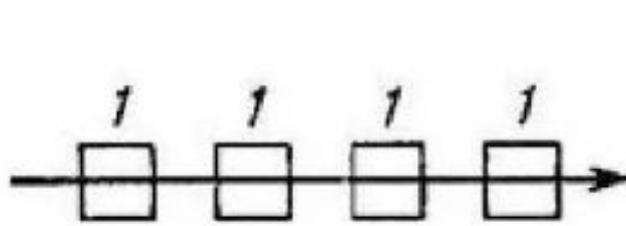
<https://m.studref.com/htm/img/39/7730/164.png>



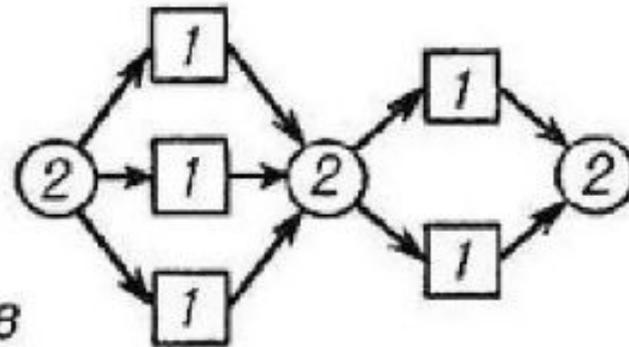
[https://studbooks.net/imag\\_/8/169897/image047.jpg](https://studbooks.net/imag_/8/169897/image047.jpg)

- А - плита приспособления спутника станка
- Б - плита с приспособлениями крепления детали
- В - плита с деталью в собранном виде

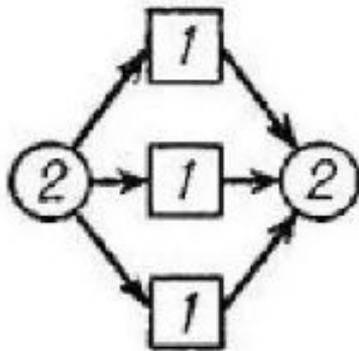
# Структурные компоновки автоматических линий



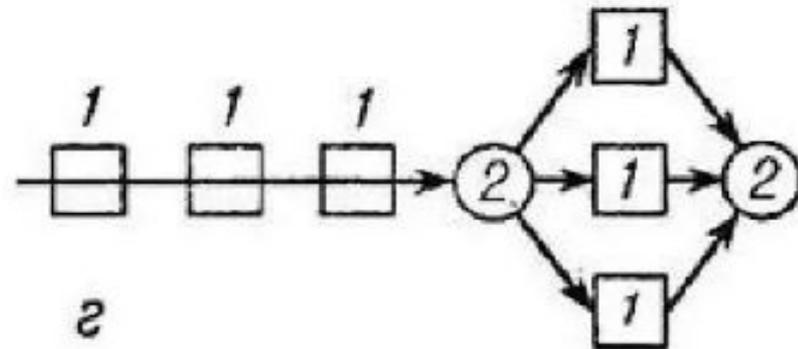
а



б



в



г

а - однопоточная последовательного действия

б - однопоточная параллельного действия

в - многопоточная

г - смешанная (ветвящаяся)

1 - рабочие станки

2 - распределительные устройства

# Агрегатные станки

В построении станков используется принцип агрегатирования. Используются унифицированные узлы по размерам и назначению

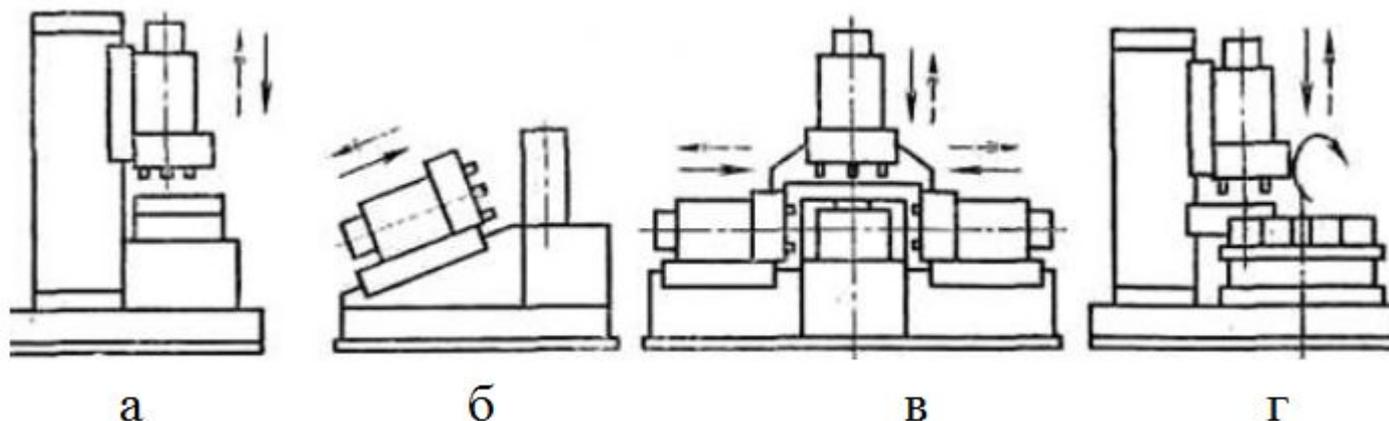
Компоновка станков:

а - односторонняя однопозиционная

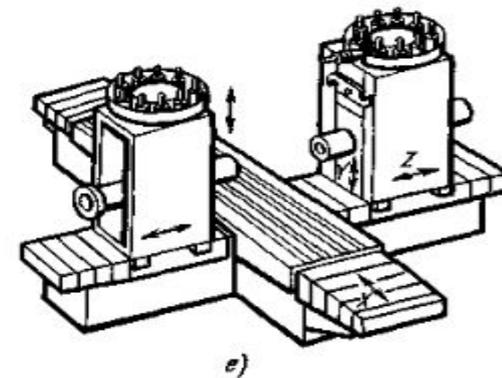
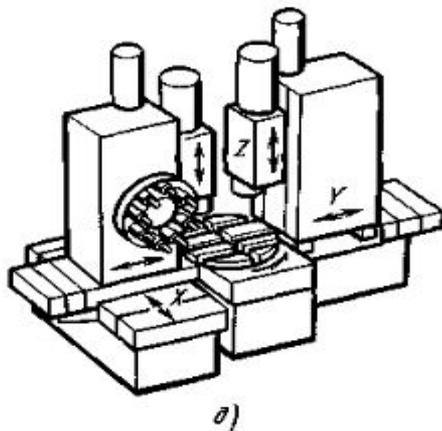
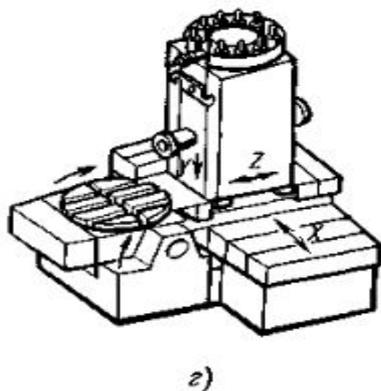
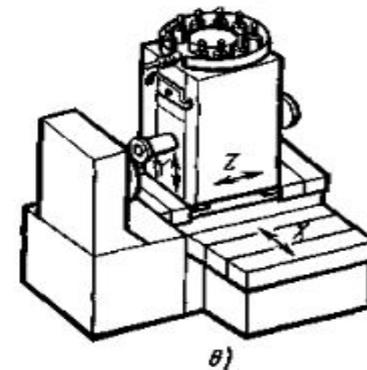
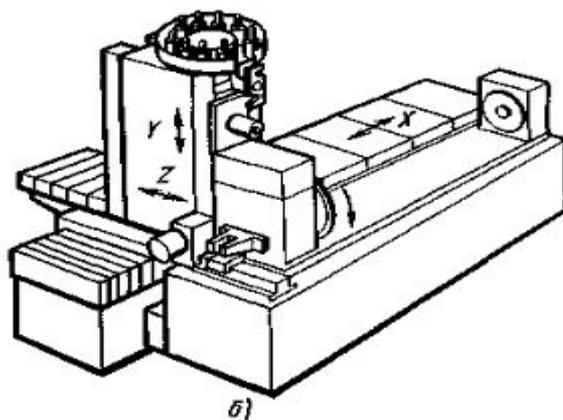
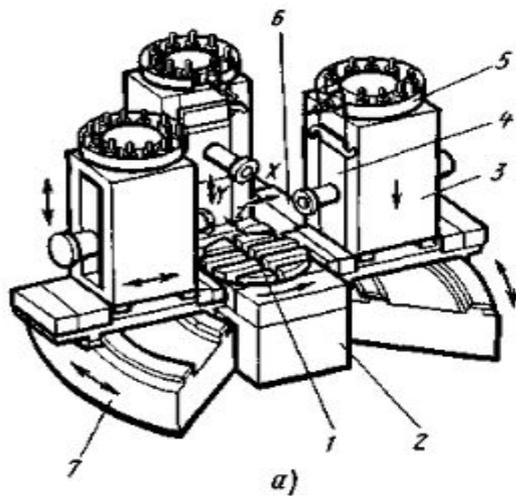
б - наклонная односторонняя однопозиционная

в - однопозиционная смешанная

г - вертикальная односторонняя многопозиционная

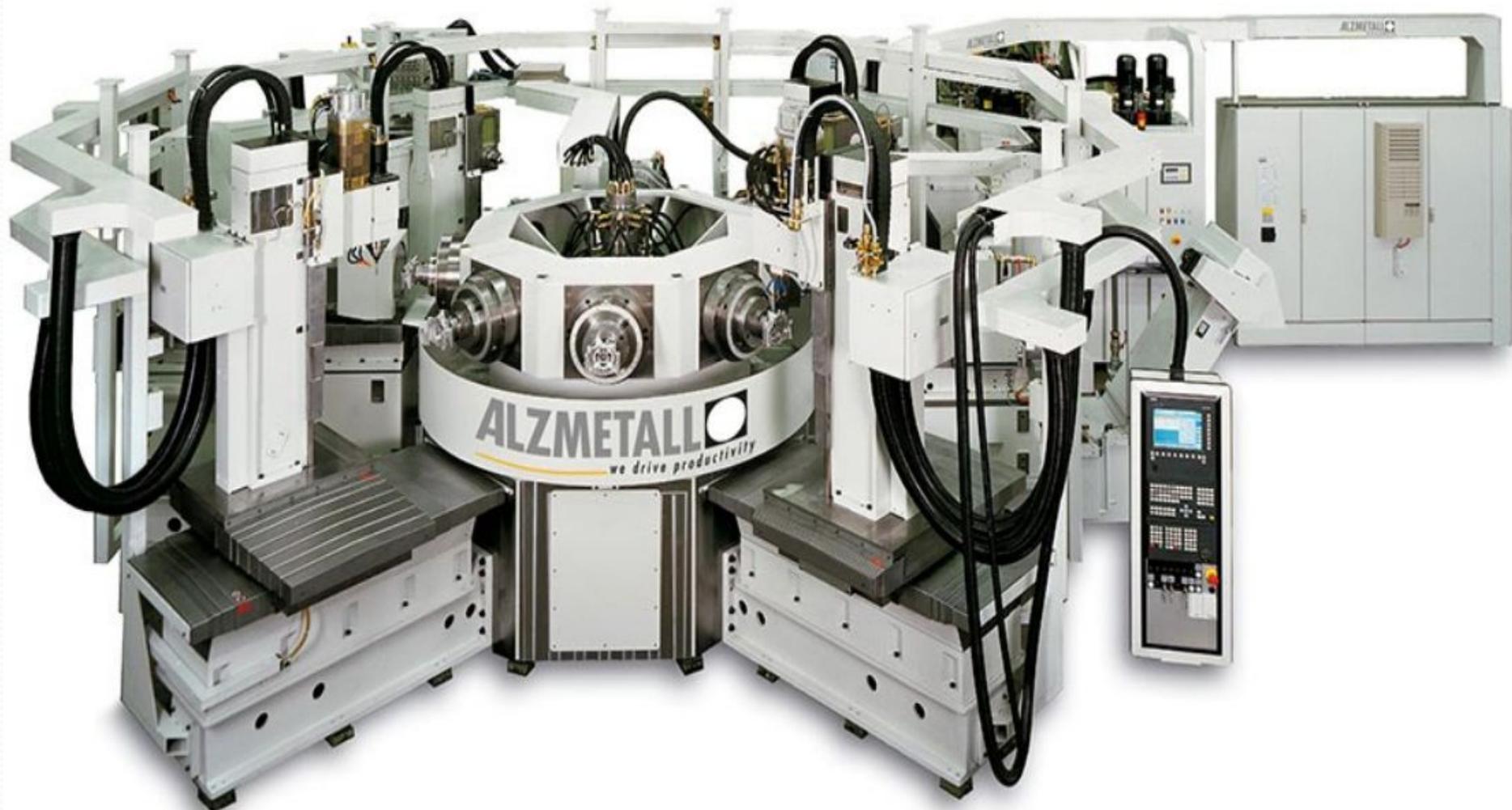


# Примеры компоновки агрегатных станков



1 — поворотный стол; 2 — станина поворотного стола; 3 — стойка; 4 — шпиндельный узел; 5 — инструментальный магазин; 6 — стол прямолинейного перемещения; 7 — станина стойки.

# Примеры компоновки агрегатных станков



# Примеры силовых/шпиндельных узлов агрегатных станков

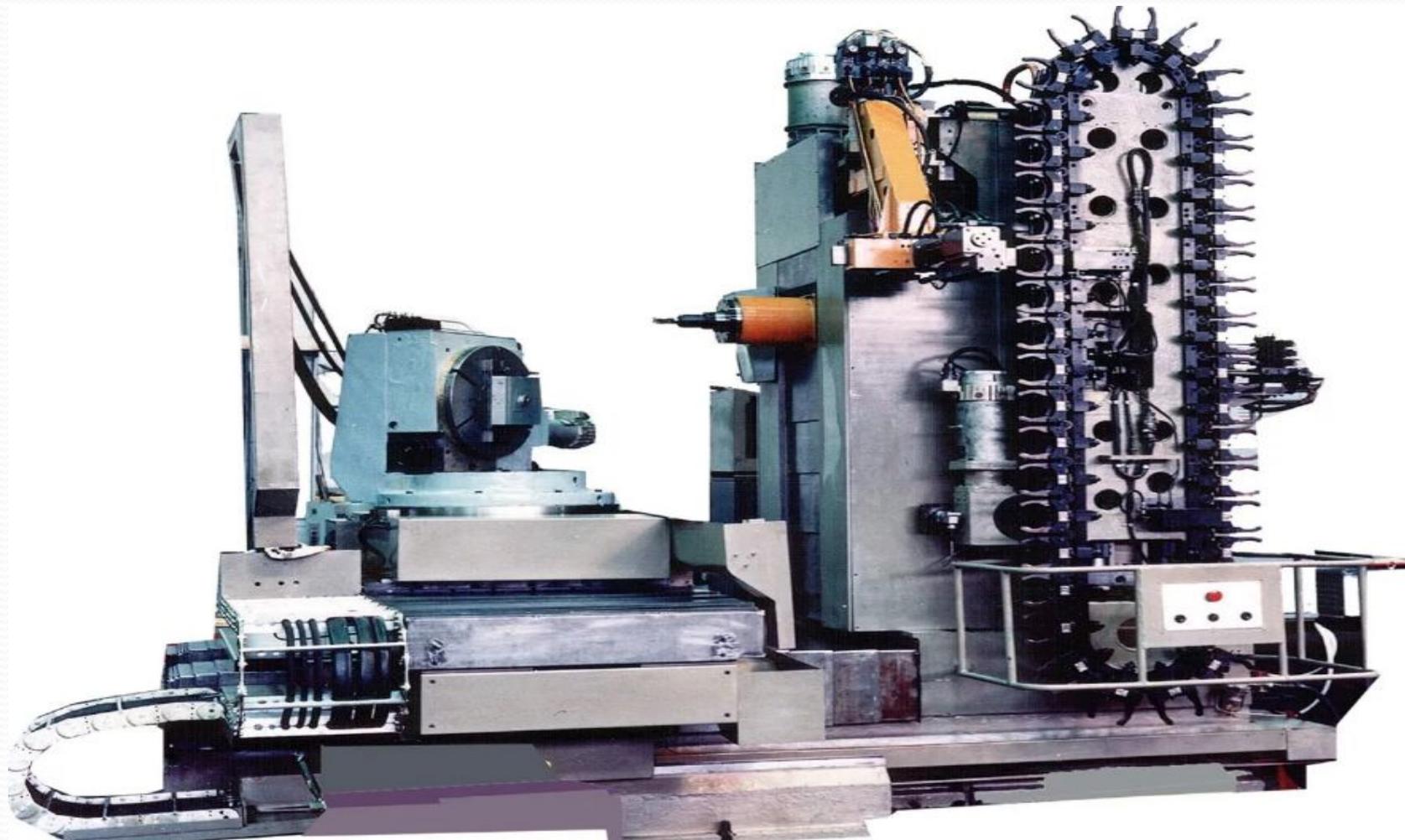


Преимущества агрегатных станков :

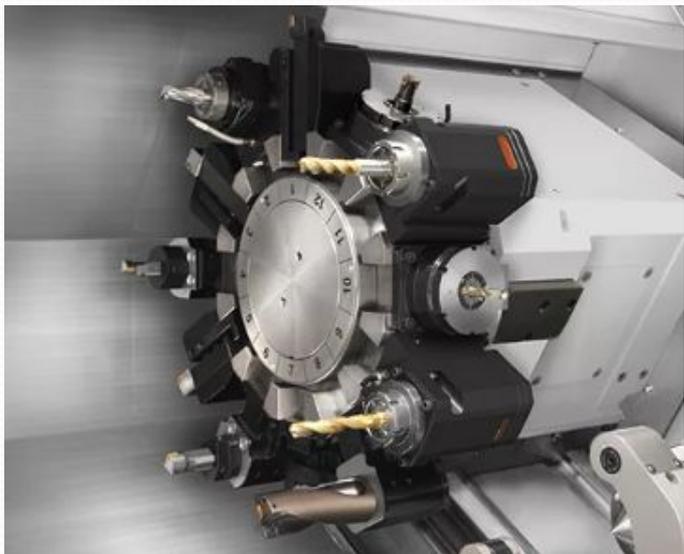
- Короткие сроки проектирования;
- Простота изготовления благодаря унификации узлов, механизмов;
- Высокая производительность благодаря возможности многоинструментальной обработки заготовок;
- Возможность многократного использования агрегатов при смене объекта производства;
- Относительная дешевизна и простота обслуживания.

# Обрабатывающие центры

Станки предназначены для комплексной обработки детали с автоматической сменой инструмента и системой ЧПУ.



# Револьверные головки



[https://mazakfiles.blob.core.windows.net/website/image/a98983e80b644cb1a0156276b91db63f/qt-compact\\_turret%20\\_img\\_1.png](https://mazakfiles.blob.core.windows.net/website/image/a98983e80b644cb1a0156276b91db63f/qt-compact_turret%20_img_1.png)



[https://rustan.ru/sites/default/files/file\\_attach/tc16k20f3rg2.jpg](https://rustan.ru/sites/default/files/file_attach/tc16k20f3rg2.jpg)

# Смена инструмента без автооператора



# Обработка центр ИР-500 с автооператором



[https://www.prostanki.com/img/boardpics/2019\\_06/teOdM75JbImCKOfWxYfB.jpg](https://www.prostanki.com/img/boardpics/2019_06/teOdM75JbImCKOfWxYfB.jpg)

# Обрабатывающий центр с автооператором



<https://61.img.avito.st/208x156/8654813561.jpg>

# Транспортно-загрузочные устройства

## **Виды транспортировки:**

- Самоотёчное транспортирование (под действием силы тяжести)
- Принудительное транспортирование (под действием внешней силы)
- Вибрационное (от силы инерции)
- Комбинированное

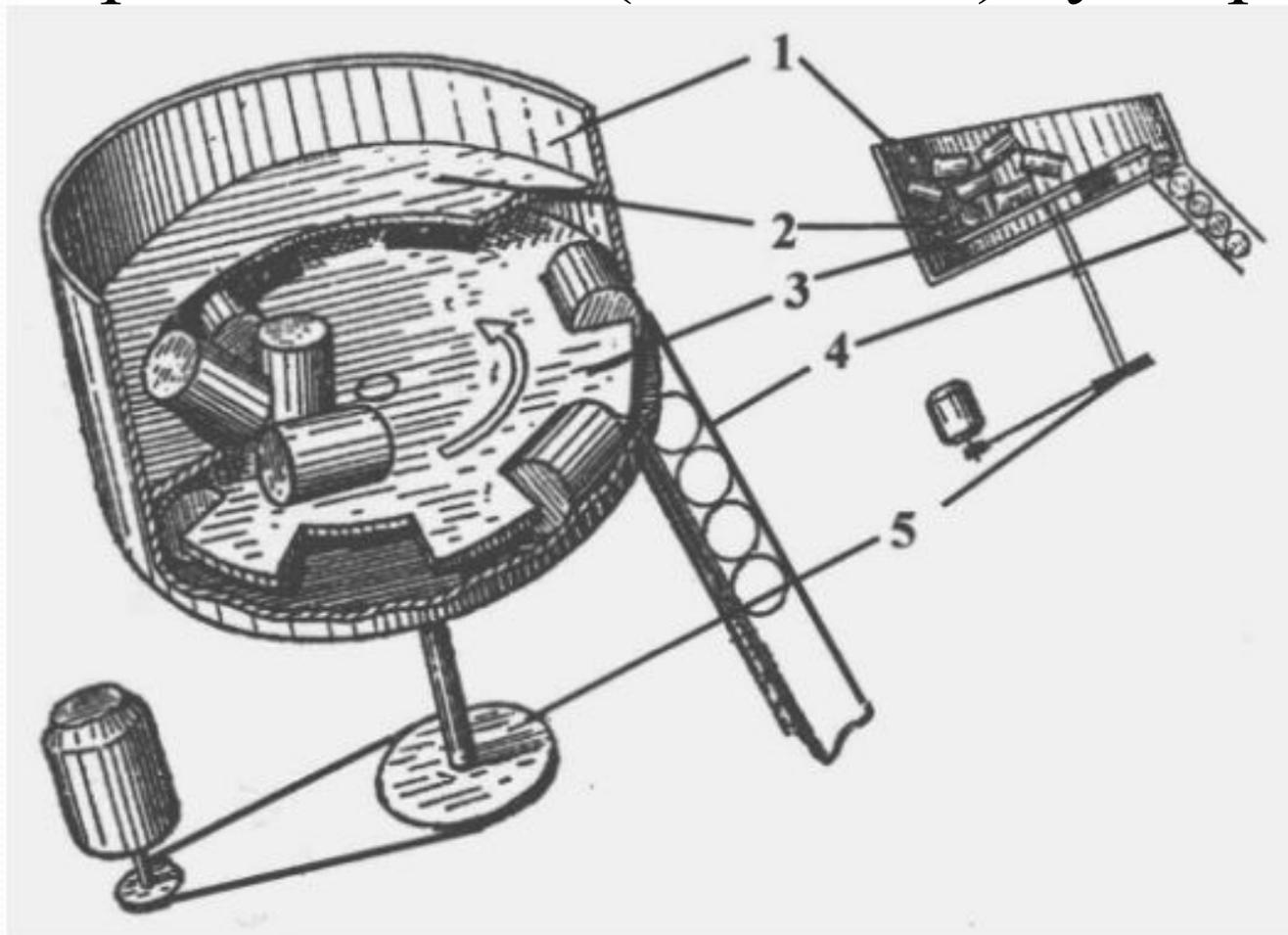
## **Транспортные системы:**

- Штатное транспортное устройство станка (вталкиватель, выталкиватель, зажим, съём)
- Внешние устройства (бункерные загрузочно-разгрузочные устройства, лоток, устройства автоматической ориентации, магазин, отсекаТЕЛЬ)

# Бункер

- Бункеры с поштучной выдачей заготовок:
  - карманчиковые (дисковые),
  - крючковые.
- Бункеры с порционной выдачей заготовок:
  - секторные (шиберные).
- Бункеры с непрерывной выдачей заготовок:
  - трубчатый,
  - фрикционный,
  - вибрационный.

# Карманчиковый (дисковый) бункер



[https://nashaucheba.ru/docs/15/14636/conv\\_2/file2\\_html\\_m344eea1.jpg](https://nashaucheba.ru/docs/15/14636/conv_2/file2_html_m344eea1.jpg)

1- чаша бункера, 2- козырёк, 3 - вращающийся диск,  
4- отводящий лоток, 5 - привод с трансмиссией

# Карманчиковый (дисковый) бункер

Производительность определяется по формуле:

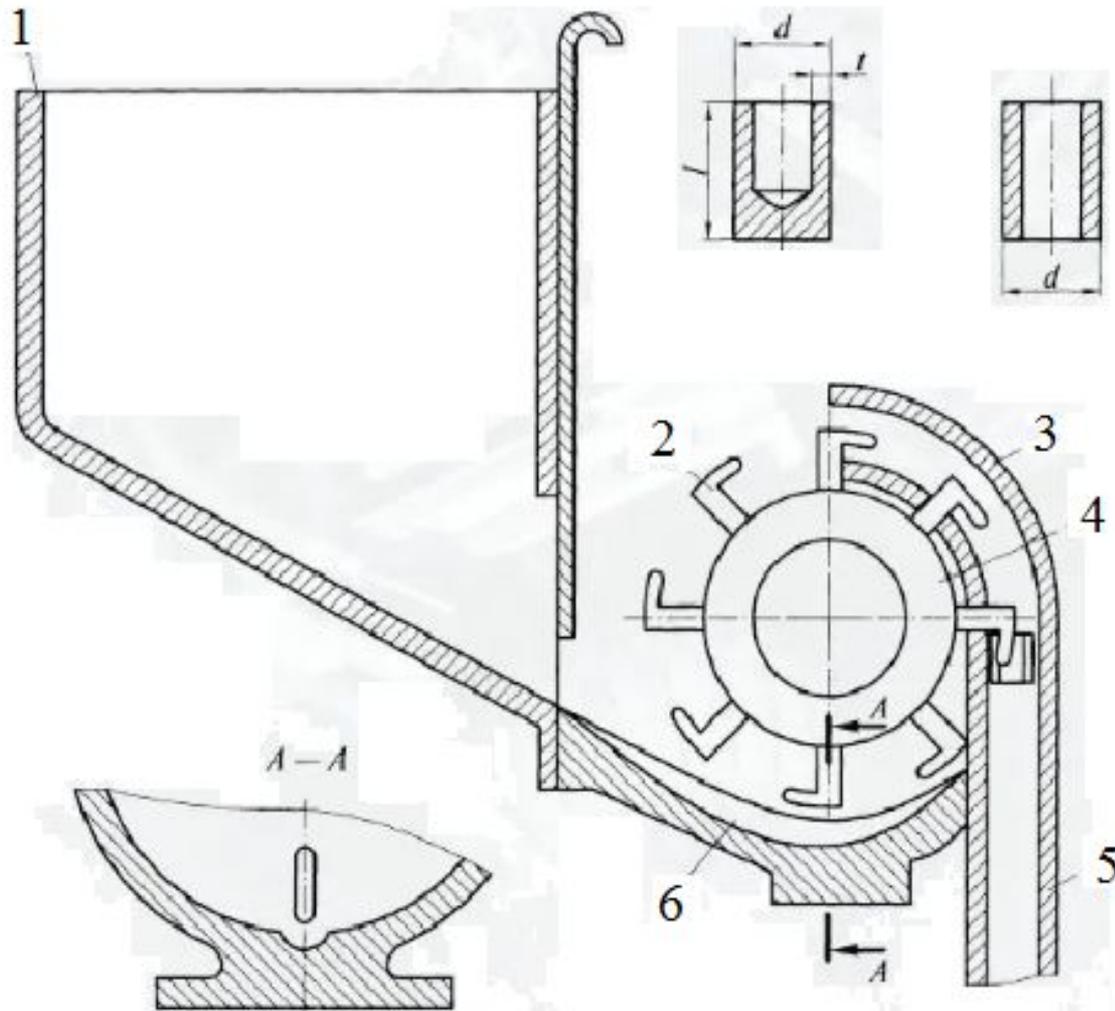
$$Q = n \cdot Z \cdot K \text{ [шт./мин]},$$

где  $n$  - частота вращения диска, об/мин (обычно  $V$ - линейная скорость принимается 5...10 м/мин);  $Z$  - число карманчиков;

$K = q/Z$  -коэффициент заполнения,

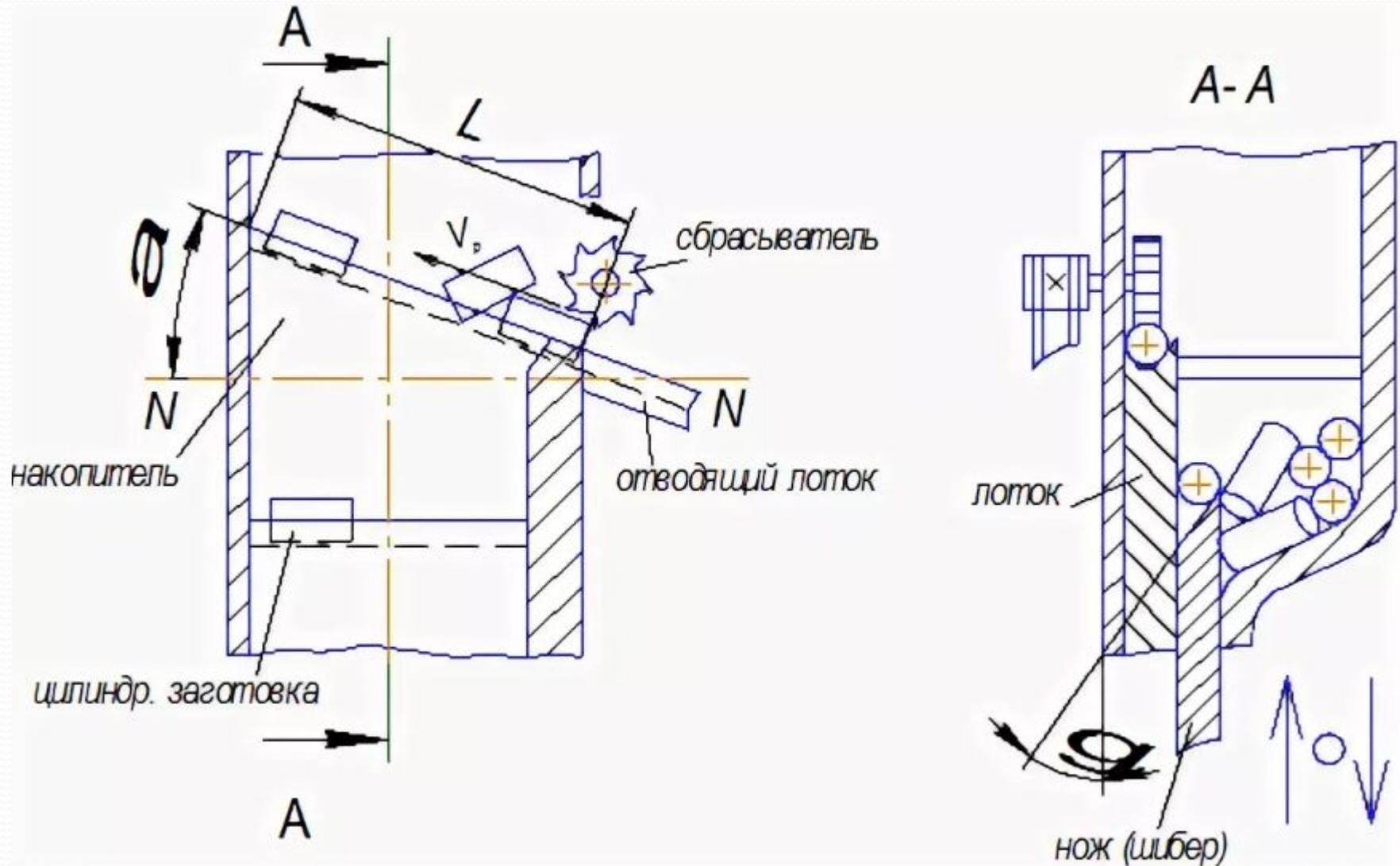
где  $q$  - фактическое количество зававших в карманчики дисков за один его оборот,  $K=0,92...0,98$

# Крючковый бункер

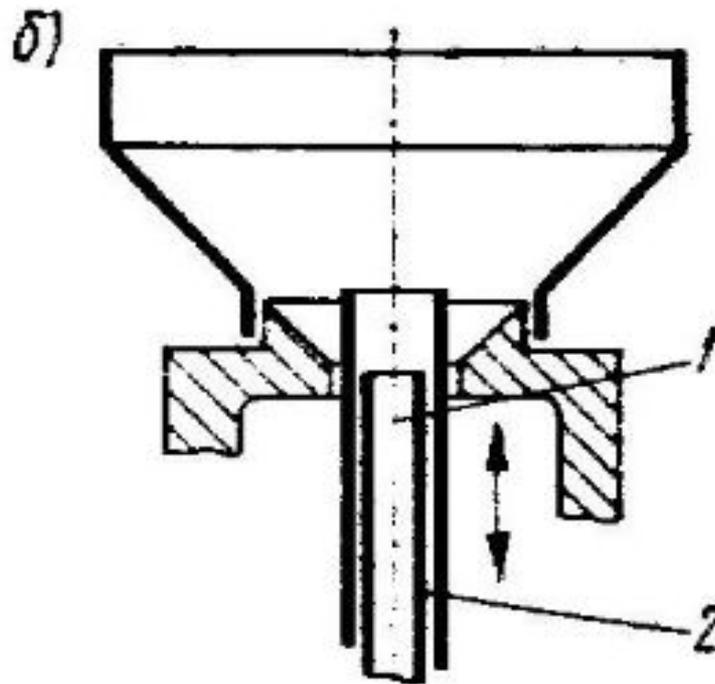
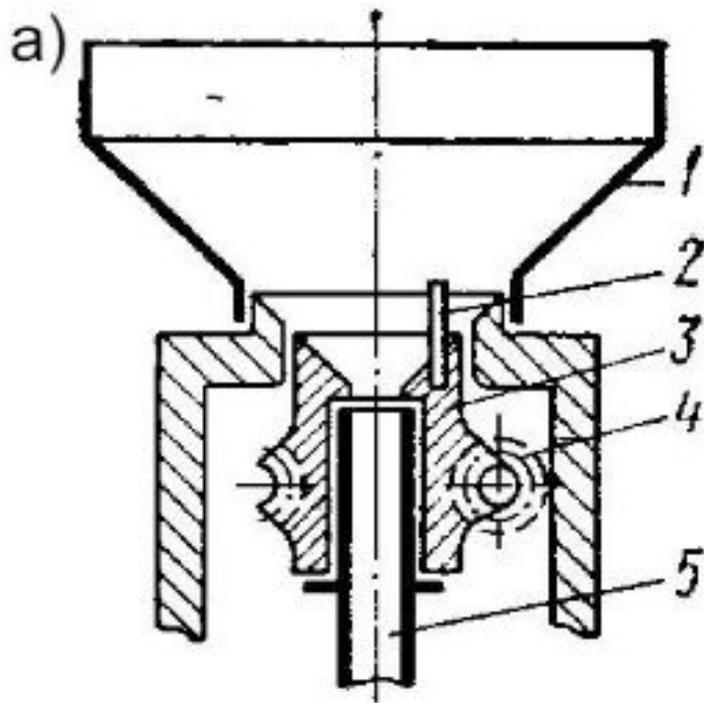


- 1 - бункер,
- 2 - крючок,
- 3 - приёмник,
- 4 - вращающийся диск
- 5 - трубка,
- 6 - корпус.

# Секторный (шиберный бункер)



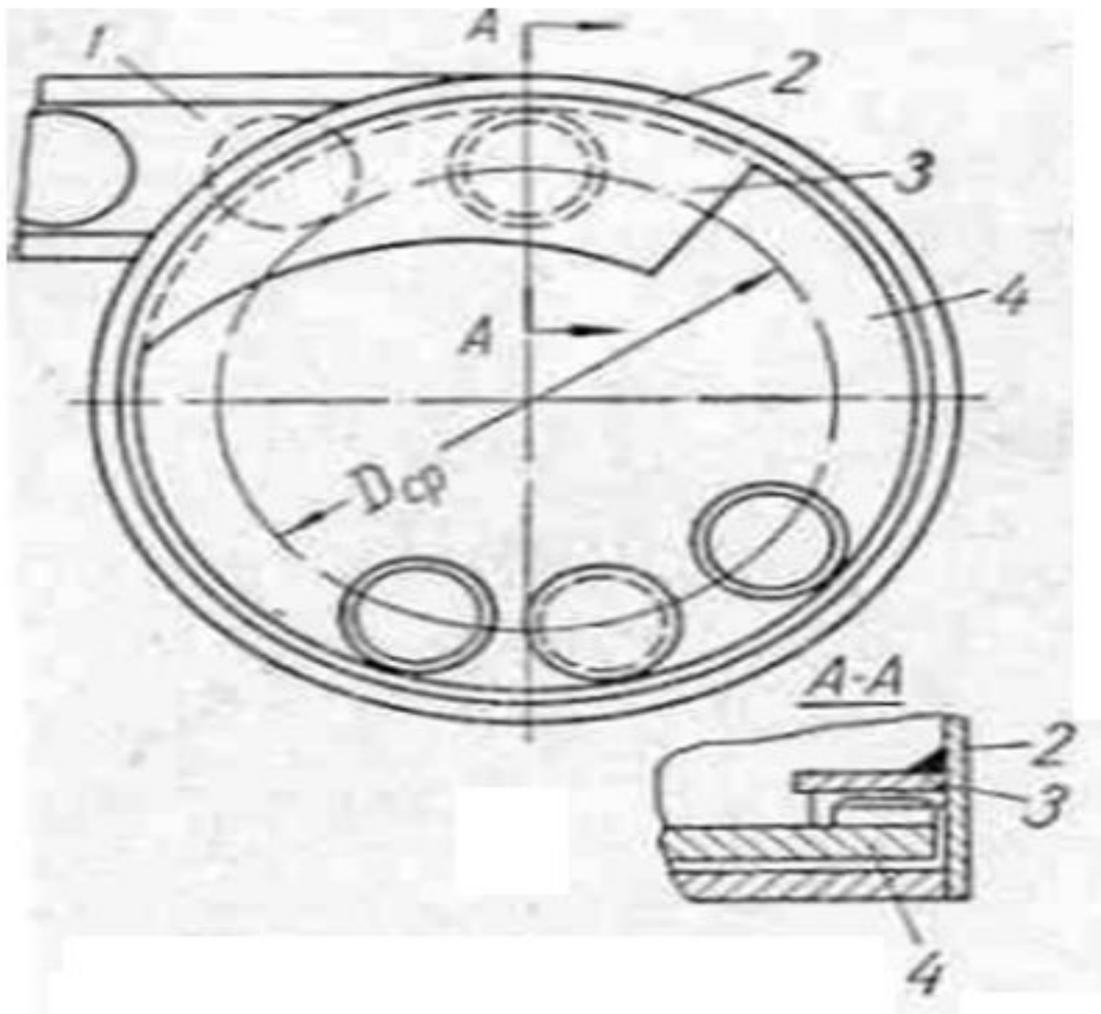
# Трубчатый бункер



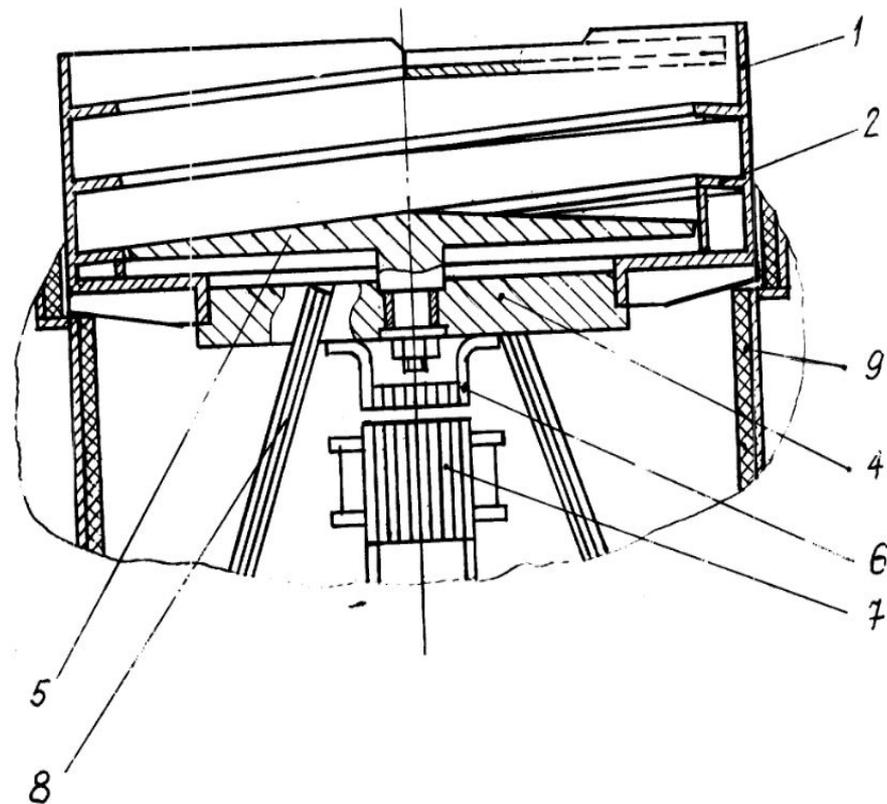
<https://kzref.org/de3b9607-280e-4f4d-b66a-dcc28a5a43b3>

- 1 - бункер,
- 2 - штифт,
- 3 - днище,
- 4 - зубчатая передача,
- 5 - приёмная трубка.

# Фрикционный бункер



# Вибрационный бункер



[https://img.findpatent.ru/img\\_data/1/14431.gif](https://img.findpatent.ru/img_data/1/14431.gif)

1 - чаша, 2- спиральный лоток, 3 - выходной лоток,  
4 - несущая плита, 5 - дно бункера, 6 - якорь электромагнита 7,  
8 - плоские пружины, 9 - ограждение шумоизолирующее.

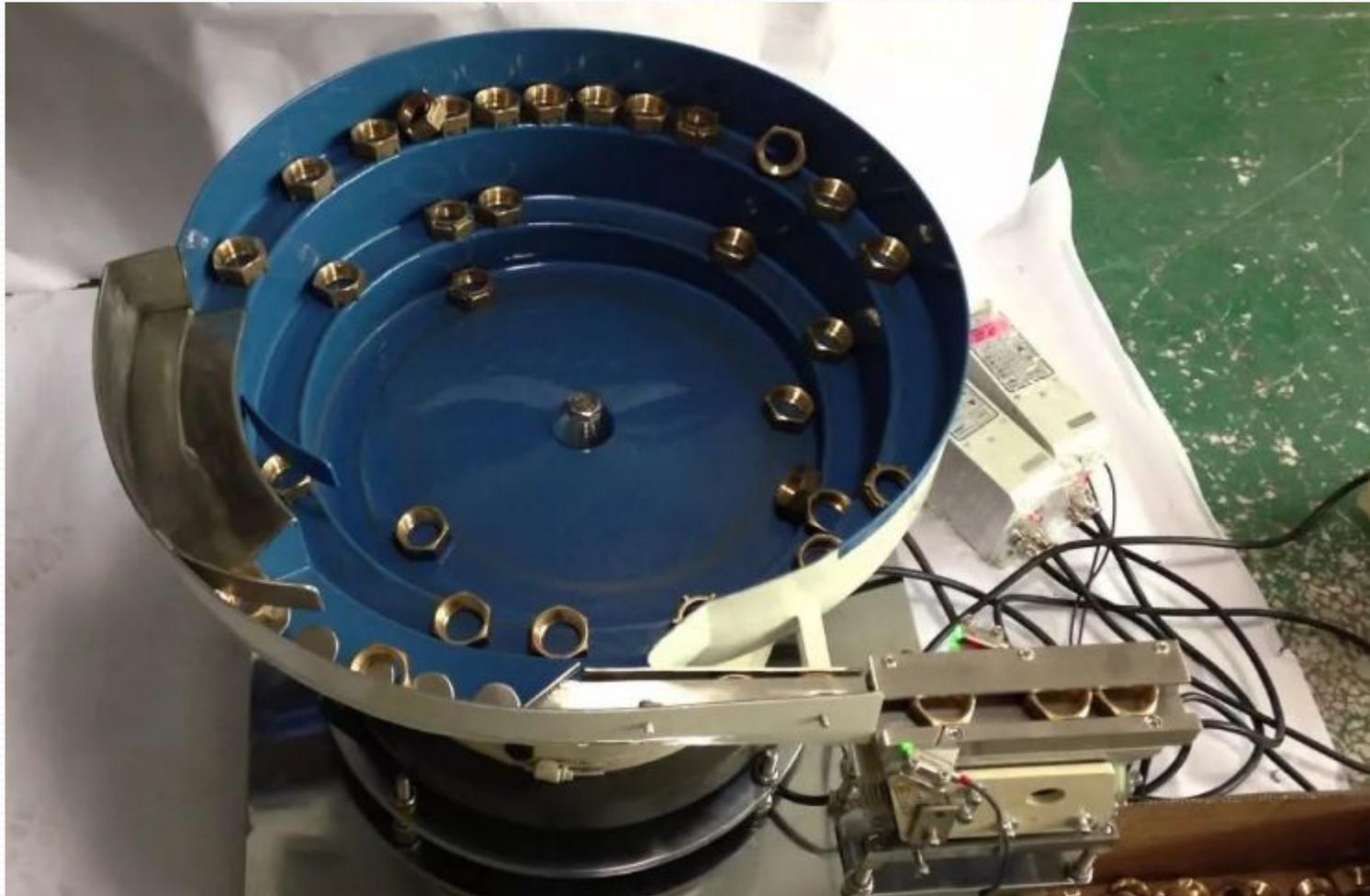
## Применение:

Для круглых и плоских заготовок разной степени сложности, склонных к взаимозацеплению.

## Достоинства:

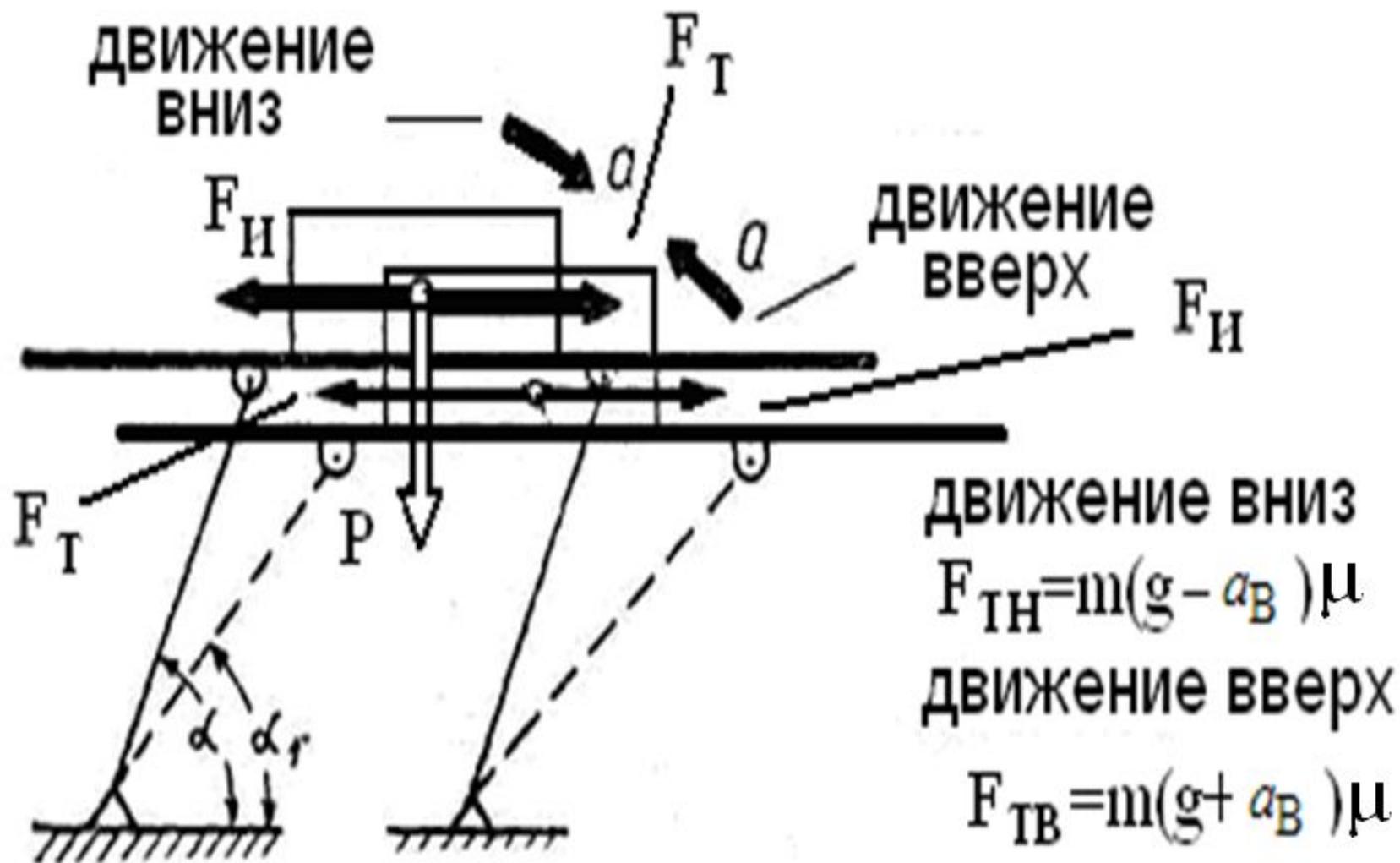
- Простота конструкции;
- Отсутствие движущихся захватно-ориентирующих органов;
- Постоянство скорости движения заготовок.

# Вибрационный бункер



<https://i.ytimg.com/vi/g3zEj9RRkvY/maxresdefault.jpg>

# Вибрационный бункер



# Транспортные устройства автоматических линий

## Транспортные устройства :

1) Для автоматических линий с жёсткой связью.

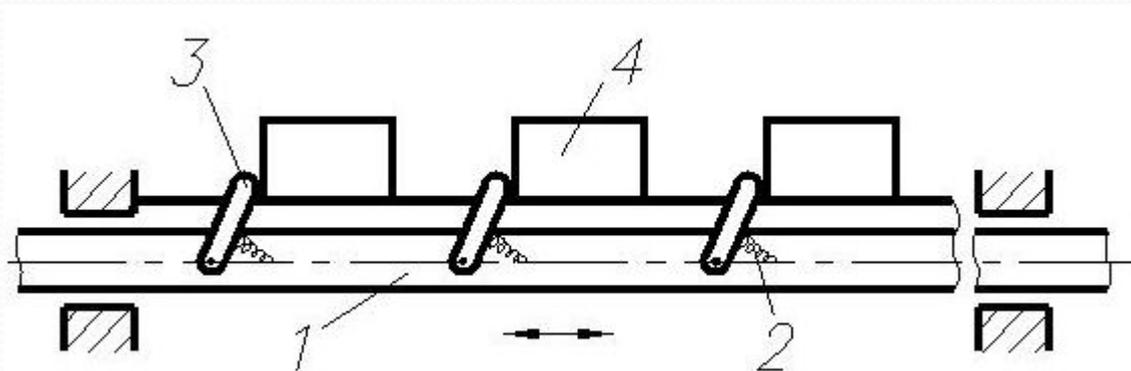
Шаговые транспортёры:

- с собачками;
- с флажками;
- грейферные;
- рейнерные;
- толкающие;
- цепные.

2) Для автоматических линий с гибкой связью:

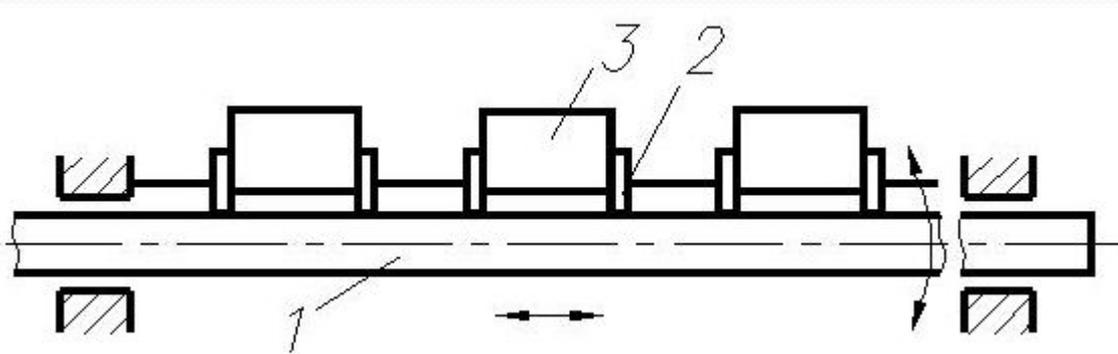
- подъёмники;
- транспортёры-распределители;
- устройства приёма и выдачи заготовок;
- лотки;
- отводящие транспортёры;
- межоперационные накопители.

## Шаговый транспортёр с собачками



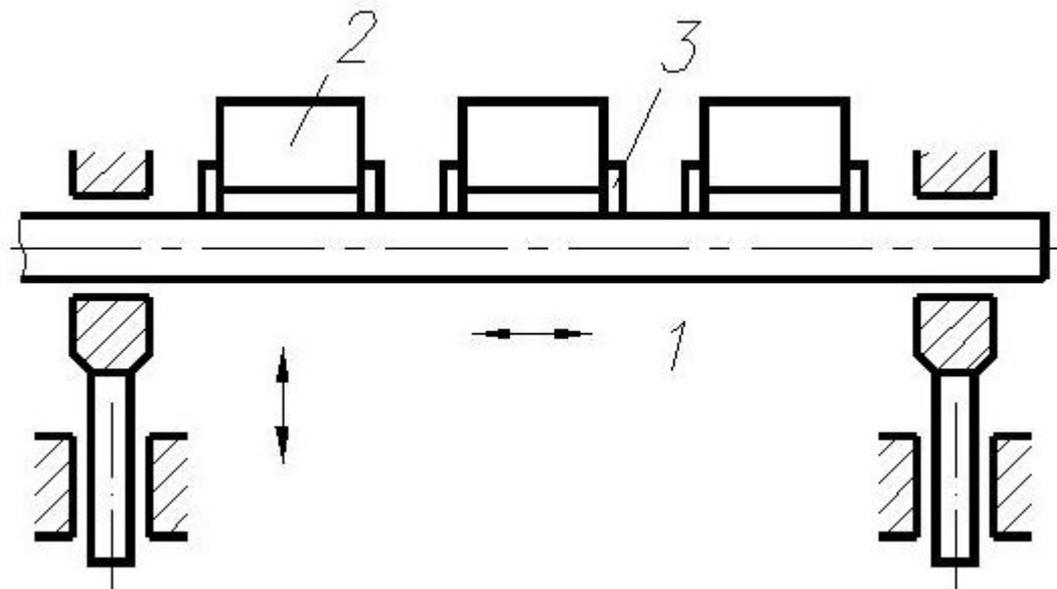
- 1 – штанга;
- 2 – пружина;
- 3 – собачка;
- 4 – деталь.

## Шаговый транспортёр с флажками



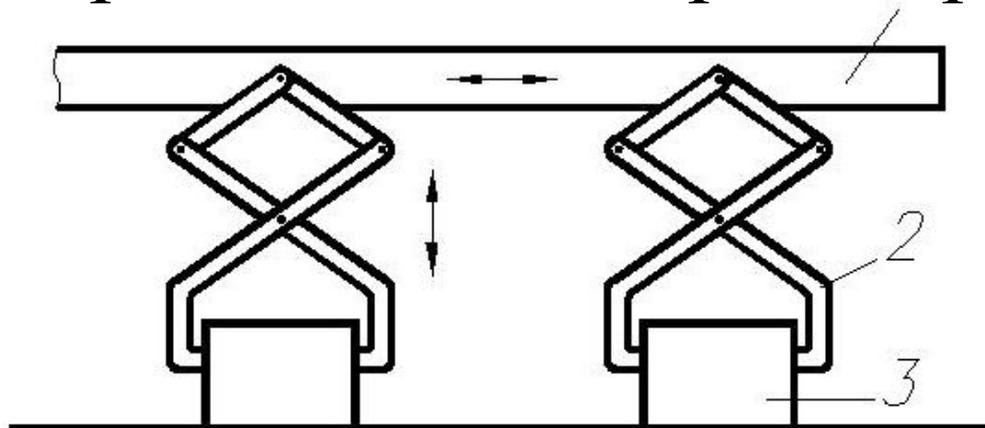
- 1 – штанга;
- 2 – флажок;
- 3 – деталь.

# Грейферный шаговый транспортёр



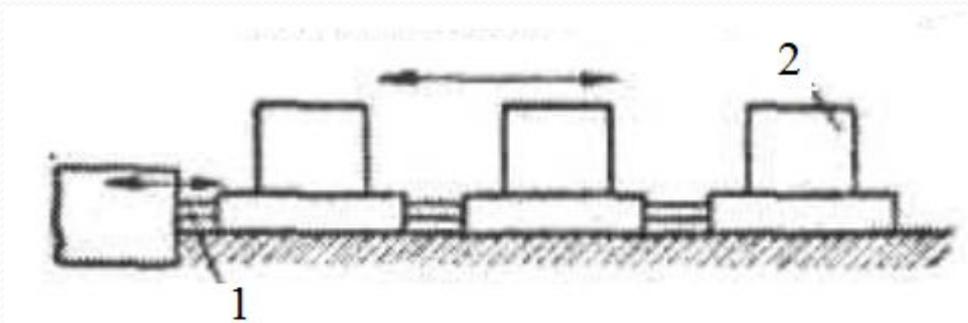
- 1 – штанга;
- 2 – деталь;
- 3 – флажок.

# Рейнерный шаговый транспортёр



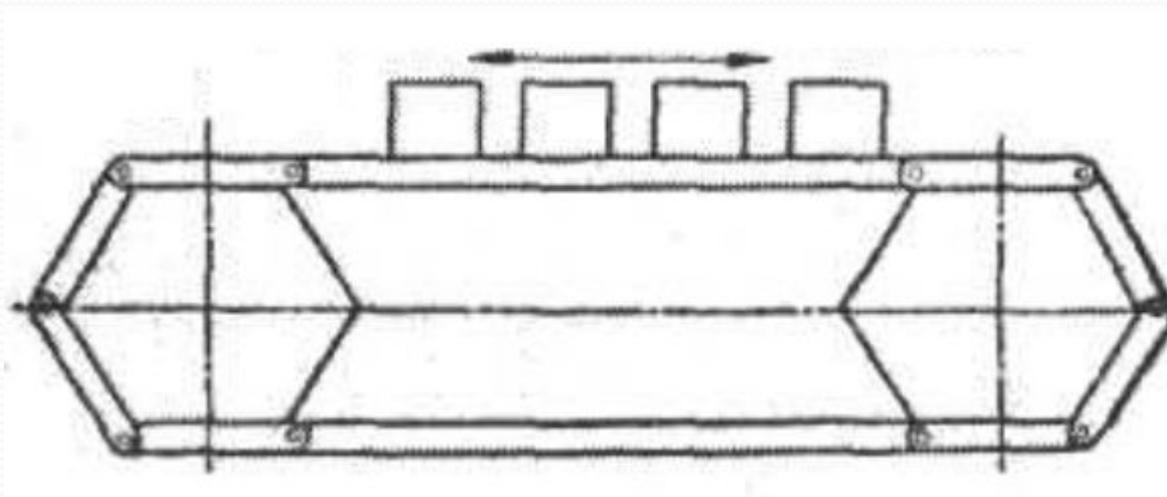
- 1 – штанга;
- 2 – захват;
- 3 – деталь.

# Толкающий шаговый транспортёр

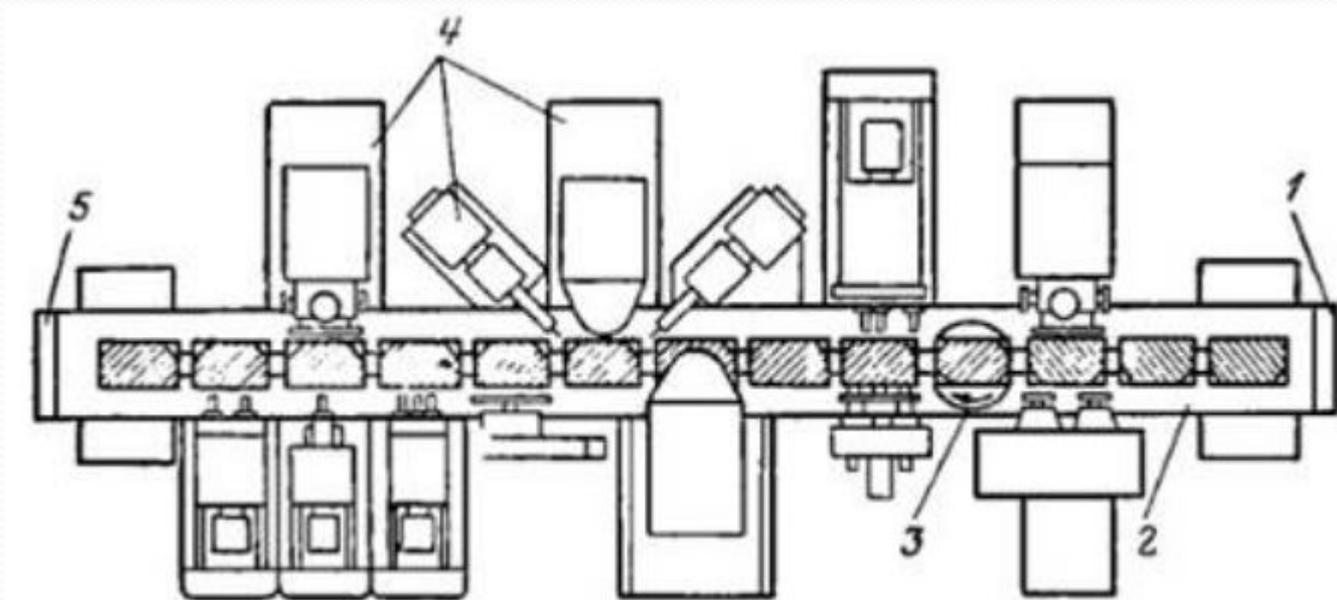


1 – гидроцилиндр;  
2 – деталь.

# Цепной транспортёр

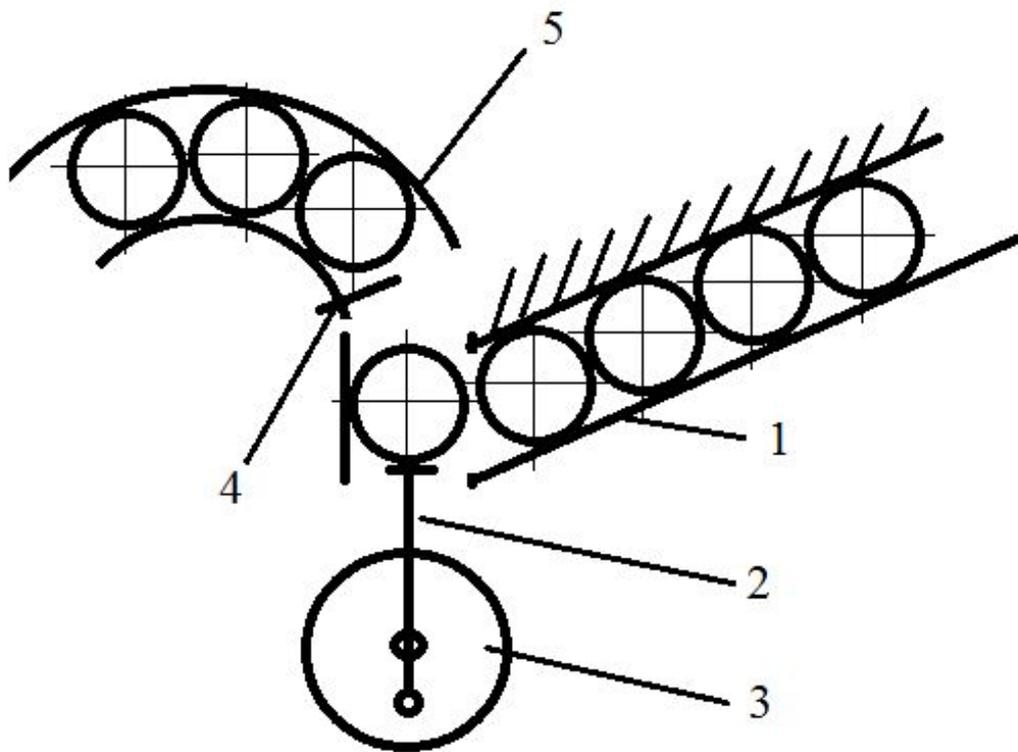


# Пример компоновки автоматической линии с жёсткой связью



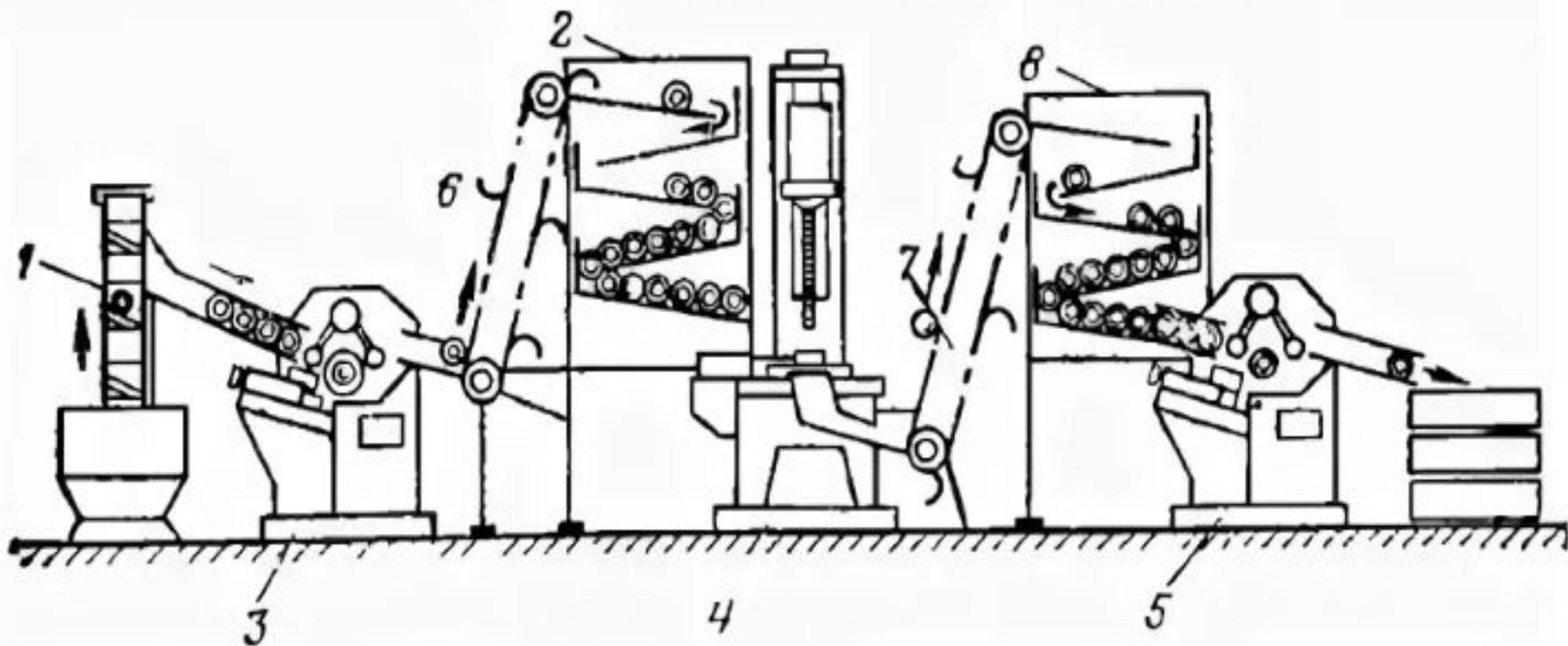
1 – загрузочная позиция; 2 – шаговый транспортёр;  
3 – поворотный стол; 4 – станки; 5 – разгрузочная позиция.

# Подъёмники



- 1 – подъёмный лоток;
- 2 – толкатель;
- 3 – кривошипно-шатунный м-зм;
- 4 – собачка;
- 5 – шахта.

# Пример компоновки автоматической линии с гибкой связью

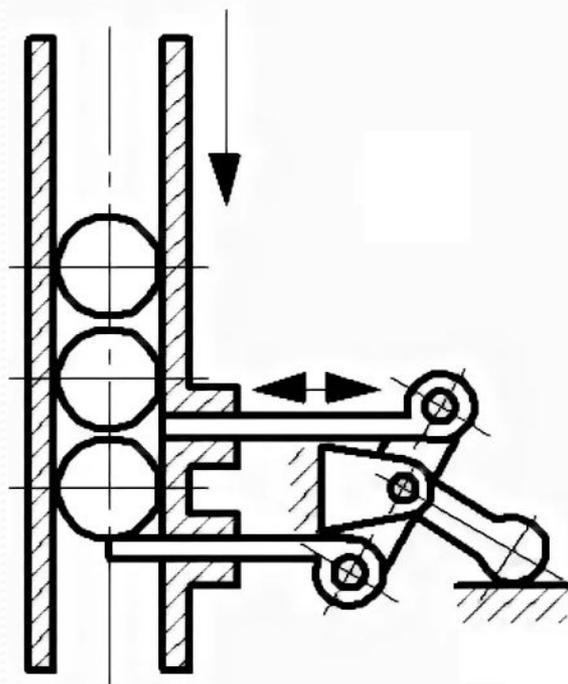


- 1 – элеватор;
- 2,8 – бункер-накопитель;
- 3,4,5 – станки;
- 6,7 – подъёмник.

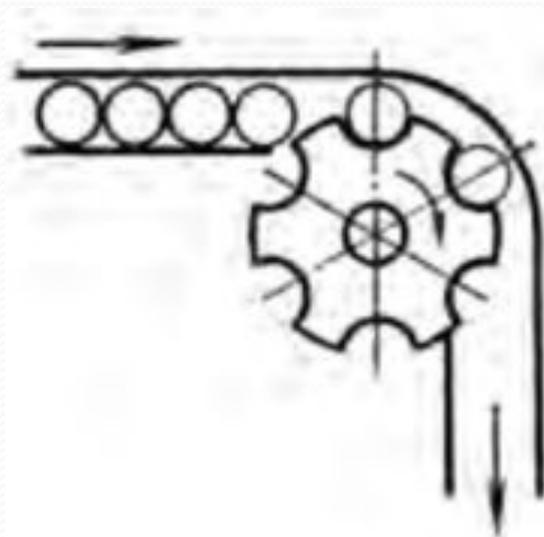
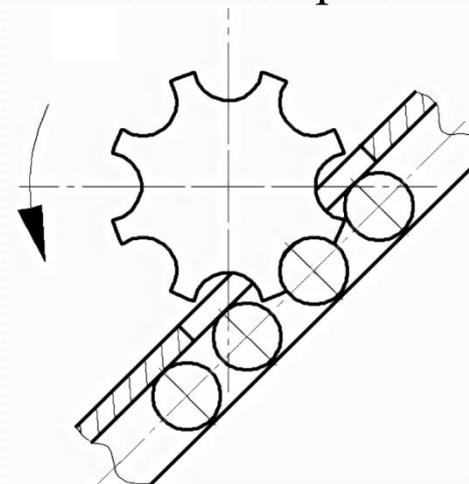
# Устройства приёма и выдачи заготовок

- Отсекатели
- Загрузжатели
- Разгрузжатели

Отсекатель штифтовый



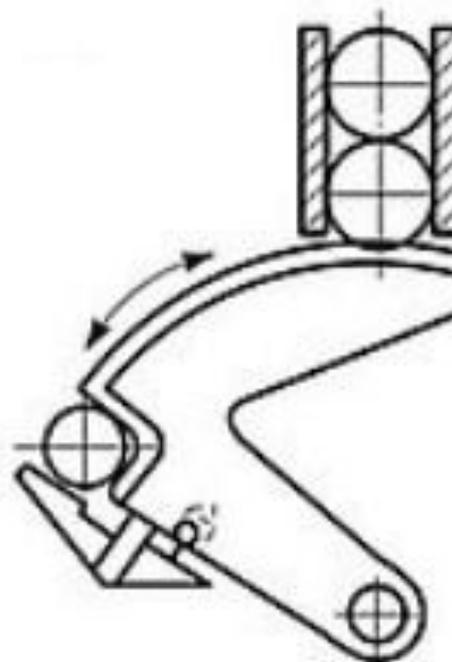
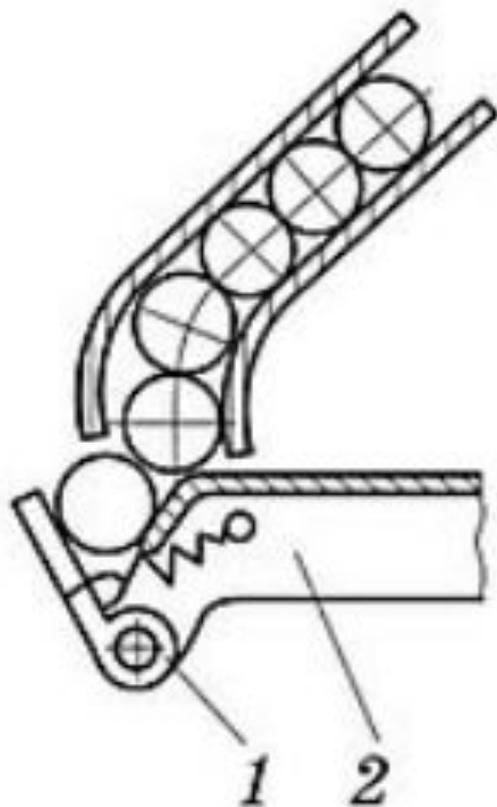
Отсекатель барабанный



# Загрузжатели

Шиберный

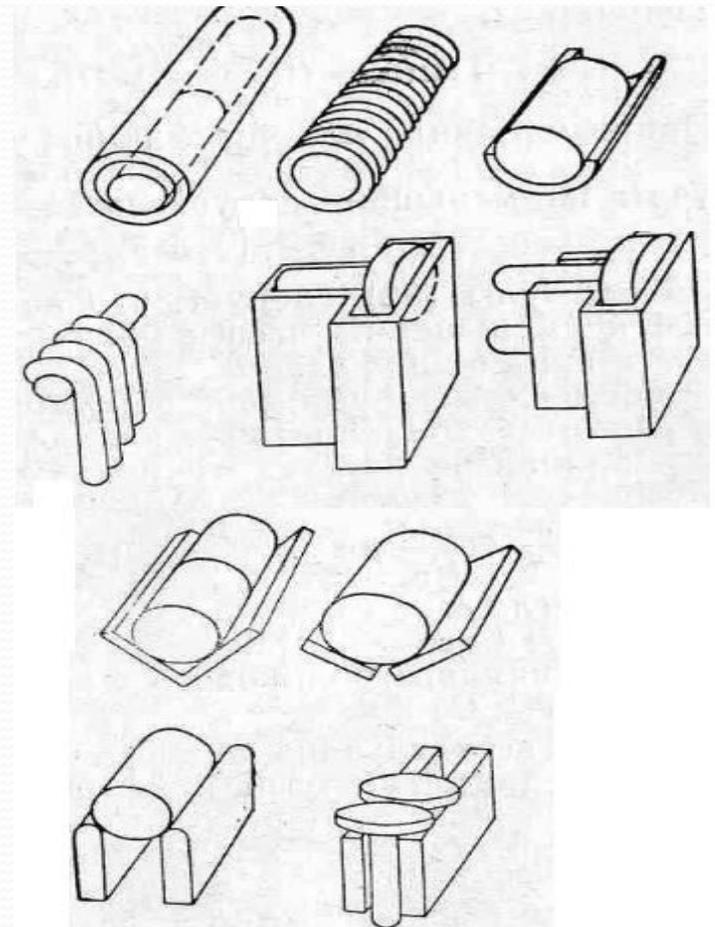
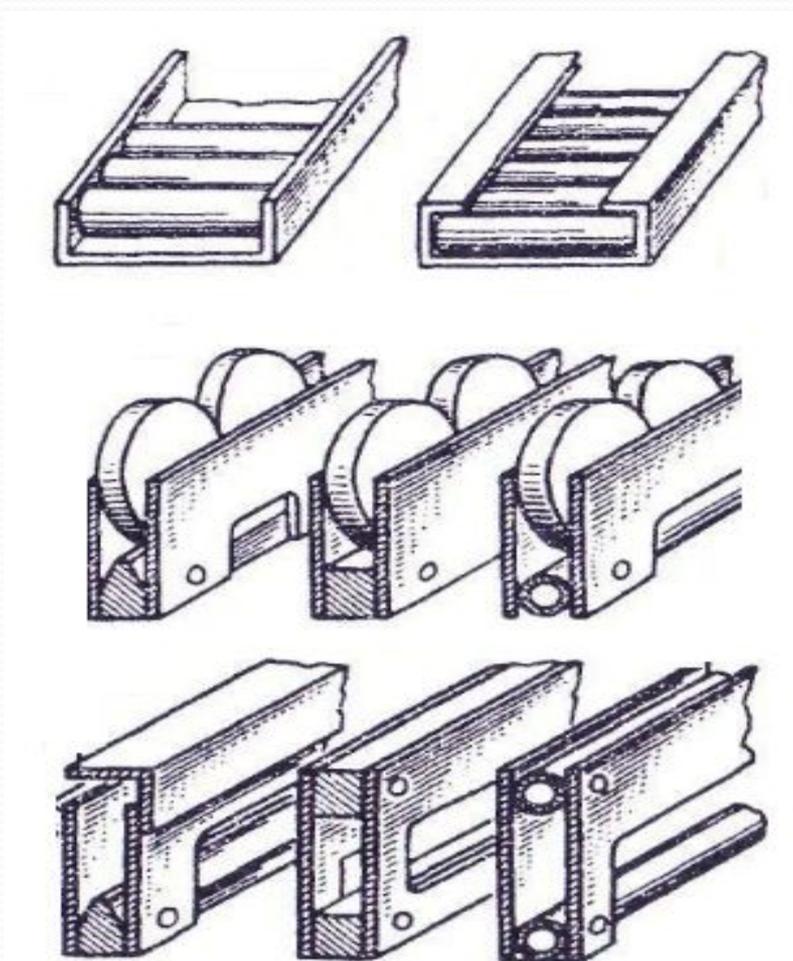
Мотылёвый



1 – планка;  
2 – шибер.

# Лотки

- Лотки скаты (качение заготовок)
- Лотки склизы (скольжение заготовок)



# Отводящие транспортёры

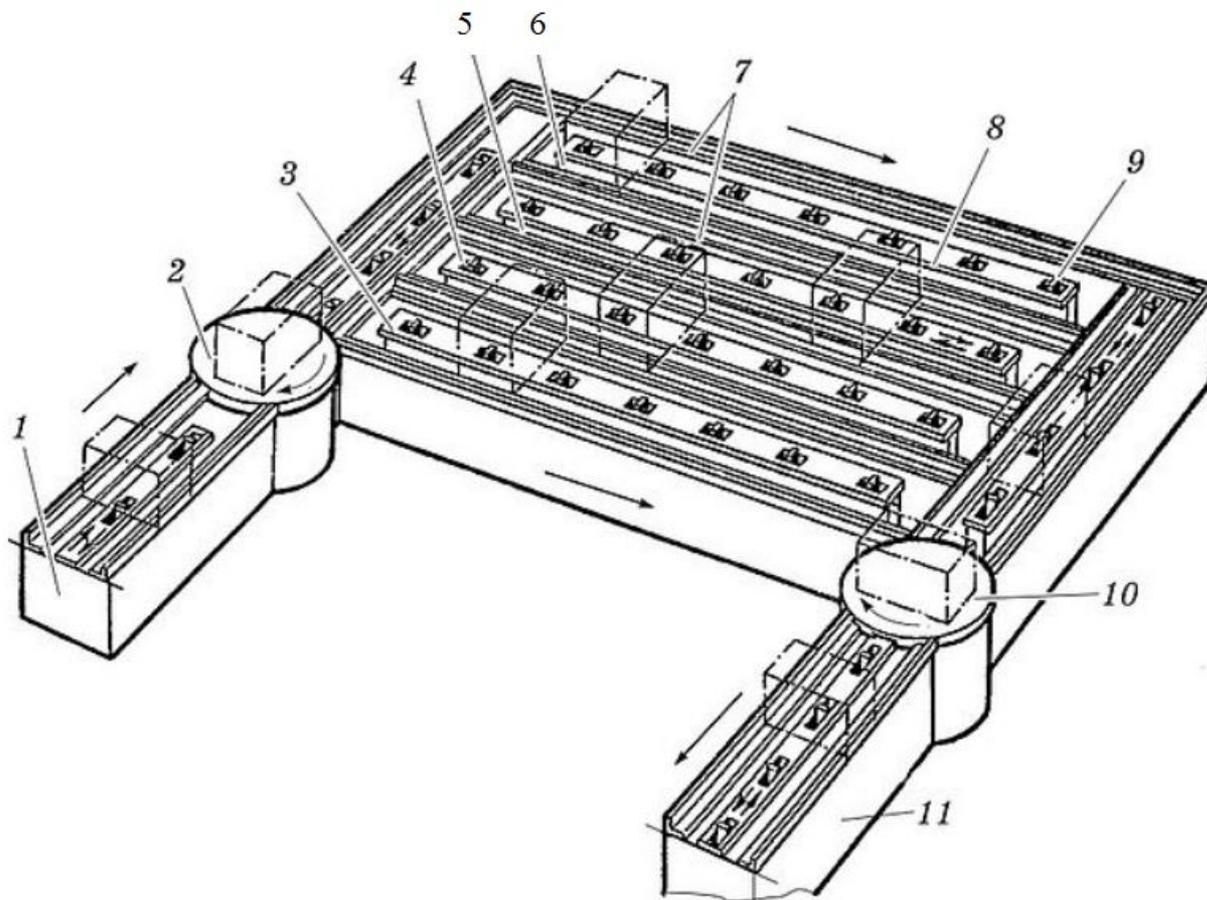
- Роликовые



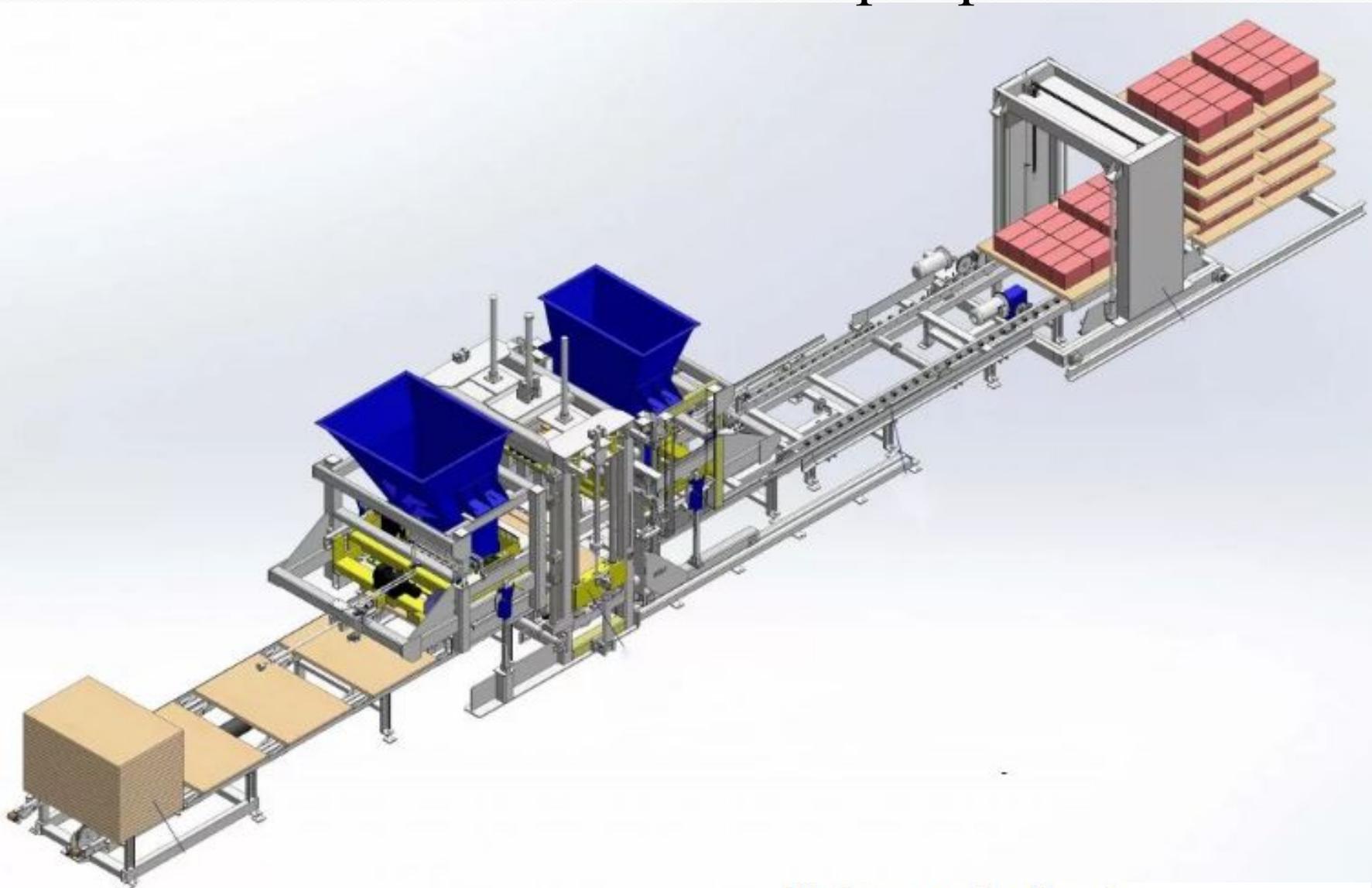
- Ленточные



# Автоматический магазин-накопитель корпусных деталей



# Автоматическая линия вибропрессования



# Транспортные устройства для удаления стружки

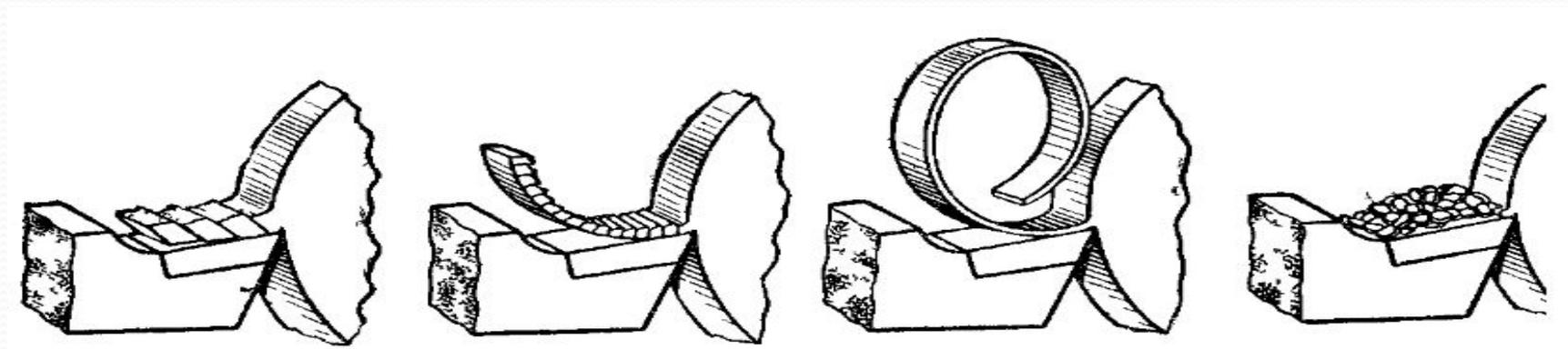
## Стружка:

элементная

ступенчатая

сливная

надлома



Различают устройства транспорта стружки:

- Механические
- Пневматические
- Гидравлические
- Магнитные

# Ленточный транспортёр

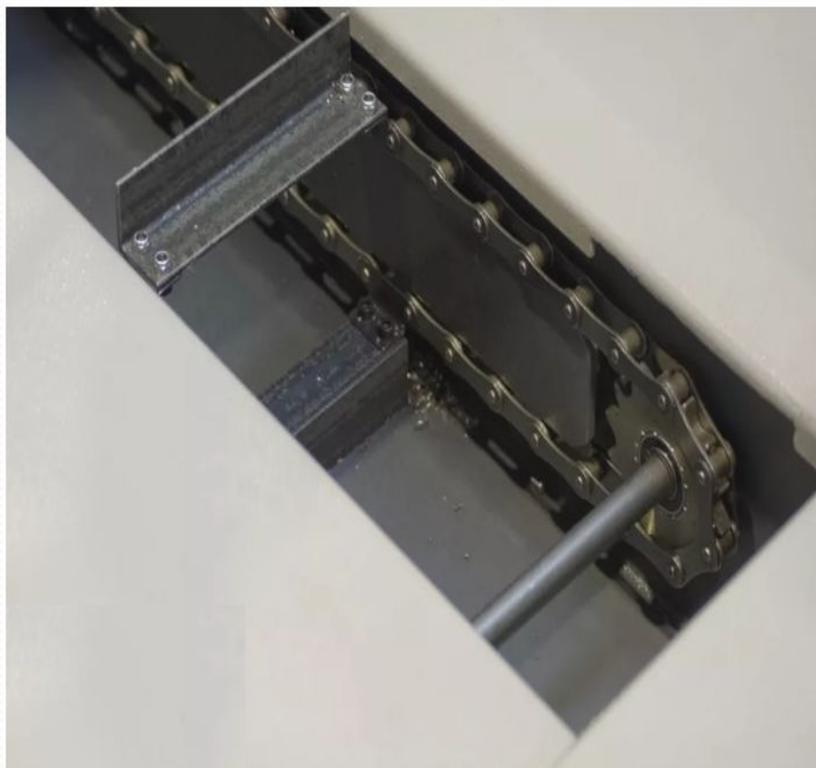


+ Простота,  
надёжность,  
экономичность.

– Быстрый износ  
ленты, часть стружки  
уносится холостой  
частью ленты.

# Скребковый конвейер

Применяется для удаления мелкой дроблёной элементной стружки



# Шнековый транспортёр



<https://deg.ru/media/ib/1200/b/b4c38b6b1027f439a098d0ae73093a75.jpg>

[https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/productivity/chip-coolant-management/\\_assets/ChipAndAuger.jpg/jcr:content/renditions/original.original/image.jpg](https://www.haascnc.com/content/dam/haascnc/productivity/chip-coolant-management/_assets/ChipAndAuger.jpg/jcr:content/renditions/original.original/image.jpg)

# Пылеулавливающий агрегат (для удаления древесной стружки)



# Системы управления процессами механической обработки

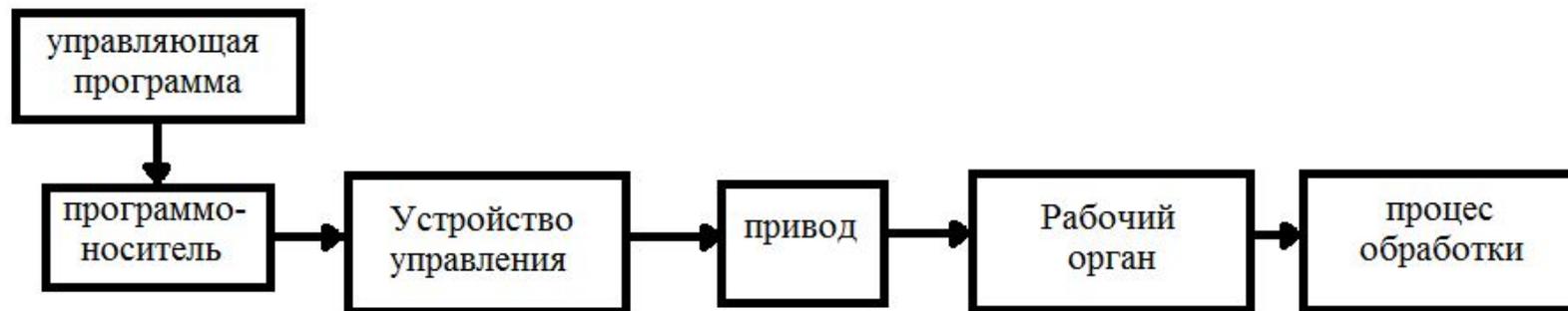
## Алгоритмы управления:

- Алгоритмы управления состоянием
- Алгоритмы смены состояния объекта
- Алгоритмы динамической оптимизации объекта

## Системы управления:

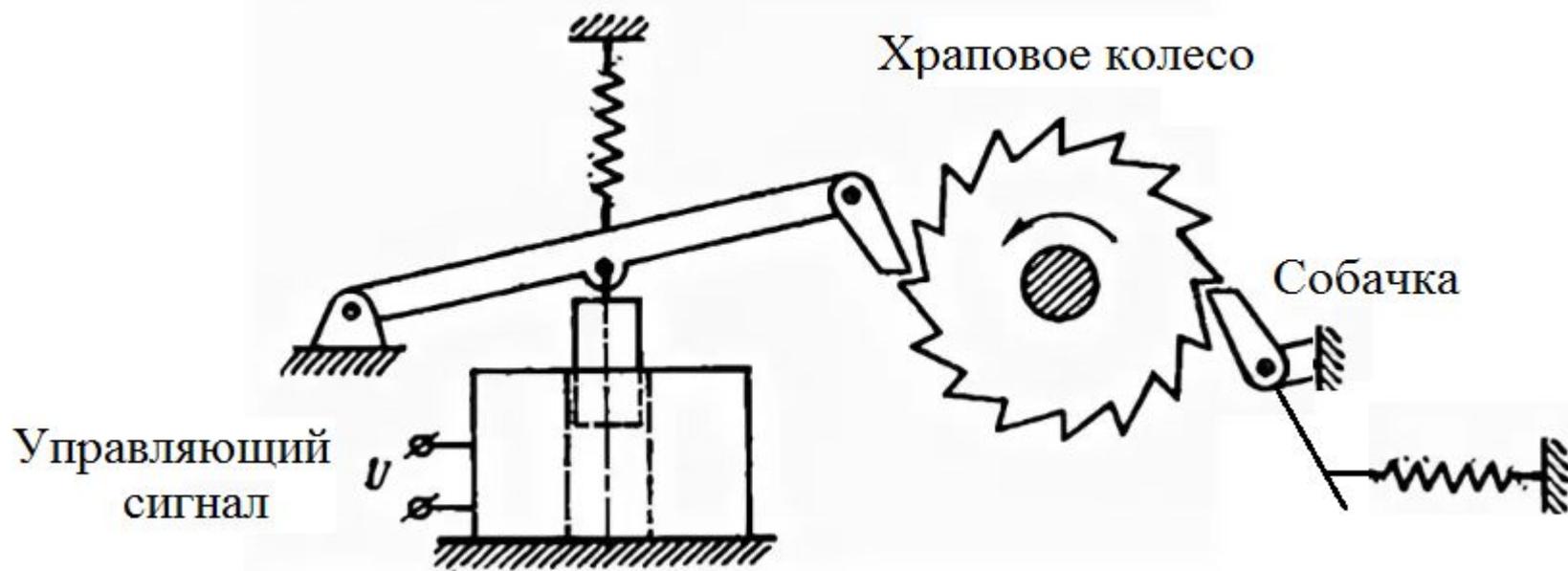
- Аналоговые
  - разомкнутые
  - цикловые системы управления замкнутого типа
  - копировальные СУ со следящим приводом замкнутого типа
- Дискретные (ЧПУ)

# Системы управления разомкнутого типа



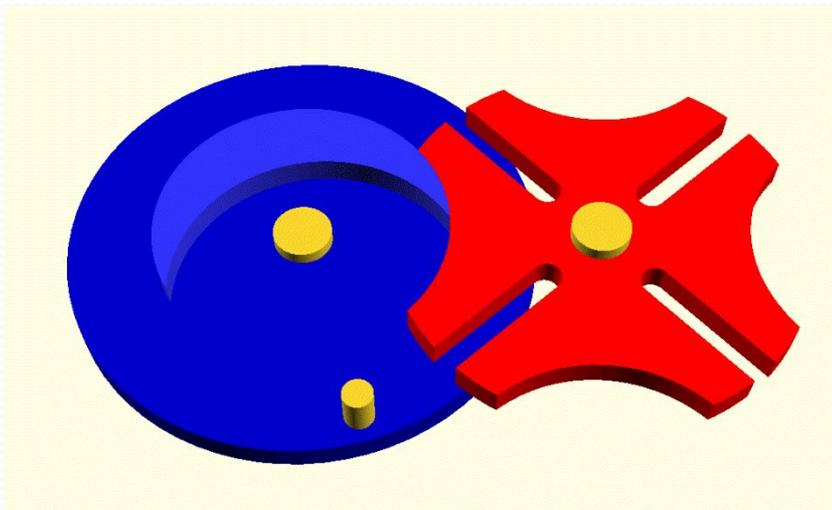
- Приводы дозированного перемещения
  - Храповое колесо/шаговый двигатель
  - Мальтийский крест
- Приводы кулачкового типа
  - Плоские
  - Объёмные

# Храповое колесо





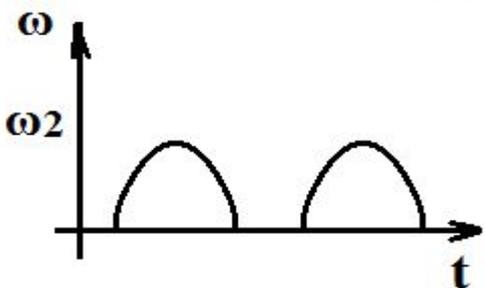
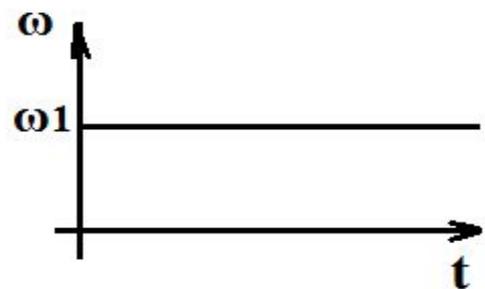
# Мальтийский крест



Крест

Паз

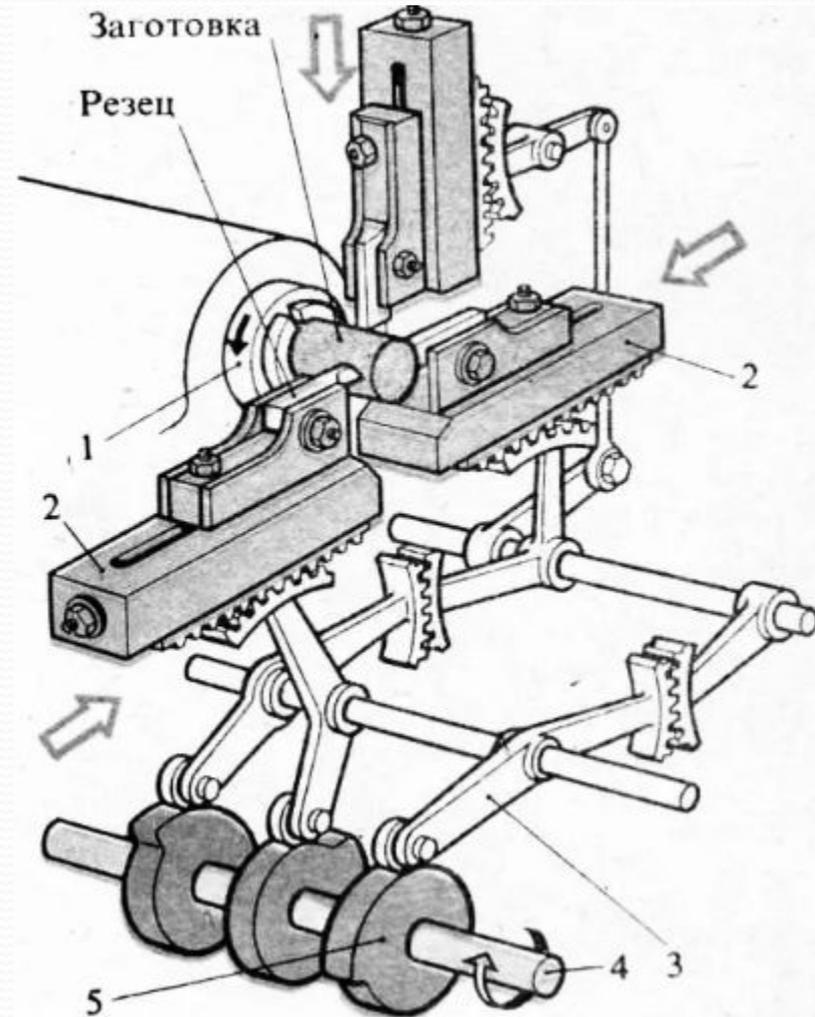
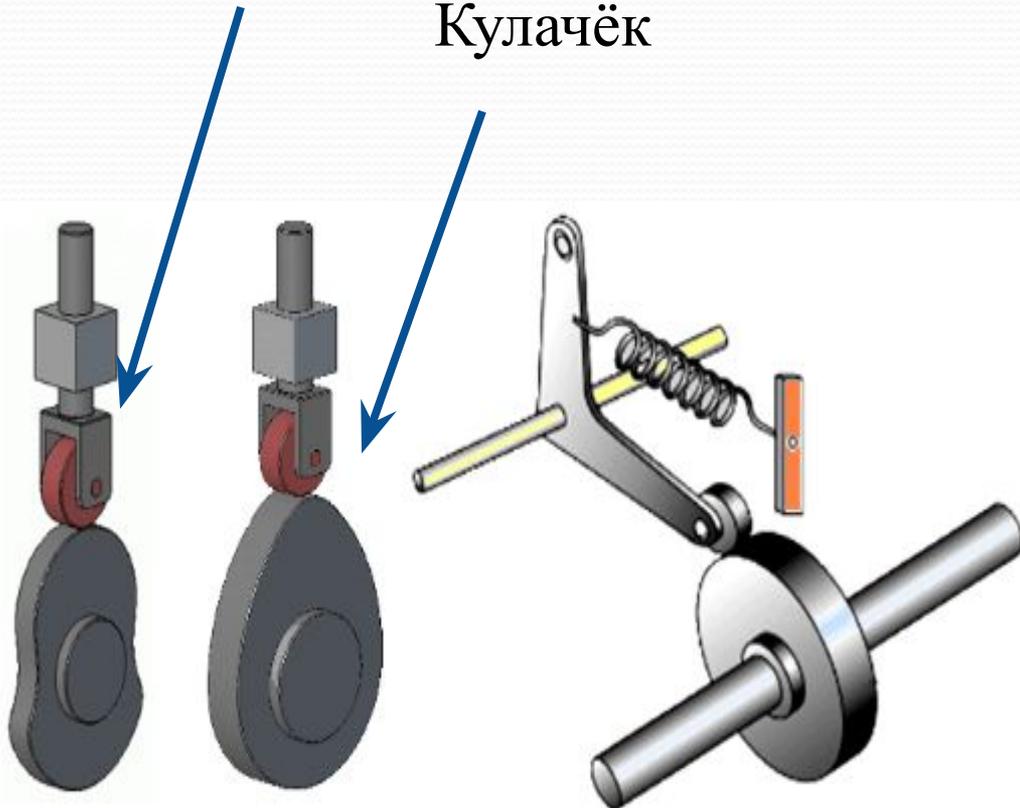
Цевка



# Кулачки

Толкатель

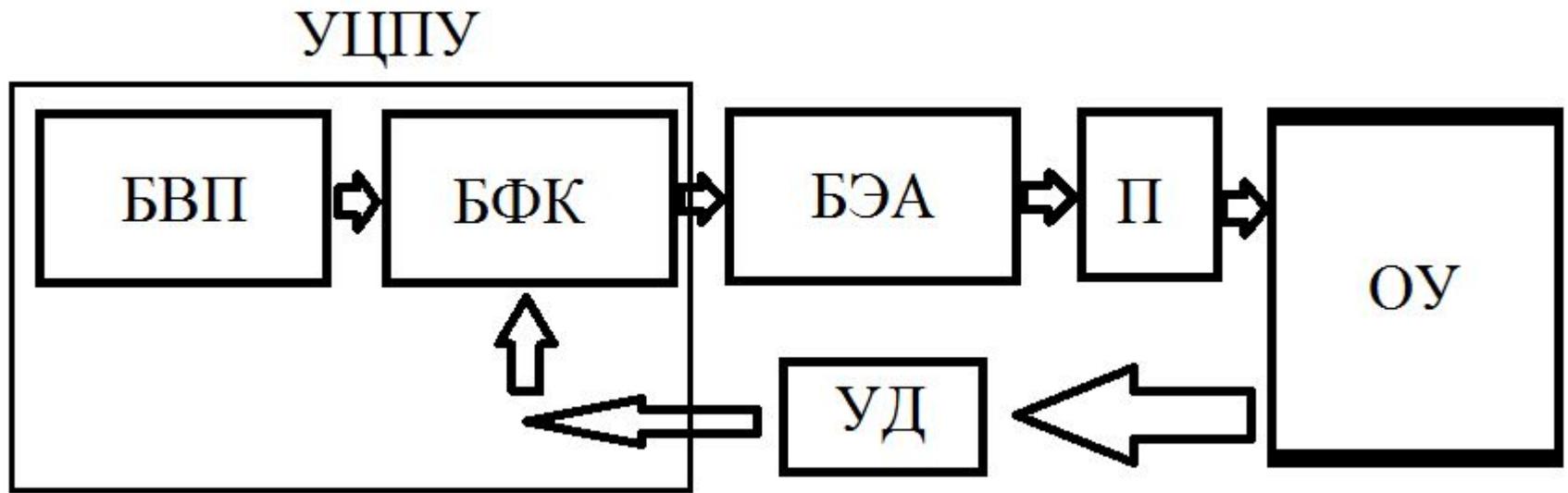
Кулачѐк



# Цикловые системы управления

- Программируется полностью или частично цикл работы станка, режимы обработки и смены инструмента, а величины перемещений рабочих органов задаются с помощью предварительно настроенных упоров, концевых выключателей.
- Цикл работы станка – совокупность всех движений (этапов цикла) выполняемых в определённой последовательности, необходимых для обработки заготовок.
- Программа работает на пульте станка (со штекерными панелями) или программируемом контроллере и на самом станке.
- Программу можно представить графически в виде циклограммы работы станка.

# Блок-схема ЦПУ



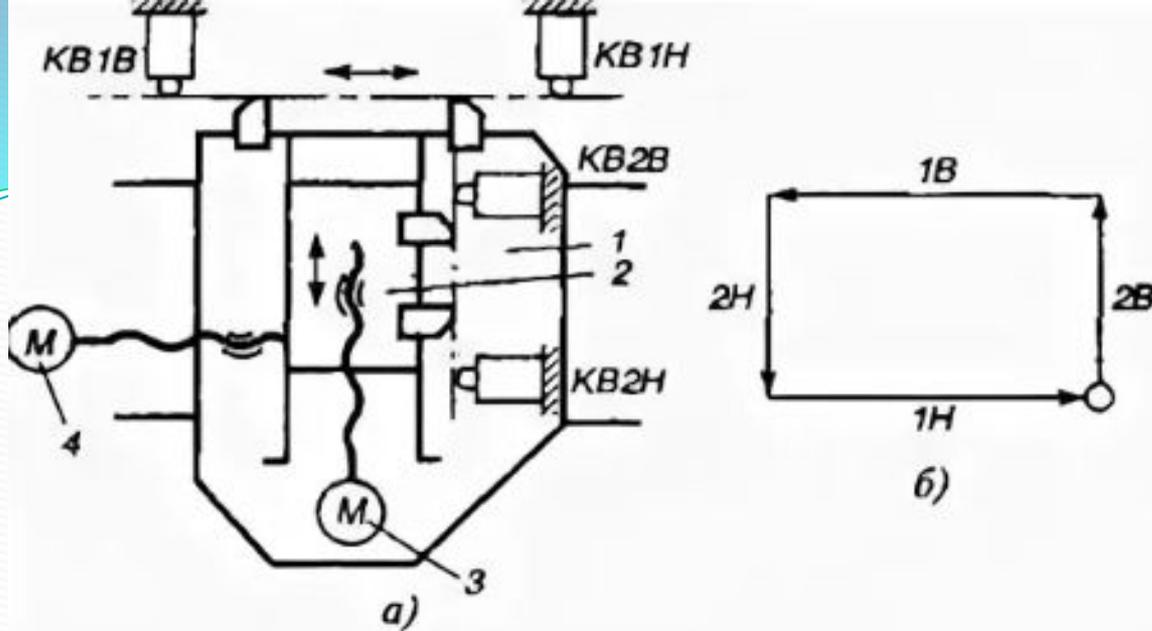
БВП – блок ввода программ;

БФК – блок формирования команд;

БЭА – блок электроавтоматики;

П – привод;

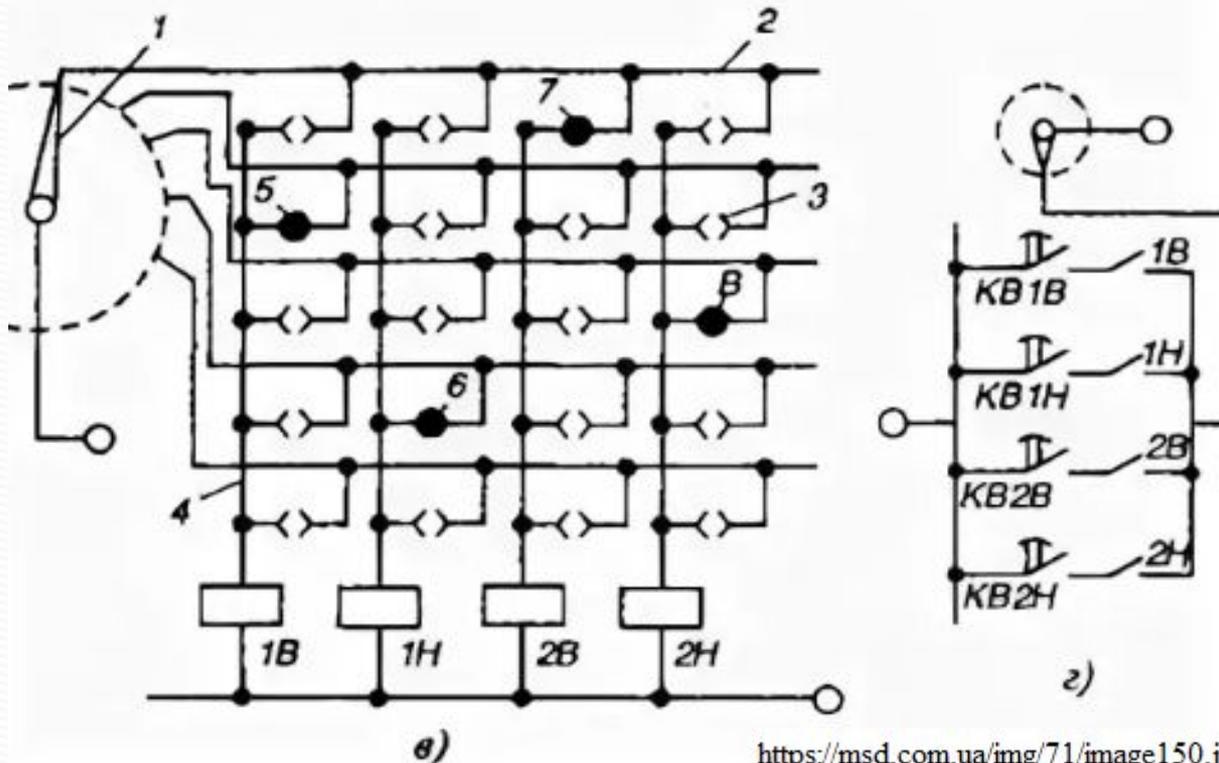
УД – узел датчиков.



а) кинематическая  
схема

б) обрабатываемый  
цикл

в, г) электрическая  
схема

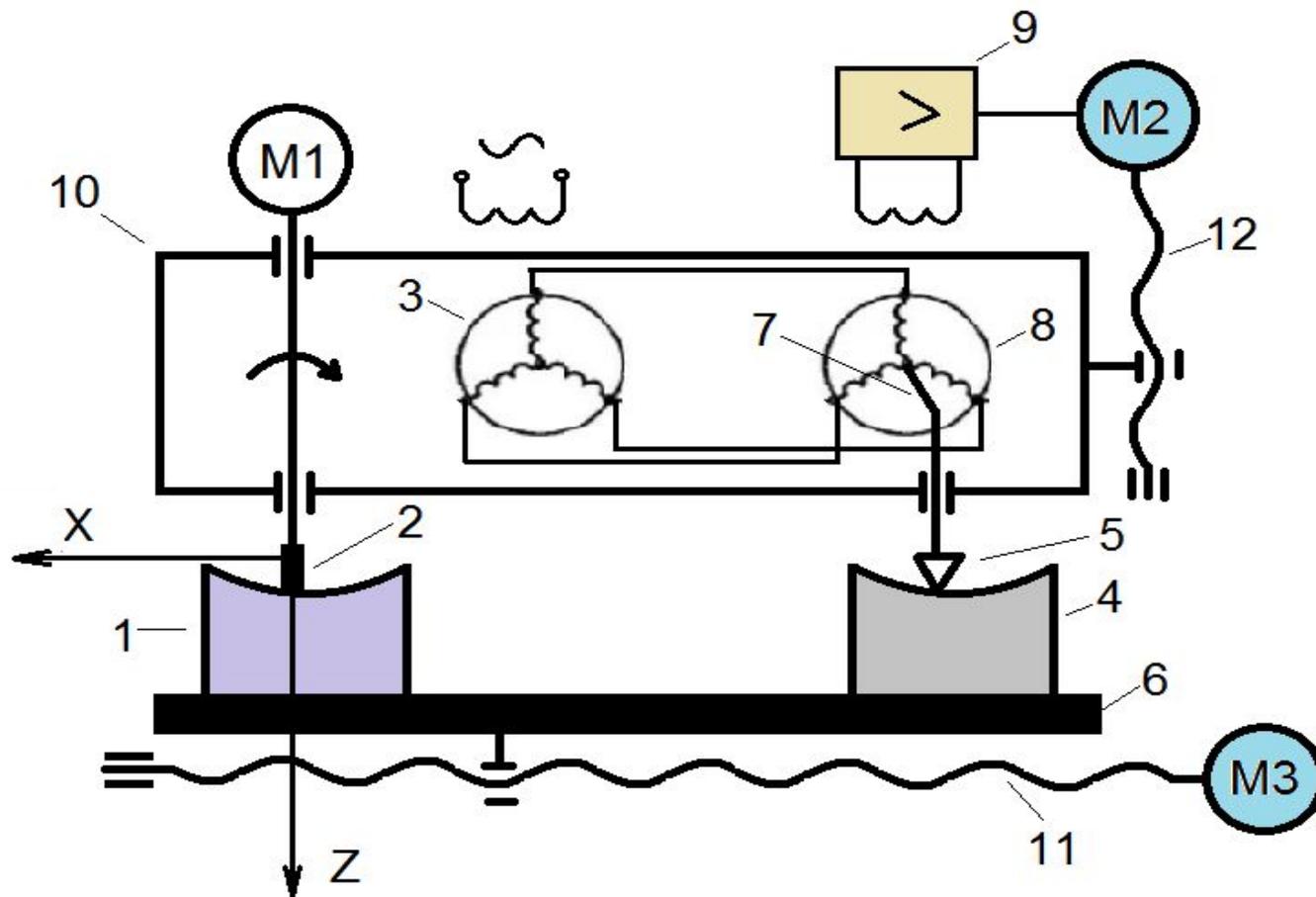


1 – шаговый искатель  
2, 4 – штекерная  
панель с шинами  
3 – гнезда  
5,6,7,8 – штекеры

# Копировальные системы управления

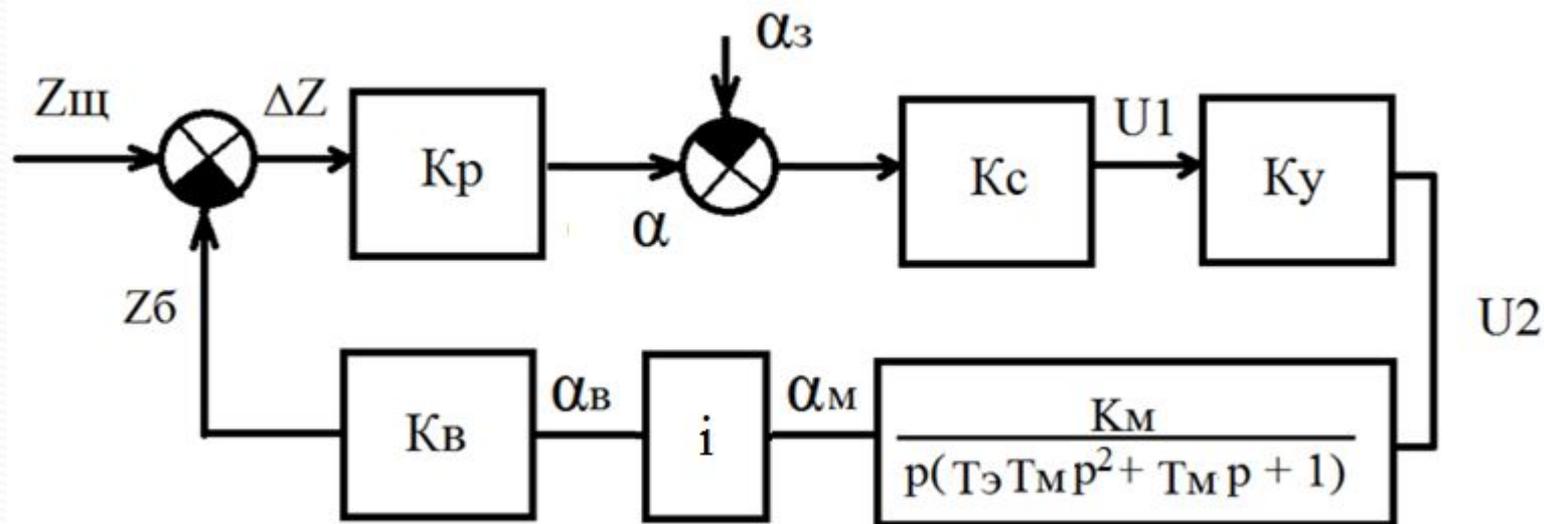
- Замкнутые системы управления, регулируемой величиной в которых является линейное/угловое перемещение инструмента, либо скорость перемещения, а входная величина-задание изменяется во времени по произвольному закону по программе - шаблону.
- Погрешность слежения не должна превышать допуск
- Виды станков по виду измерительного устройства и привода:
  - \* электрические измерительные устройства + электрические приводы
  - \* электрогидравлические измерительные устройства + электропривод/гидравлика
  - \* фотоэлектрические измерительные устройства – электропривод
  - \* гидравлические измерительные устройства – привод гидравлический
  - \* пневмогидравлические измерительные устройства – пневмо/гидропривод
  - \* пневмоэлектрические измерительные устройства – пневмопривод/электропривод

# Схема электрокопировального фрезерного станка



1 – заготовка, 2 – фреза, 3 – задающий сельсин, 4 – шаблон, 5 – щуп,  
6 – стол станка, 7 – рычаг сельсина, 8 – сельсин датчик, 9 – усилитель мощности,  
10 фрезерная бабка , 11- винт продольной подачи, 12 – винт вертикальной подачи

# Структурная схема следящей системы



$K_p$  - коэффициент преобразования перемещения шупа в угол поворота сельсина;

$$K_p = \frac{1}{L}, \quad L - \text{длина рычага}$$

$K_c$  - коэффициент преобразования сельсина;

$K_u$  - коэффициент усиления;

$K_m$  - коэффициент преобразования двигателя;

$K_v$  - коэффициент преобразования передачи винта;

$$K_v = \frac{t}{2\pi} - \text{коэффициент передачи винта (угол в линейное перемещение)}$$

$t$  - шаг винта, мм

$T_m$  - механическая постоянная двигателя;  
 $T_\varepsilon$  - электрическая постоянная двигателя;  
 $i$  - передаточное число редуктора;  
 $\alpha, \alpha_3, \alpha_в$  - углы поворота сельсина, реверсивного двигателя;  
 $U_1$  - выходной сигнал сельсина датчика;  
 $U_2$  - выходной сигнал усилителя;  
 $Z_{щ}$  - вертикальное перемещение щупа;  
 $Z_б$  - вертикальное перемещение фрезерной бабки.

Необходимо обеспечить требуемую точность отработки  $\Delta Z$

$$\Delta Z(p) = Z_{щ}(p) \frac{1}{1 + W_{pc}(p)}$$

$$W_{pc}(p) = \frac{K_v}{p(T_\varepsilon T_m p^2 + T_m p + 1)}$$

$K_v = K_p K_c K_u K_m i K_v$  - коэффициент добротности по скорости

При нулевых н.у. профиль изменяется ступенчато на  $\Delta Z_0$   
( реакция системы на единичный ступенчатый сигнал )

$$\Delta Z(t)_{\text{ш}} = \Delta Z_0 \cdot 1(t) \doteq \Delta Z_0 \frac{1}{p}$$

$$\Delta Z_{\text{ш}}(p) = \frac{\Delta Z_0}{p}$$

По теореме о конечном значении

$$\Delta Z(t)_{\text{уст.}} = \lim_{p \rightarrow 0} (p \cdot \Delta Z(p))$$

$$\Delta Z(p) = \Delta Z_{\text{ш}}(p) \frac{1}{1 + W_{\text{pc}}(P)} = \frac{\Delta Z_0 p (T_3 T_M p^2 + T_M p + 1)}{p (K_v + p (T_3 T_M p^2 + T_M p + 1))}$$

$$\Delta Z(t)_{\text{уст.}} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{p \Delta Z_0 p (T_3 T_M p^2 + T_M p + 1)}{p (K_v + p (T_3 T_M p^2 + T_M p + 1))} = 0$$

При нулевых н.у. профиль шаблона начинает изменяться линейно

$$\Delta Z(t)_{\text{ш}} = V t = \frac{dZ_{\text{ш}}}{dt} t = \frac{dZ_{\text{ш}}}{dt} \frac{dx}{dx} t = K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{п}} \cdot t$$

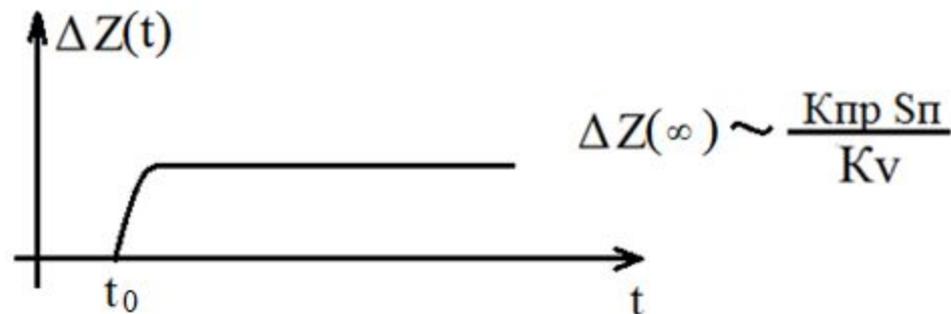
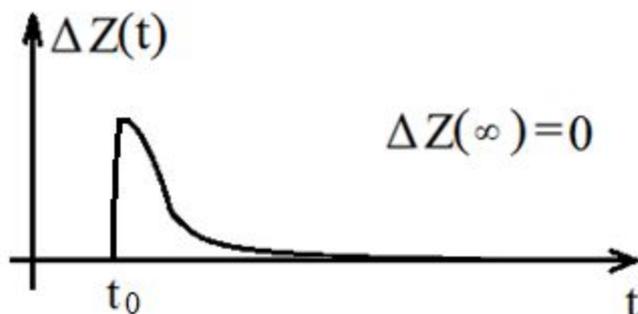
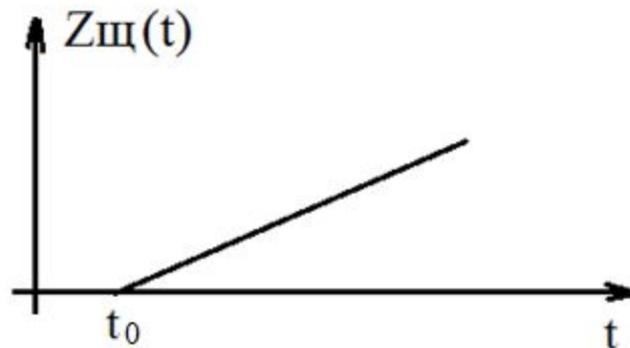
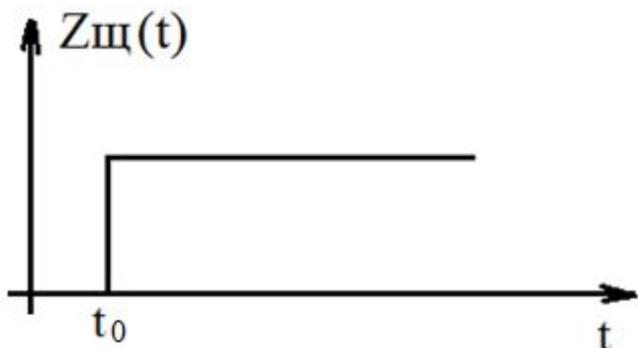
$$\Delta Z(t)_{\text{ш}} = K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{п}} \cdot t \cdot 1(t) \doteq \frac{K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{п}}}{p^2}$$

$$\Delta Z_{\text{ш}}(p) = \frac{K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{п}}}{p^2}$$

$$\Delta Z(p) = \Delta Z_{\text{ш}}(p) \frac{1}{1 + W_{\text{рс}}(P)} = \frac{K_{\text{пр}} \cdot S_{\text{п}} p (T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1)}{p^2 (K_{\text{в}} + p (T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1))}$$

$$\Delta Z(t)_{\text{уст.}} = \lim_{p \rightarrow 0} \frac{p K_{\text{пр}} S_{\text{п}} p (T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1)}{p^2 (K_{\text{в}} + p (T_{\text{э}} T_{\text{м}} p^2 + T_{\text{м}} p + 1))} = \frac{K_{\text{пр}} S_{\text{п}}}{K_{\text{в}}}$$

# Графики переходных процессов



## Результирующая подача S

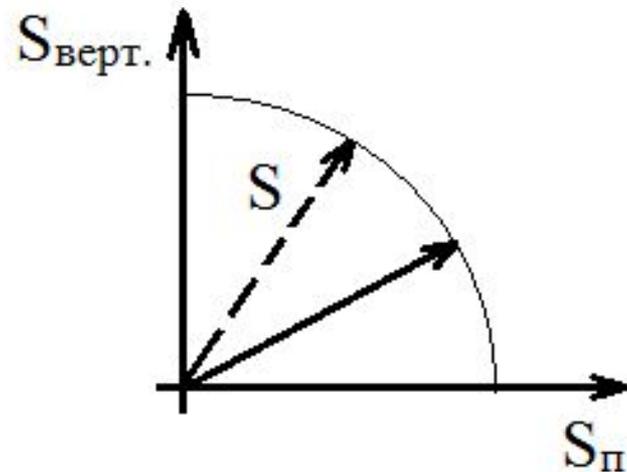
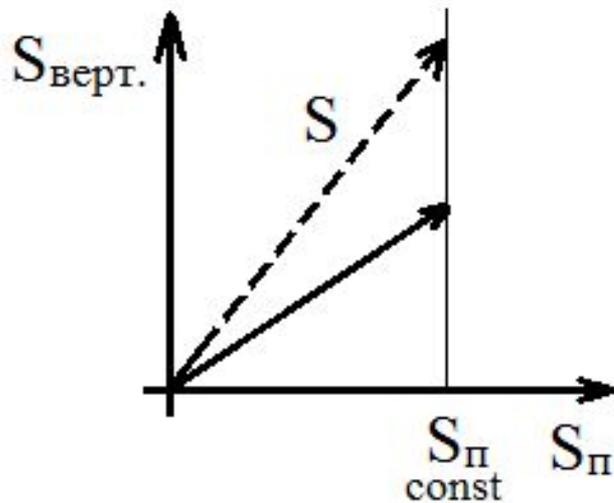
$$S = \sqrt{S_{\Pi}^2 + S_{\text{верт.}}^2}$$

Результирующая подача S будет не постоянной, т.к. S<sub>верт.</sub> переменна при  $S_{\Pi} = \text{const}$ .

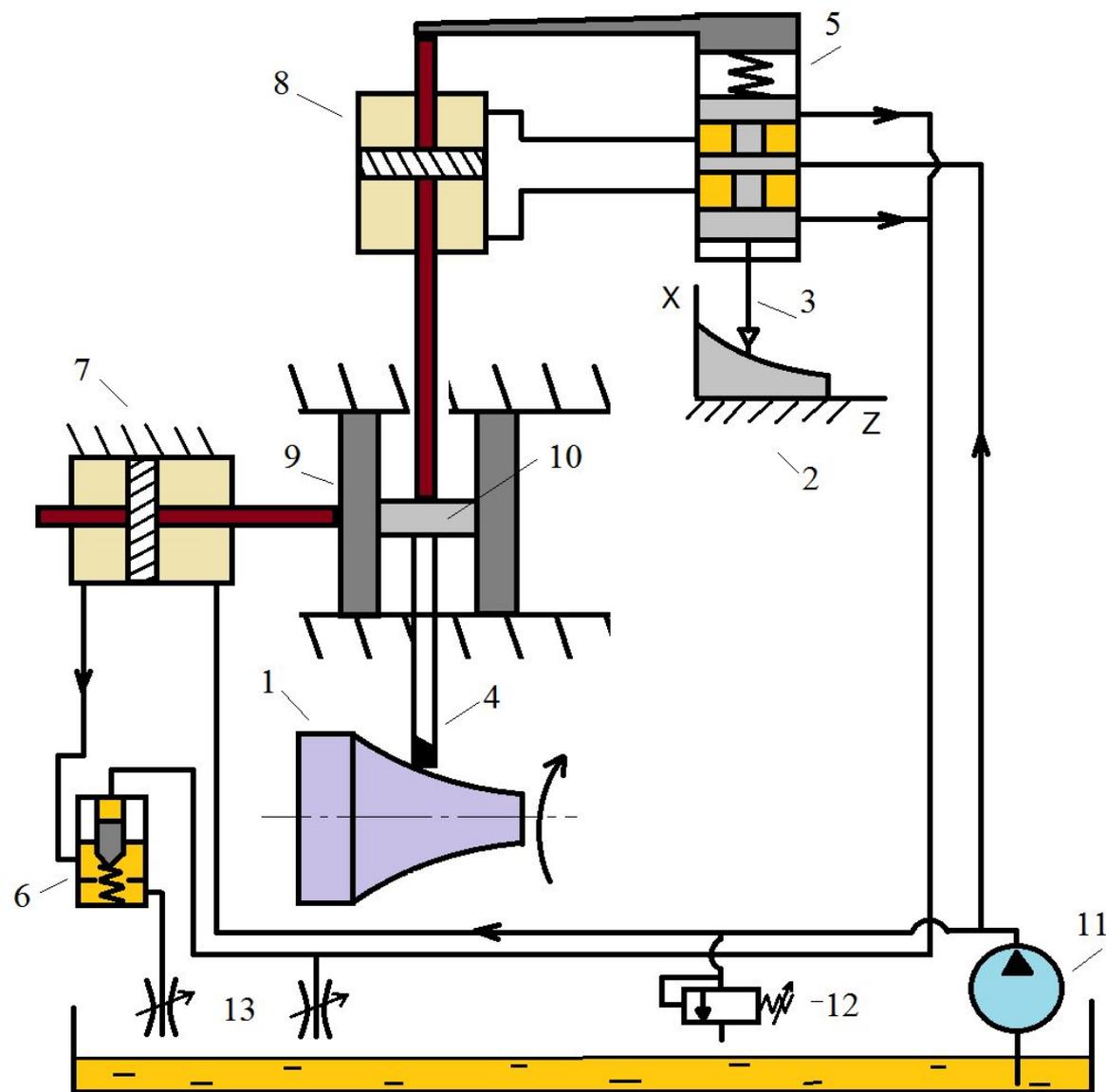
→ Качество обработки будет неравномерным.

Для равномерной обработки  $S = \text{const}$ ,

а значит необходима коррекция  $S_{\Pi}$  в зависимости от S<sub>верт.</sub>



# Схема гидрокопировального станка



- 1 – заготовка, 2 – шаблон,
- 3 – щуп, 4 – резец,
- 5 – следящий гидрозолотник с щупом,
- 6 – регулятор,
- 7 – гидроцилиндр продольной подачи,
- 8 – гидроцилиндр поперечной подачи,
- 9 – продольный суппорт,
- 10 – поперечный суппорт,
- 11 – гидронасос,
- 12 – переливной клапан,
- 13 – регулирующие дроссели

# Моделирование гидроконтролируемой следящей системы

## 1. Уравнение золотника

$$X_z = X_{ш} - X_{поп}$$

$X_z$  - перемещение золотника,

$X_{ш}$  - ордината профиля шаблона, считываемая шупом

$X_{поп}$  - перемещение суппорта поперечной подачи

## 2. Уравнение привода поперечной подачи

$$S_{поп} = K_{поп} \cdot X_z$$

$S_{поп}$  - поперечная подача, мм/мин

$$S_{поп} = S^*_{поп} \cdot n$$

мм/об    об/мин

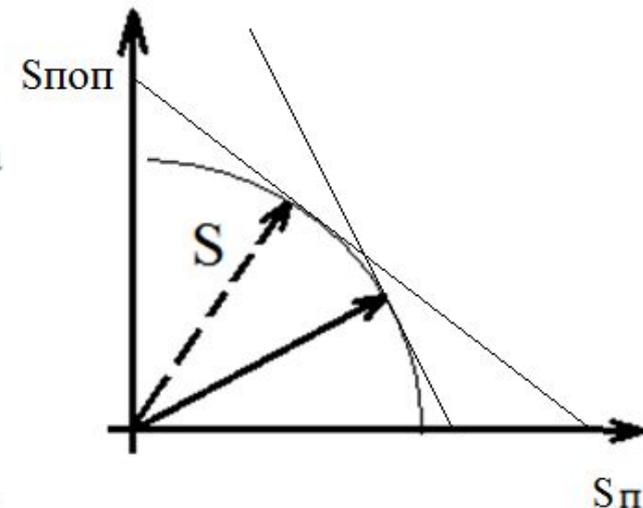
$K_{поп}$  - коэффициент, зависящий от конструктива привода

## 3. Уравнение привода продольной подачи

$$S_{п} = S_{п_0} - K_{п} \cdot S_{поп}$$

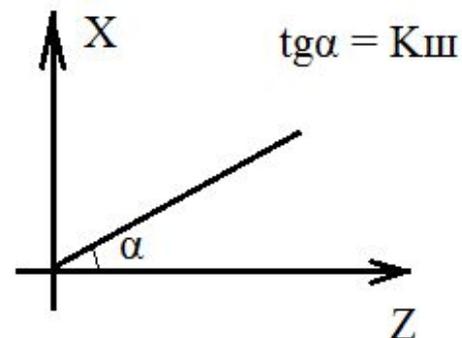
$S_{п_0}$  - начальная скорость продольной подачи мм/мин,

$K_{п}$  - коэффициент, зависящий от конструктива привода



4. Уравнение связи скорости изменения ординаты профиля шаблона с его крутизной и продольной подачей

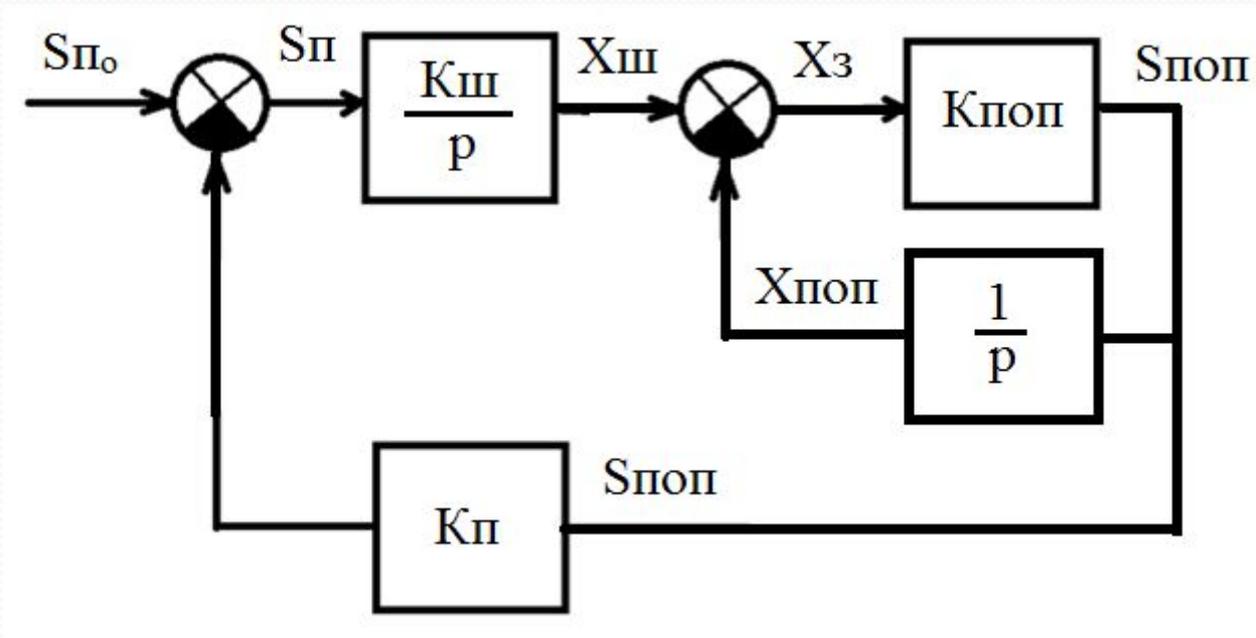
$$\frac{dX_{\text{ш}}}{dt} = \frac{dX_{\text{ш}} \cdot dz}{dz \cdot dt}$$



$\frac{dX_{\text{ш}}}{dz} = K_{\text{ш}}$  - крутизна профиля шаблона,  $\frac{dz}{dt}$  - продольная подача,

$$X_{\text{ш}} = \int_0^t K_{\text{ш}} \cdot S_{\text{п}} dt$$

# Структурная схема гидрокопировальной следящей системы



Необходимо обеспечить требуемую точность отработки  $X_3$

$$X_3(p) = S_{п0}(p) \cdot W_{зс}(p)$$

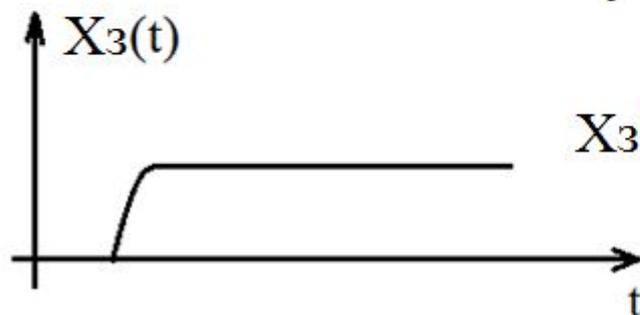
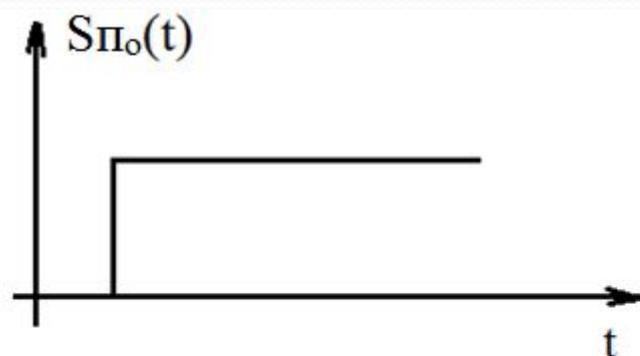
$$X_3(p) = S_{п0}(p) \cdot \frac{\frac{K_{ш}}{p}}{1 + \frac{K_{поп}}{p} + \frac{K_{ш} \cdot K_{поп} \cdot K_{п}}{p}}$$

$$X_3(p) = S_{\Pi_0}(p) \cdot \frac{K_{\text{ш}} \cdot p}{p \cdot (p + K_{\text{поп}} + K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{поп}} \cdot K_{\text{п}})} = \frac{S_{\Pi_0}(p) \cdot K_{\text{ш}}}{K_{\text{поп}} \cdot (T \cdot p + K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{п}} + 1)}$$

, где  $T = 1/K_{\text{поп}}$

$$X_3(\infty) = \lim_{p \rightarrow 0} p \cdot \frac{S_{\Pi_0}}{p} \cdot \frac{K_{\text{ш}}}{K_{\text{поп}} \cdot (T \cdot p + K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{п}} + 1)} = \frac{S_{\Pi_0} \cdot K_{\text{ш}}}{K_{\text{поп}} \cdot (K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{п}} + 1)}$$

При  $K_{\text{ш}} \neq 0$  ошибка слежения пропорциональна  $S_{\Pi_0}$  и  $K_{\text{ш}}$



$$X_3(\infty) \sim \frac{S_{\Pi_0} \cdot K_{\text{ш}}}{K_{\text{поп}} \cdot (K_{\text{ш}} \cdot K_{\text{п}} + 1)}$$

# Системы числового программного управления

Система ЧПУ – совокупность функционально взаимосвязанных и взаимодействующих технологических и программных средств.

Числовое программное управление (ЧПУ) – управление обработкой заготовки на станке по управляющей программе, в которой данные заданы в цифровой форме

Преимущества:

- Высокий уровень автоматизации;
- Производственная гибкость;
- Высокая точность и повторяемость обработки;

## Классификация

По виду рабочего движения станка:

- позиционные (сверлильные, расточные станки);
- контурные (токарные, фрезерные);
- позиционно-контурные;

По наличию ОС:

- разомкнутые
- замкнутые

По характеру информации, записанной на программноносителе различают:

- непрерывные
- дискретные
- дискретно-непрерывные

В зависимости от типа датчика обратной связи :

- Аналоговые (напряжение, фаза)
- Кодовые системы (датчик выдаёт числовой код)
- Импульсные системы (число импульсов)

По особенностям структуры системы ЧПУ разбиты на 4 группы имеющие сокращённое международное обозначение:

HNC (hand numerical control) – разновидность ЧПУ с ручным заданием программы с пульта управления.

SNC (speicher numerical control) – обладают памятью для хранения управляющих программ

CNC (computer numerical control) – содержат в своём составе микро ЭВМ для программирования алгоритмов работы и выполнения процесса управления.

DNC (direct numerical control) – служат для прямого цифрового управления группой станков, осуществляя хранение программ и их выдачу по запросам станочных систем ЧПУ типа SNC, CNC.

По изменению режимов обработки системы ЧПУ разделяются на:

- цикловые
- программные
- адаптивные

Обозначения в маркировке станка:

Ф1 – система ЧПУ с цифровой индикацией и ручным управлением

Ф2 – позиционной ЧПУ

Ф3 – контурной ЧПУ

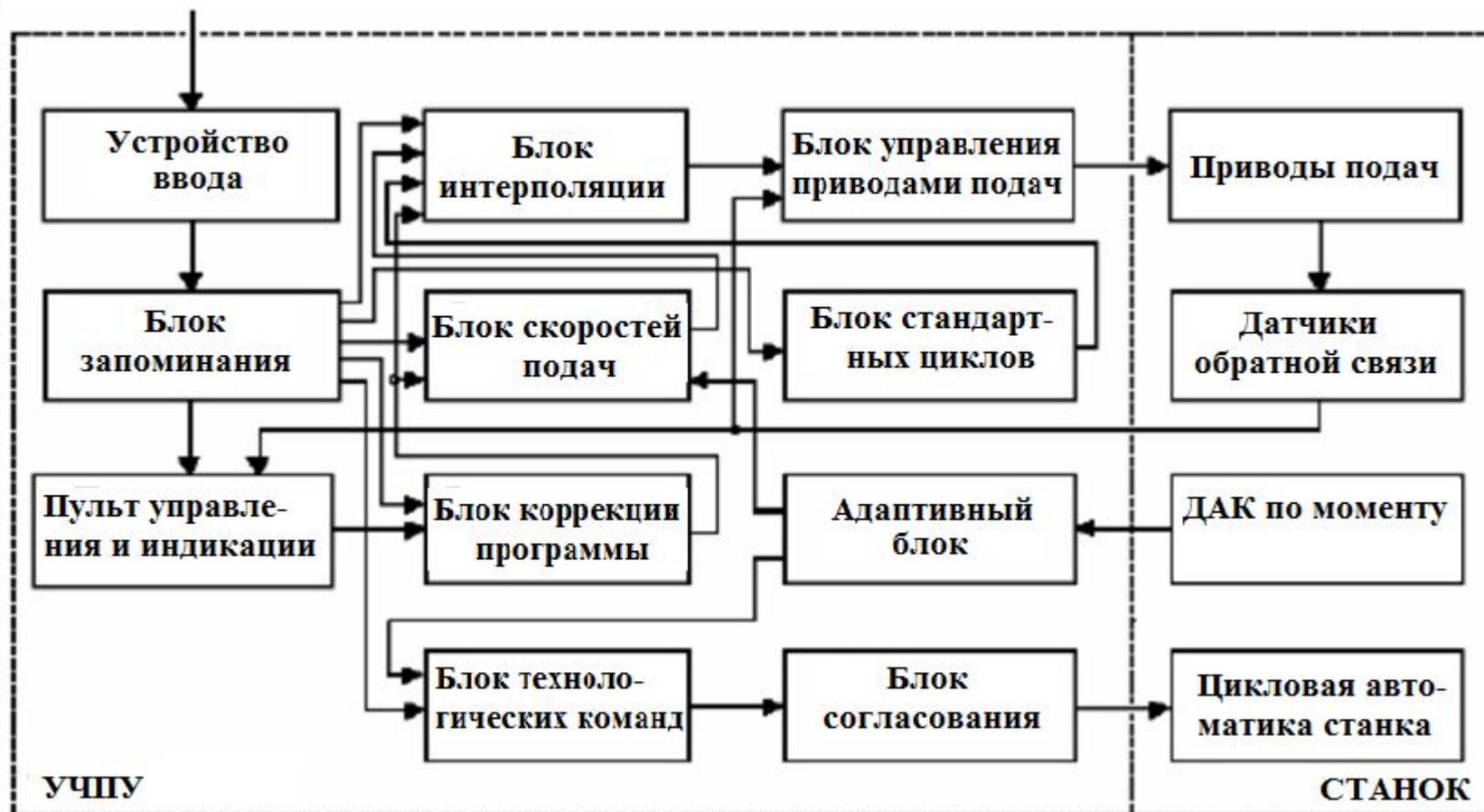
Ф4 – смешанной ЧПУ

- Адаптивное ЧПУ (Adaptive control) – числовое программное управление станком, при котором обеспечивается автоматическое приспособление процесса обработки заготовки к изменяющимся условиям обработки по определенным критериям.

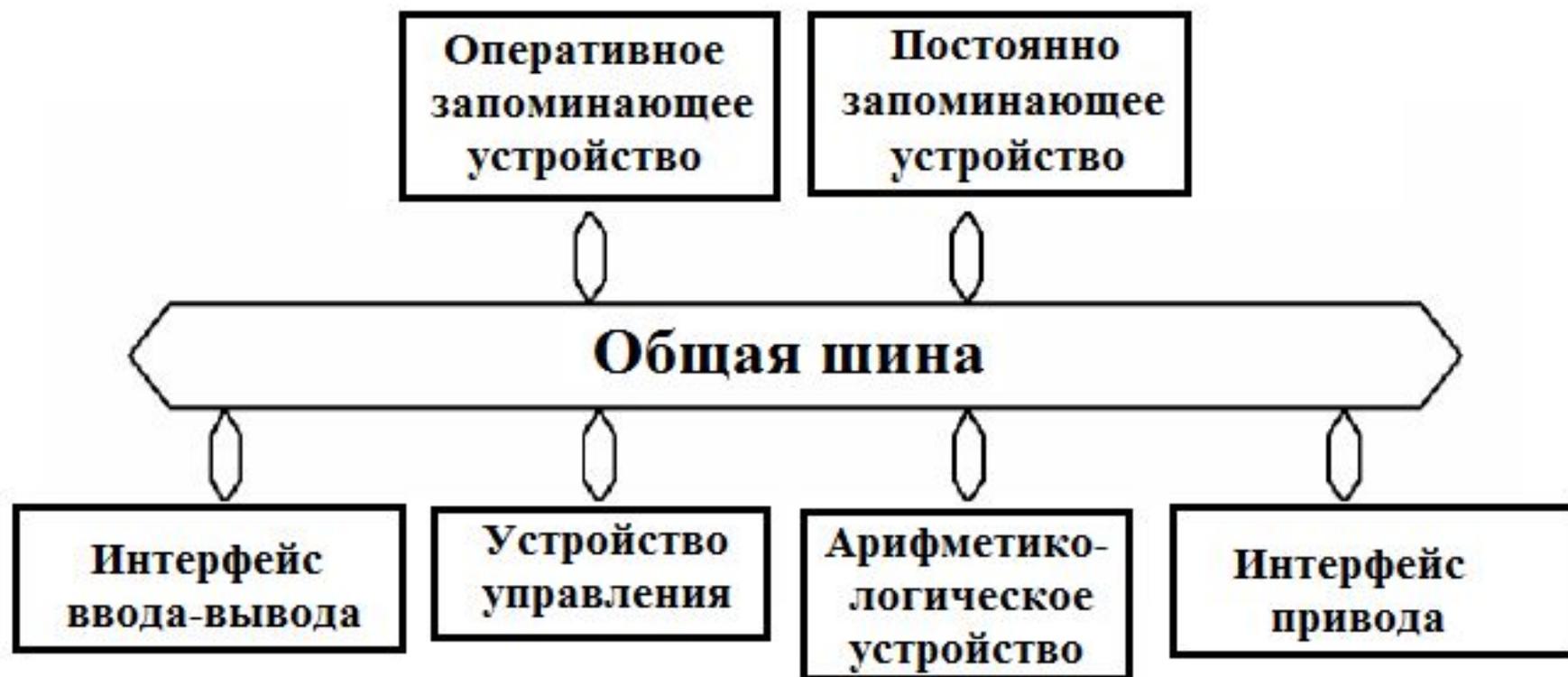
- Групповое ЧПУ (Direct numerical control – DNC) – числовое программное управление группой станков от ЭВМ, имеющей общую память для хранения управляющих программ, распределяемых по запросам от станков.

# Типовые структуры устройств числового программного управления

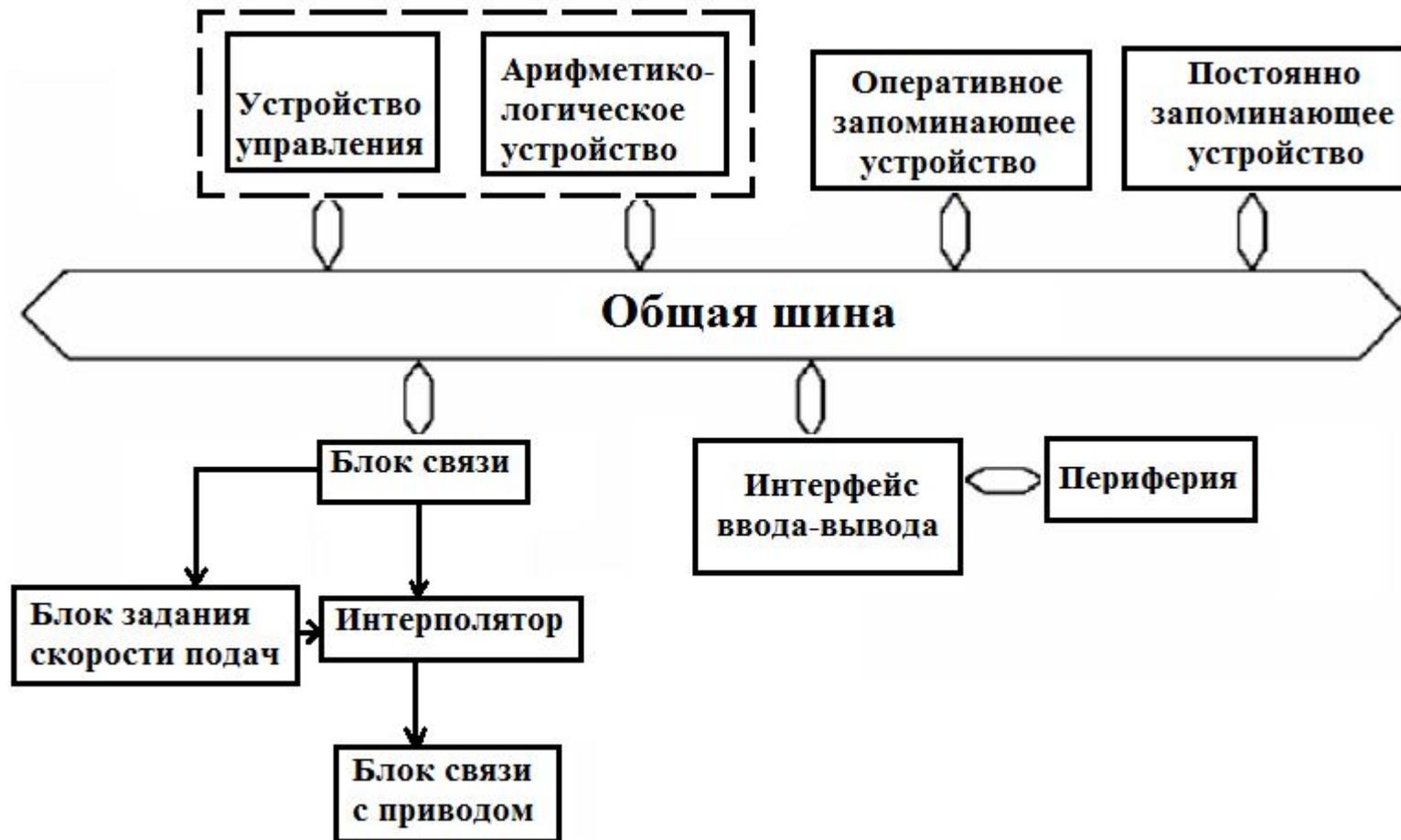
## Структурная схема устройства ЧПУ типа NC



# Обобщённая структура системы ЧПУ на базе микро ЭВМ



# Обобщённая структура системы ЧПУ с микропроцессором на входе



# Структурная схема устройства ЧПУ «Электроника НЦ-31»



## *1-е поколение ЧПУ*

Элементная база – дискретные элементы

Ввод программы – с магнитной ленты

Функциональность – ограниченная, частота около 1 кГц

Реализация алгоритмов управления – аппаратная

## *2-е поколение ЧПУ*

Элементная база – интегральные элементы

Ввод программы – перфолента

Функциональность – ограниченная, частота около 16кГц

Реализация алгоритмов управления – аппаратная

### *3-е поколение ЧПУ*

Элементная база – микроЭВМ

Ввод программы – в цифровом виде, с клавиатуры

Функциональность – широкая, частоты более 16 кГц

Реализация алгоритмов управления – программная

### *4-е поколение ЧПУ*

Элементная база – однокристальные ЭВМ

Ввод программы – в цифровом виде, с клавиатуры

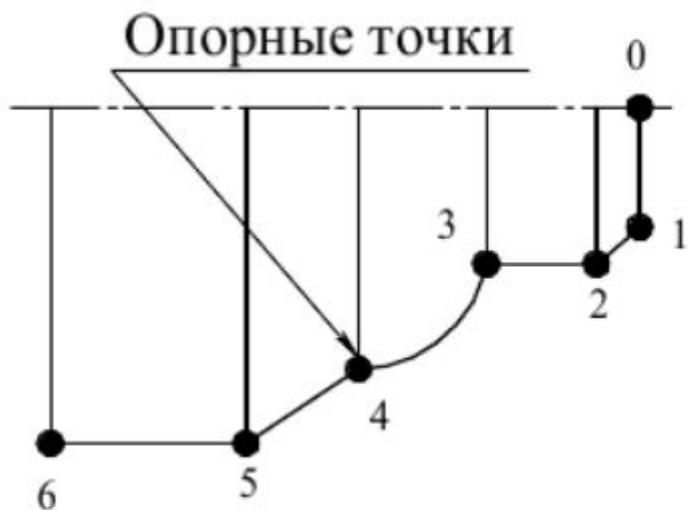
Функциональность – широкая, сервоприводы, VLDC

Реализация алгоритмов управления – программная,  
языки программирования высокого уровня

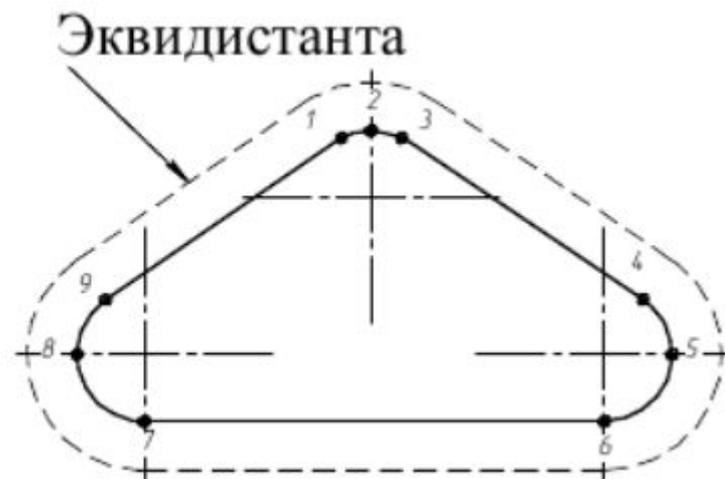
## *Функции ЧПУ*

1. Управление формообразованием (геометрическая задача).
2. Управление дискретной автоматикой станка (логическая задача).
3. Управление рабочим процессом станка (технологическая задача)
4. Взаимодействие с окружающей производственной средой

## Управление формообразованием (геометрическая задача).



Движение инструмента  
по опорным точкам

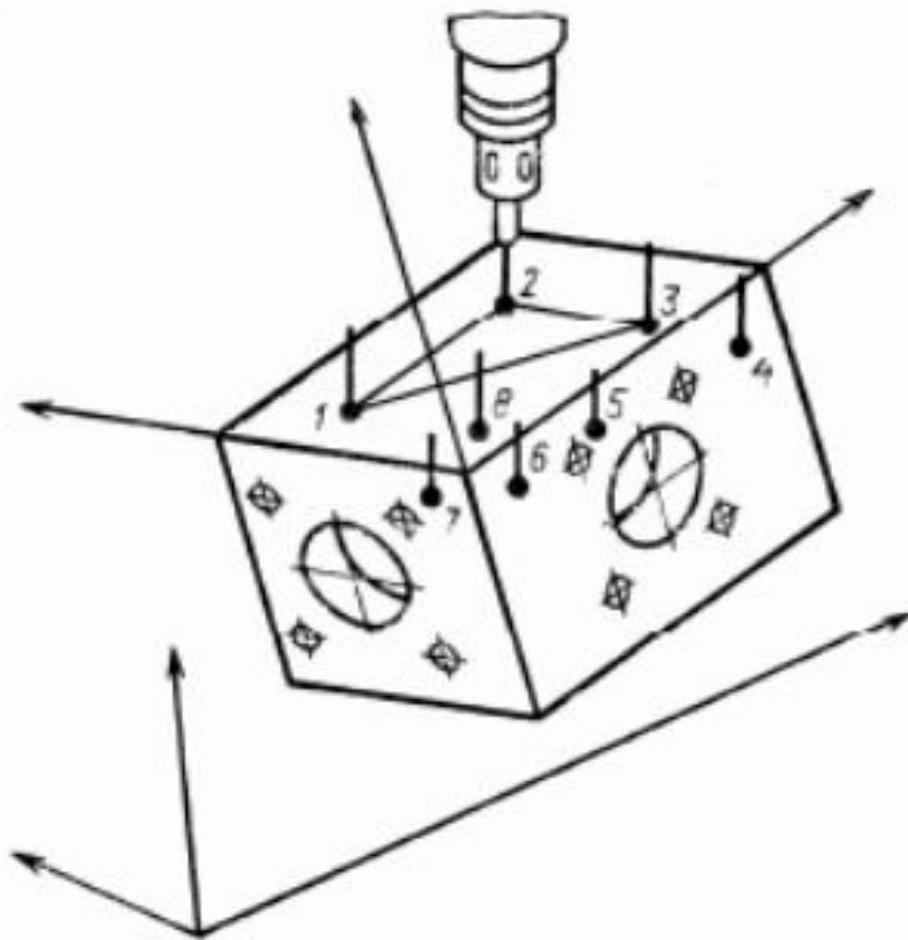


Движение инструмента  
по эквидистанте

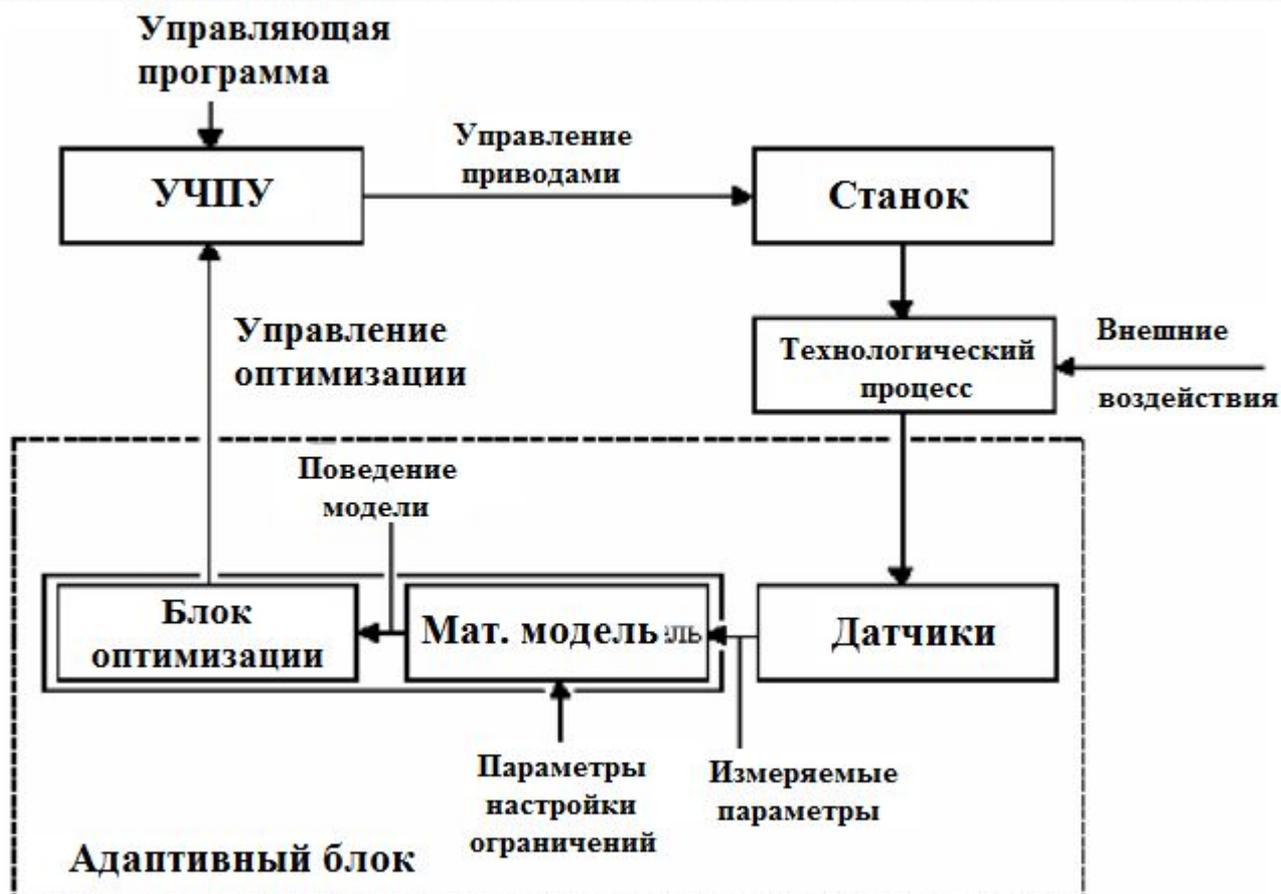
## Панель оператора ЧПУ



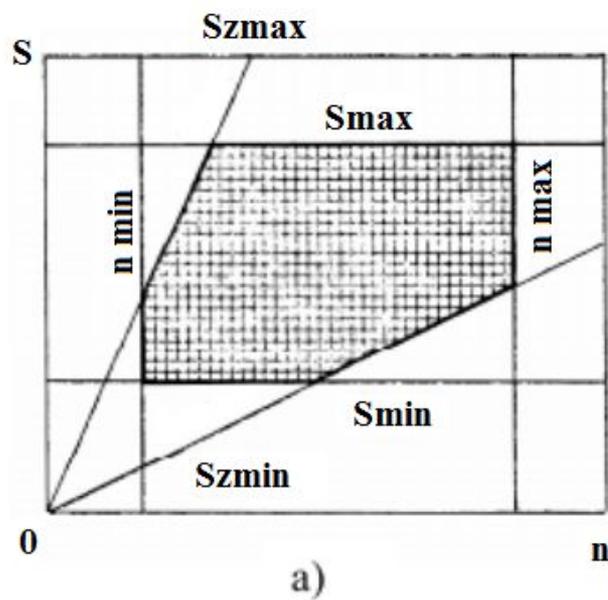
# Измерительные циклы после базирования детали на станке



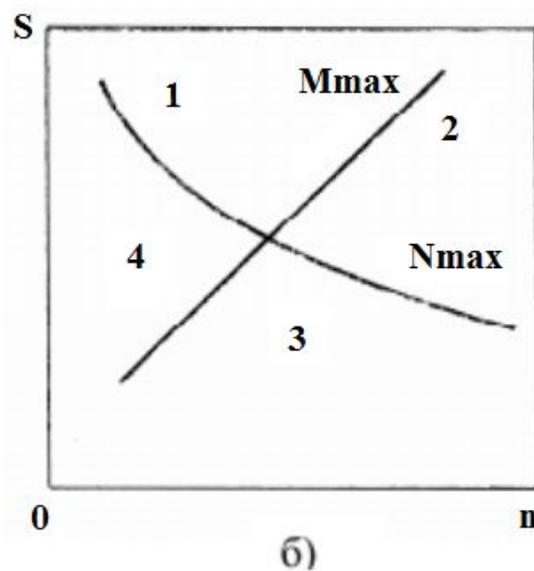
# Обобщённая структурная схема адаптивного управления



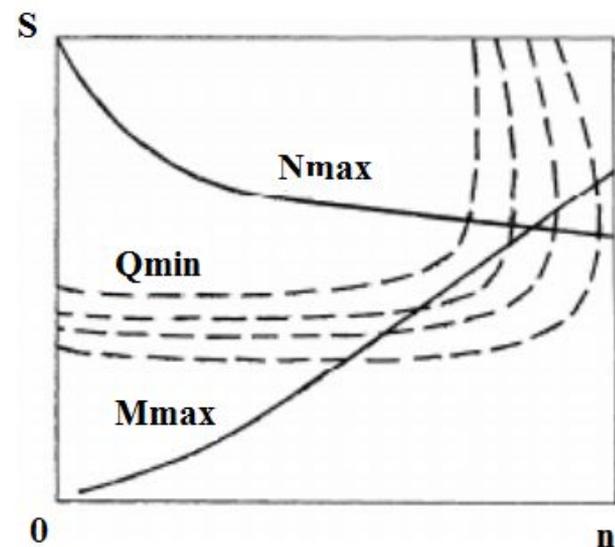
## Поиск оптимального режима в условиях ограничений



Производственная характеристика станка



Линии соответствующие минимуму затрат



# Кодирование управляющей информации

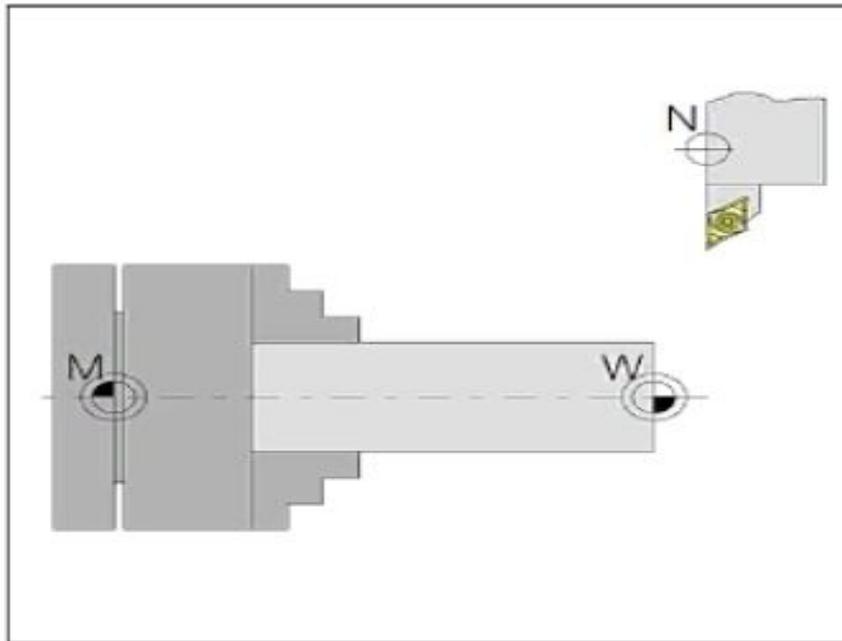


Внутренние алгоритмы управления делят на 3 группы:

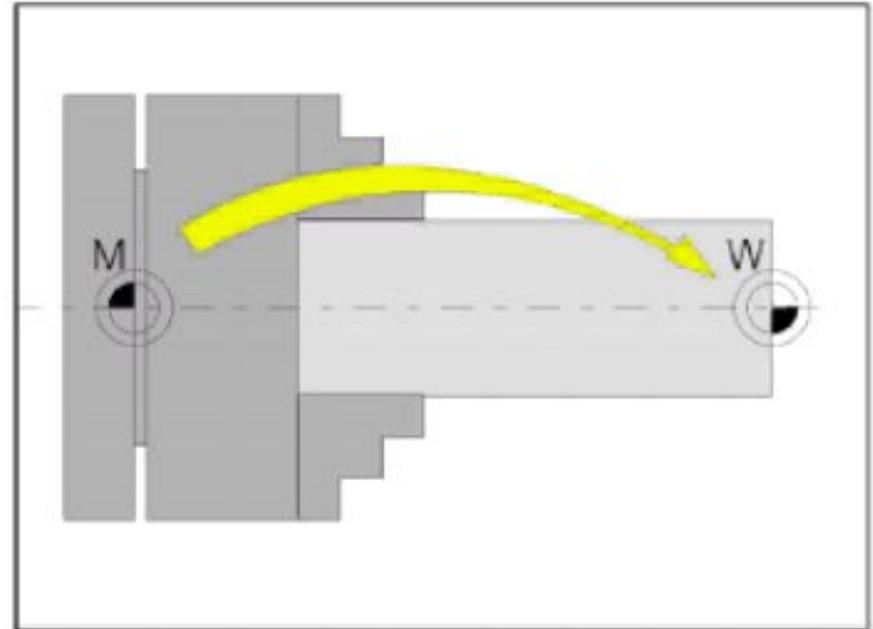
- Системные (внутренняя работа ЭВМ);
- Технологические (по группе станков);
- Функциональные (набор команд/функций оборудования).

Рабочие алгоритмы – внешние алгоритмы управления по отношению к УЧПУ (программа обработки, написанная потребителем, эксплуатирующим станок)

# Базовые точки станка



*Базовые точки в рабочей зоне*



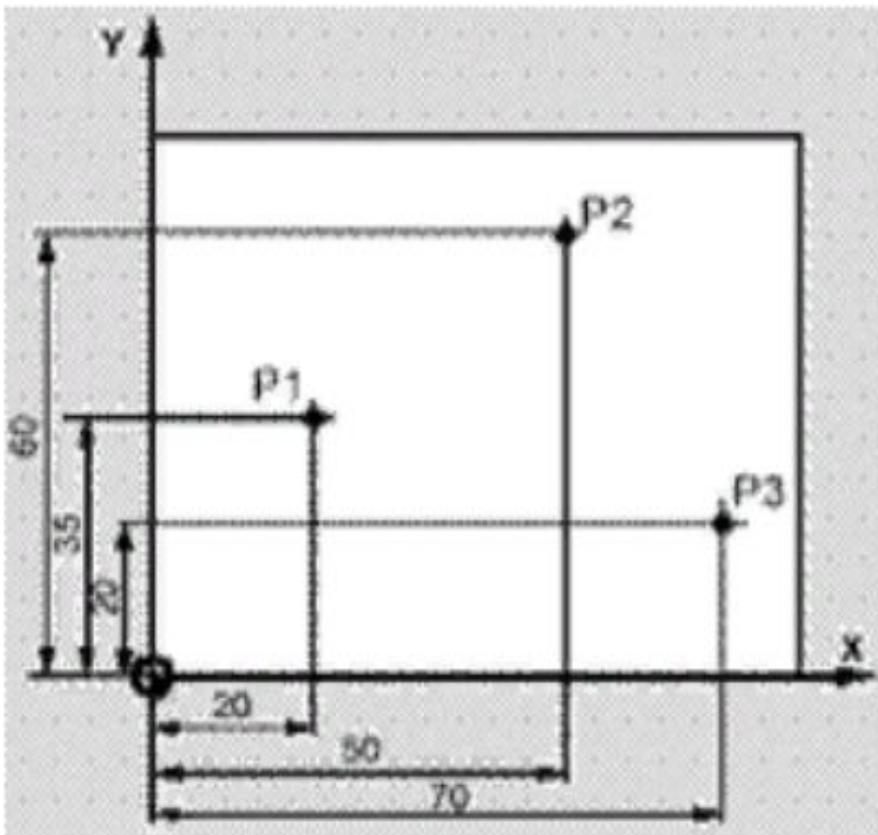
*Смещение нуля от нуля отсчета станка M к нулю отсчета детали W*

M – Ноль отсчета станка.

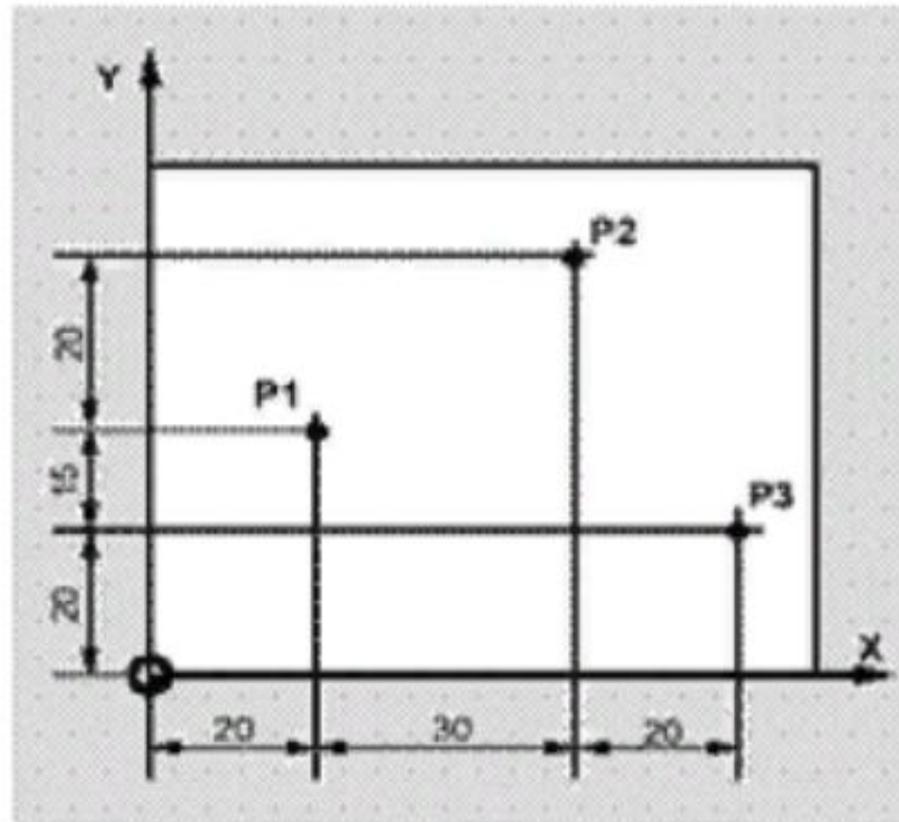
N – Исходная точка резцедержателя Исходная точка для измерения параметров инструмента.

W – Ноль отсчета детали Исходная точка для установки всех размеров в программе обработки. Свободно устанавливается программистом, и может перемещаться по желанию в программе обработки.

# Системы координат для программирования



*Размеры в абсолютных значениях*



*Размеры в приращениях*

# Структура программы

- Используется программирование в соответствии с ISO-7bit.
- УП – последовательность программных кодов (G-команд) – кадров.

УП ЧПУ состоит из:

- Номера программы
- Кадров УП
- Слов
- Адресов
- Комбинаций чисел (для адресов осей, частично со знаком)

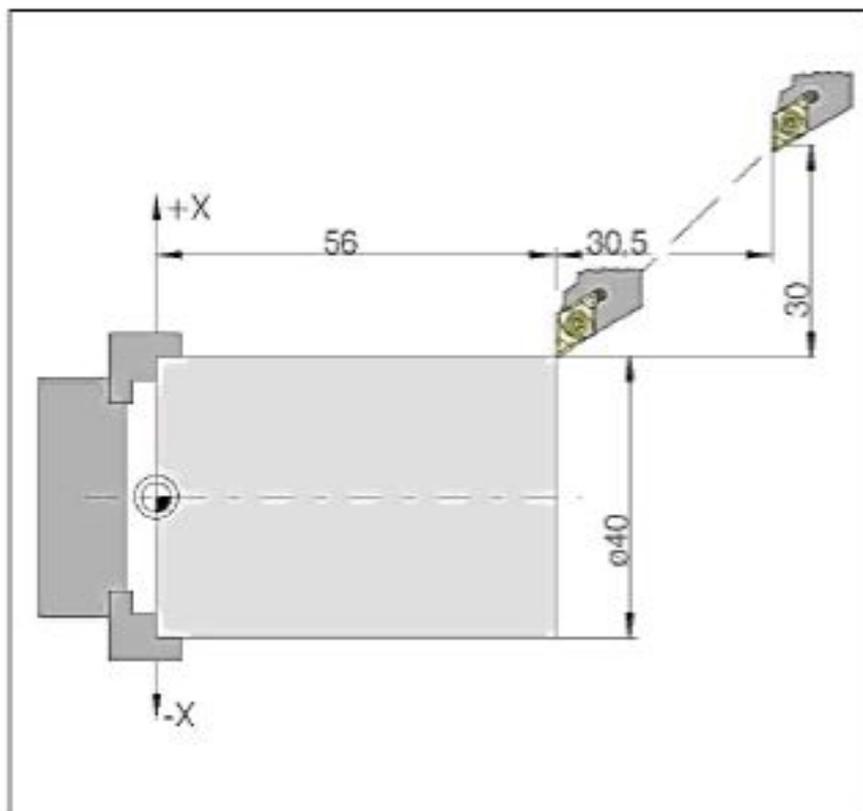
# Обзор вспомогательных функций M

Команда	Значение
M0	Программируемый останов
M1	Программируемый останов, условный останов
M2	Конец программы
M3	Шпиндель ВКЛ по часовой стрелки
M4	Шпиндель ВКЛ против часовой стрелки
M5	Шпиндель ВЫКЛ
M8	Подача охлаждения ВКЛ
M9	Подача охлаждения ВЫКЛ
M13	Инструменты с механическим приводом ВКЛ по часовой стрелки
M14	Инструменты с механическим приводом ВКЛ против часовой стрелки
M15	Инструменты с механическим приводом ВЫКЛ
M20	Пинопь вперед
M21	Пинопь назад
M23	Лоток вперед
M24	Лоток назад
M25	Открывание зажимного устройства
M26	Закрывание зажимного устройства

# Обзор G команд

Группа	Команда	Функция
01	G00	Позиционирование (быстрое перемещение)
01	G01	Линейная интерполяция (подача)
01	G02	Круговая интерполяция по часовой стрелке
01	G03	Круговая интерполяция против часовой стрелке
00	G04+	Пауза
00	G07.1	Цилиндрическая интерполяция
00	G10	Установка данных
00	G11	Установка данных ВЫКЛ.
21	G12.1	Интерполяция в полярных координатах ВКЛ
21	G13.1	Интерполяция в полярных координатах ВЫКЛ

10	G84	Цикл нарезания резьбы метчиком
10	G85	Цикл развертывания
03	G90*	Программирование в абсолютных значениях
03	G91	Программирование в значениях с приращением



Абсолютные и инкрементные размеры для  
*G00*

## **G00** Позиционирование (Быстрое перемещение)

Формат:

*N... G00 X(U)... Z(W)...*

Перемещение выполняется с максимальной скоростью до запрограммированной целевой точки. Одновременно могут использоваться абсолютные и инкрементные команды.

**Примечание:**

- Запрограммированная подача *F* подавляется при выполнении *G00*.
- Максимальная подача определяется изготовителем станка.
- Ручная коррекция подачи ограничена до 100%.

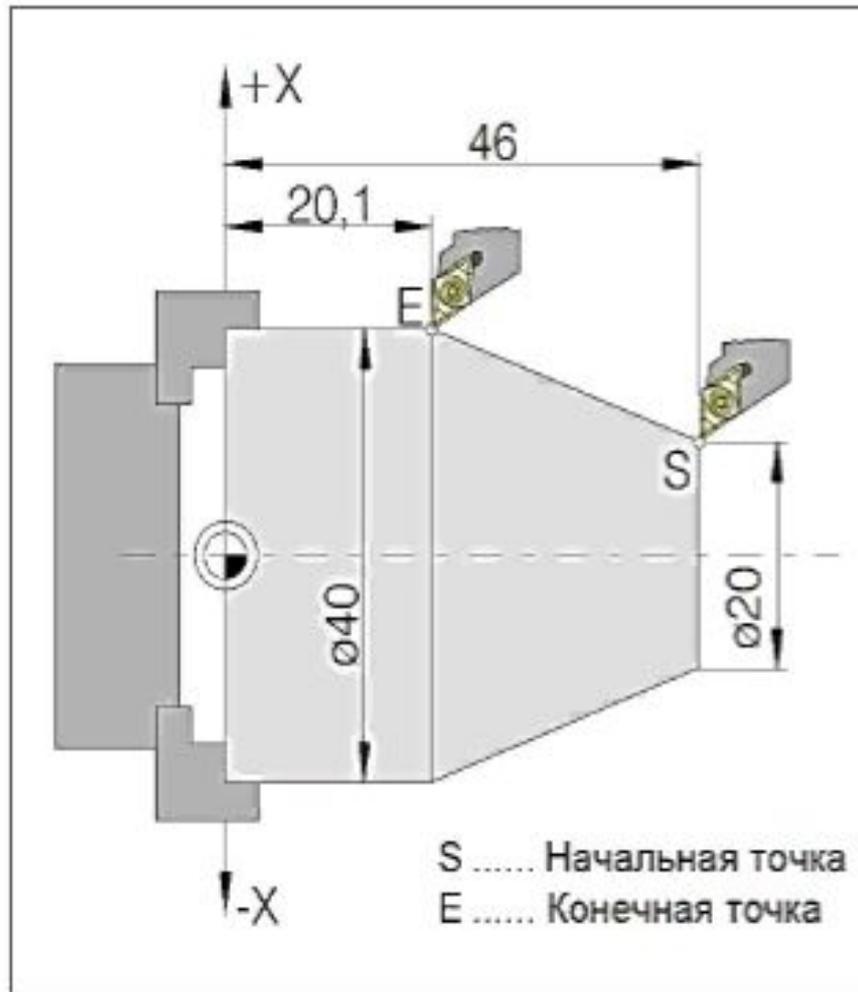
**Пример:**

**G90** в абсолютных размерах

*N50 G00 X40 Z56*

**G91** в размерах с приращением

*N50 G00 U-30 W-30.5*



Абсолютные и инкрементные размеры для  
G01

## G01 Линейная интерполяция (подача)

Формат:

*N... G01 X(U)... Z(W)... F...*

Линейные перемещения направляющих (торцевая, продольная обработка, обработка конуса) при запрограммированной скорости подачи.

Пример:

**G90 в абсолютных размерах**

*N.. G95*

*N20 G01 X40 Z20.1 F0.1*

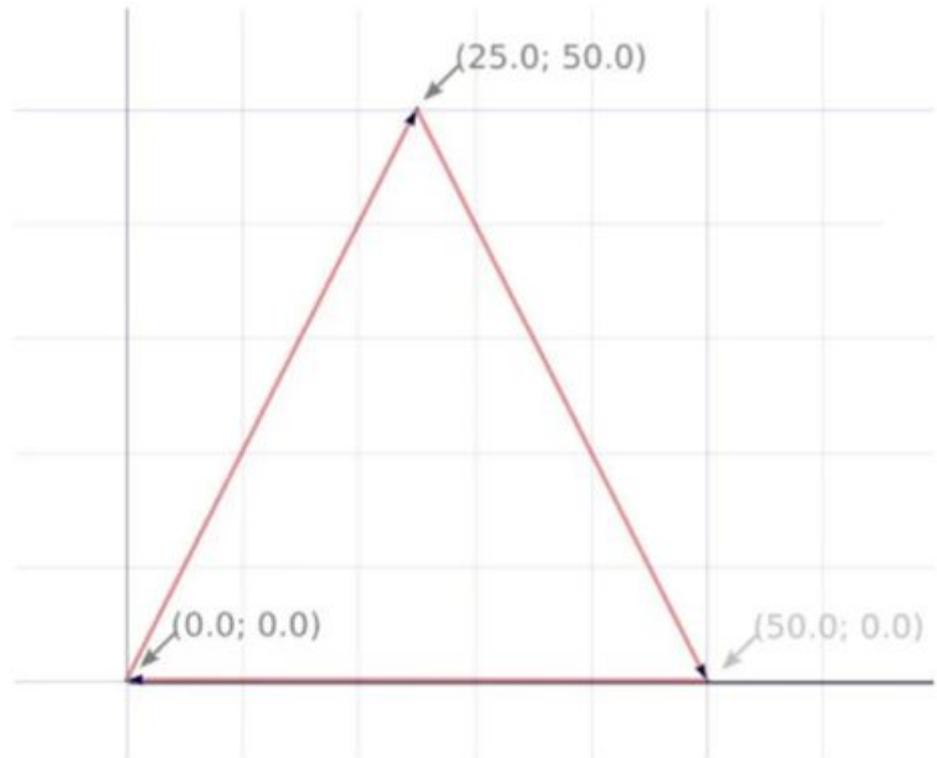
**G91 в размерах с приращением**

*N.. G95 F0.1*

*N20 G01 X20 W-25.9*

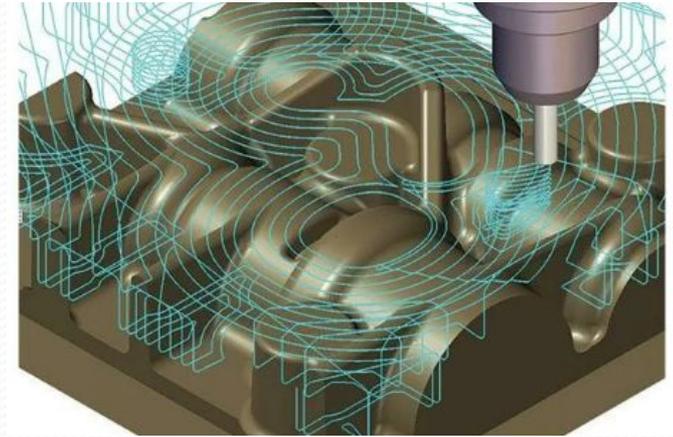
# Пример программы

```
%  
O 0001 (FREZA ABS)  
N5  G90  
N10 M3 S1000  
N15  G0 Z5  
N20  G0 X0 Y0  
N25  G1 Z-1 F80.0  
N30  G1 X25 Y50 Z-1 F100  
N35  G1 X50 Y0 Z-1  
N40  G1 X0 Y0 Z-1  
N45  G0 Z5  
N50  M5  
N55  M2  
%
```



# Этапы программирования

- 1 Получение задания и разработка чертёжа детали в CAD системе (Design)
- 2 Разработка программы в CAD/CAM (Manufacturing)
  - Определение координат точек контура детали;
  - Выбор режущего инструмента;
  - Расчёт эквидистанты;
  - Расчёт режимов резания;
  - Проверка программы;
  - Эмуляция процесса обработки.

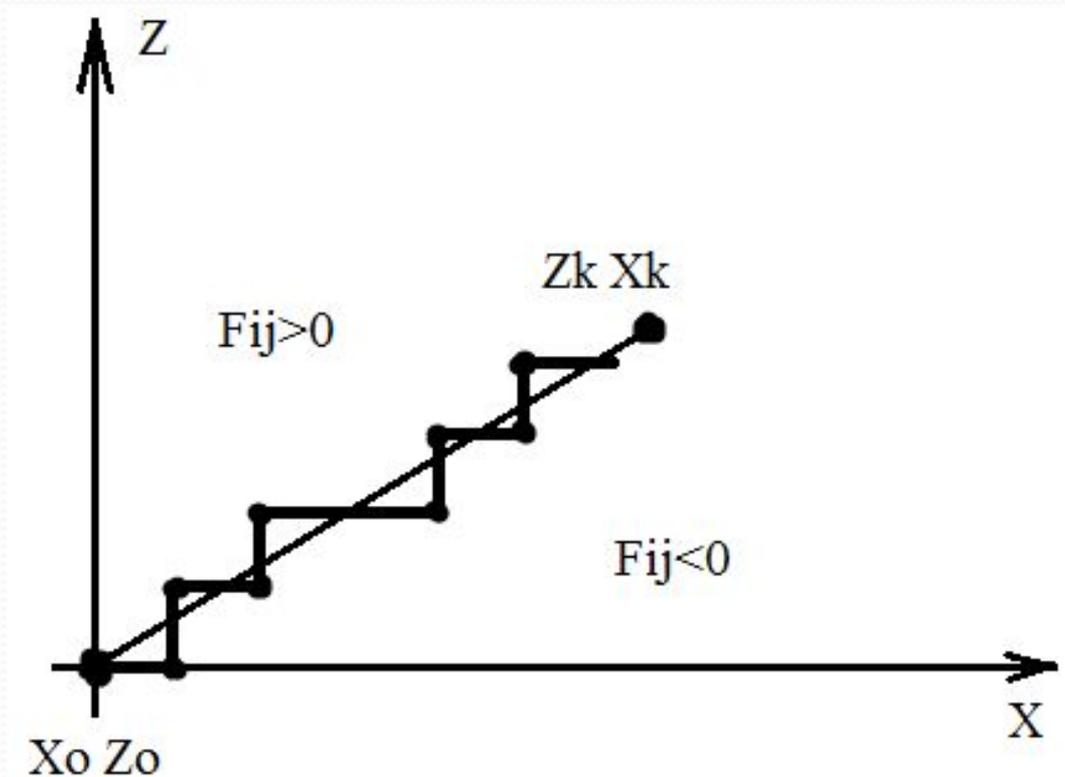


3 Перенос программы на станок с ЧПУ, проверка привязки системы координат

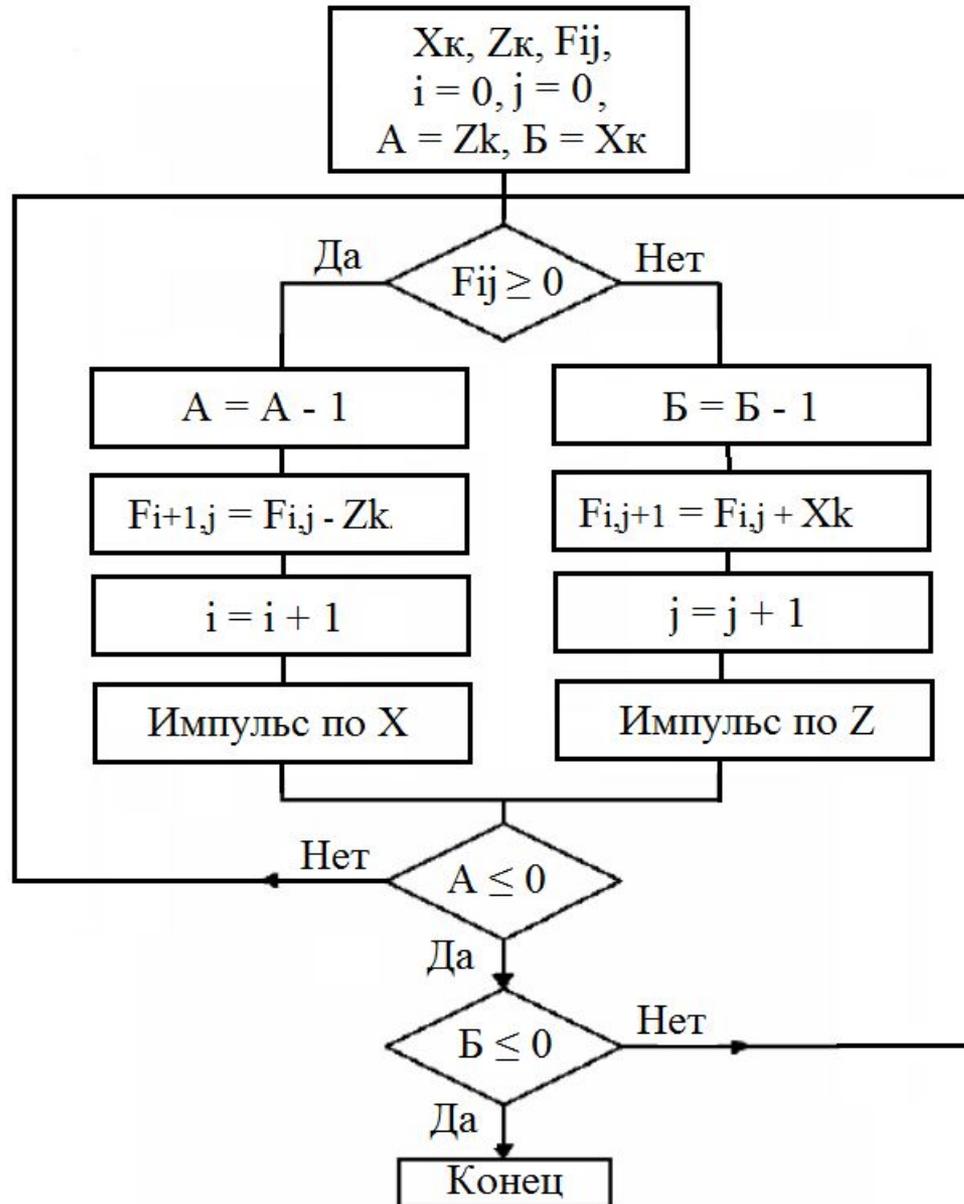
4 Обработка детали на станке

# Линейная интерполяция

Используется оценочная функция  $F_{ij} = Z_j X_k - X_i Z_k$   
Условие нахождения на прямой линии  $F_{ij} = 0$

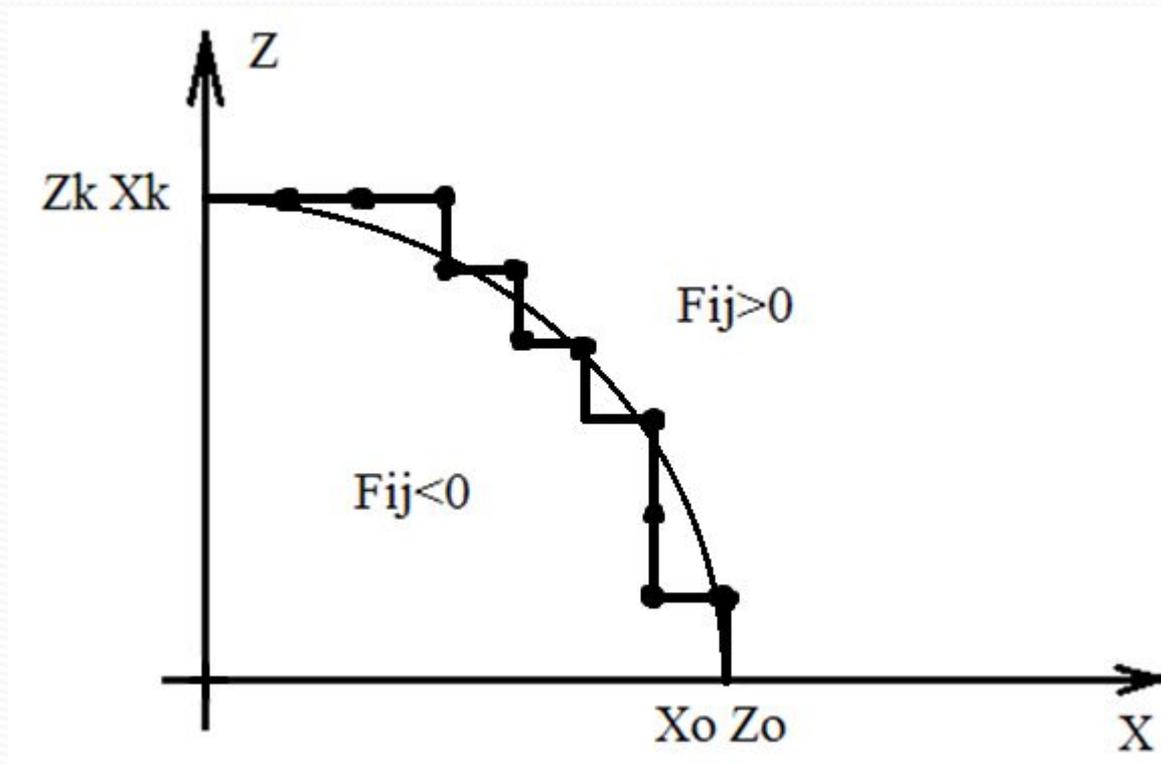


# Алгоритм линейной интерполяции



# Круговая интерполяция

Используется оценочная функция  $F_{ij} = Z_j^2 + X_i^2 - R^2$   
Условие нахождения на окружности  $F_{ij} = 0$



# Обзор аппаратной части ЧПУ

## Системы управления:

- Специализированный блок управления (ядро, терминал оператора, модули ввода/вывода)
- Компьютер (со спец. ПО) + плата ввода-вывода

Mach3, linux CNC

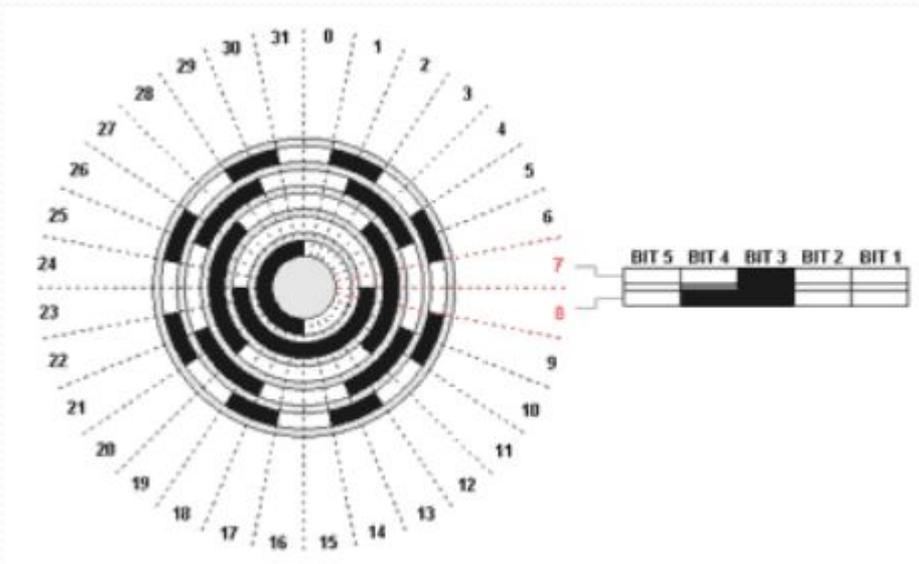


Датчики перемещений рабочих органов станка:

- Поворотные энкодеры;
- Оптические линейки;
- Индуктосины;

## Поворотные энкодеры

Абсолютные



Код Грея

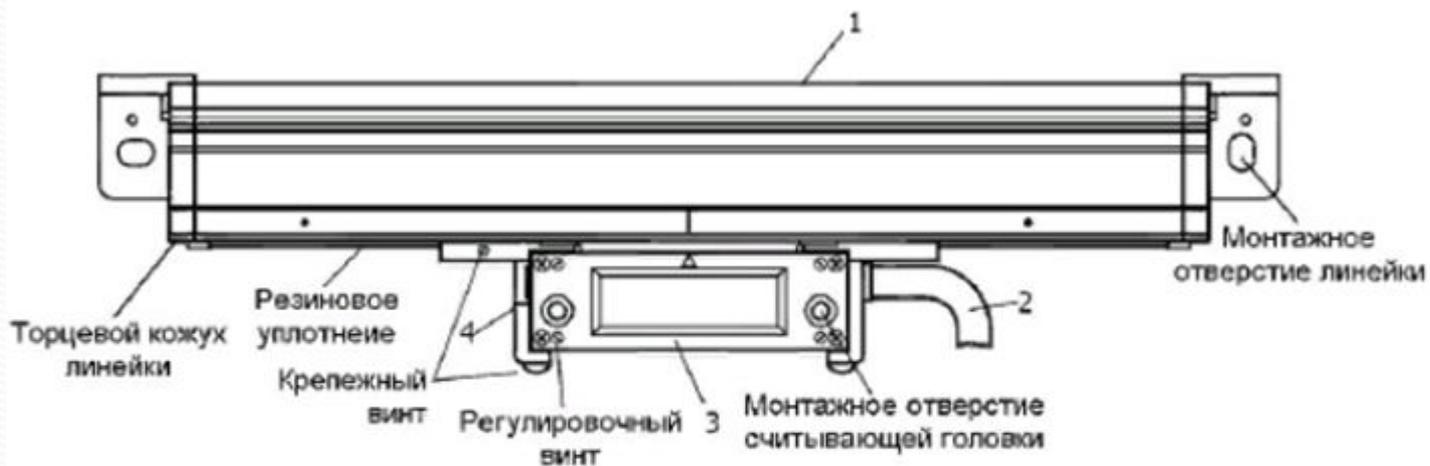
Инкрементные



Диск с метками  
оптического  
инкрементного  
энкодера

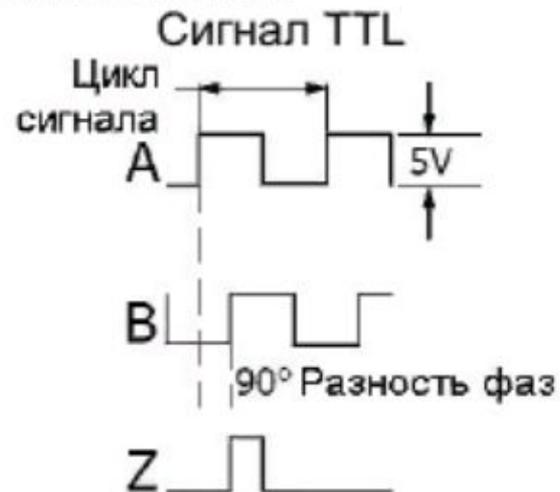
Квадратурный сигнал

# Оптические линейки



1. Измерительная линейка (корпус)
2. Соединительный кабель
3. Считывающая головка
4. Транспортные упоры

## Осциллограмма сигнала

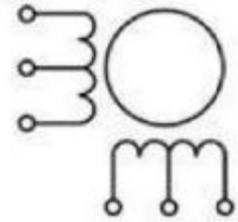
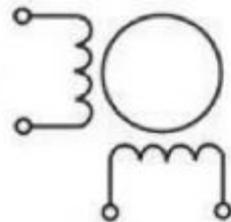
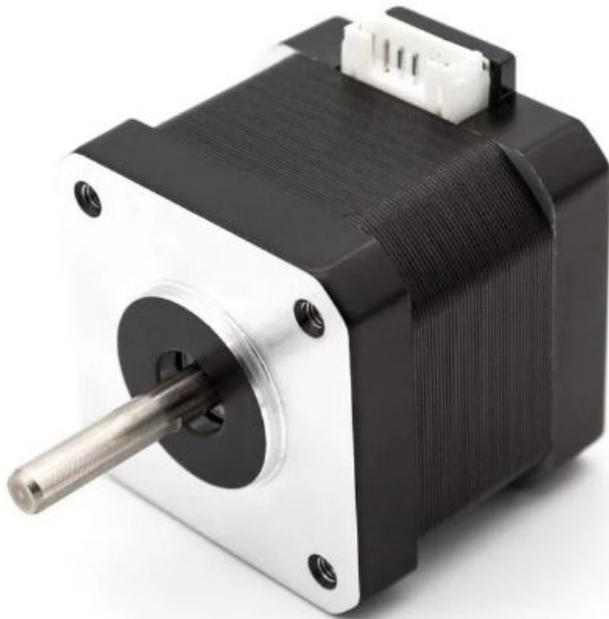


## Приводы перемещений рабочих органов станка:

- Шаговые двигатели
- Серводвигатели
- Гидропривод

### Шаговые двигатели

- + Простота управления, доступность (стоимость).
- Возможен пропуск импульсов, низкий крутящий момент на больших частотах (низкая скорость), высокие энергопотери.

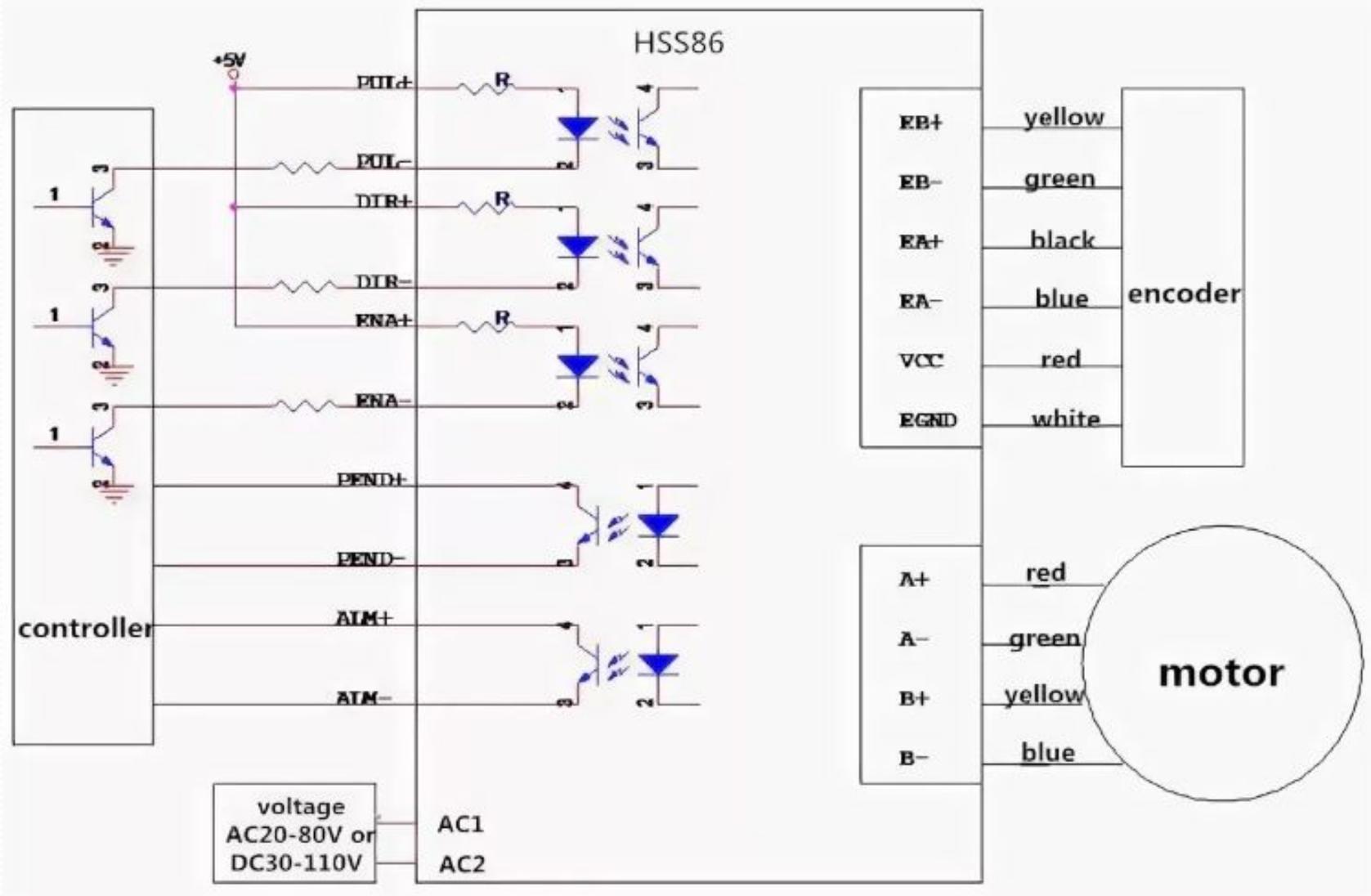


## Шаговые двигатели с энкодером (гибриды)

- + Контроль отработки импульсов, улучшенные динамические характеристики
- Контур ОС внутренний, скорость работы невысока



# Схема подключения драйвера



## Серводвигатель

+ Точность отработки импульсов, высокий крутящий момент, скорость, контроль и поддержание момента на всём рабочем диапазоне скоростей, широкие возможности настроек работы привода

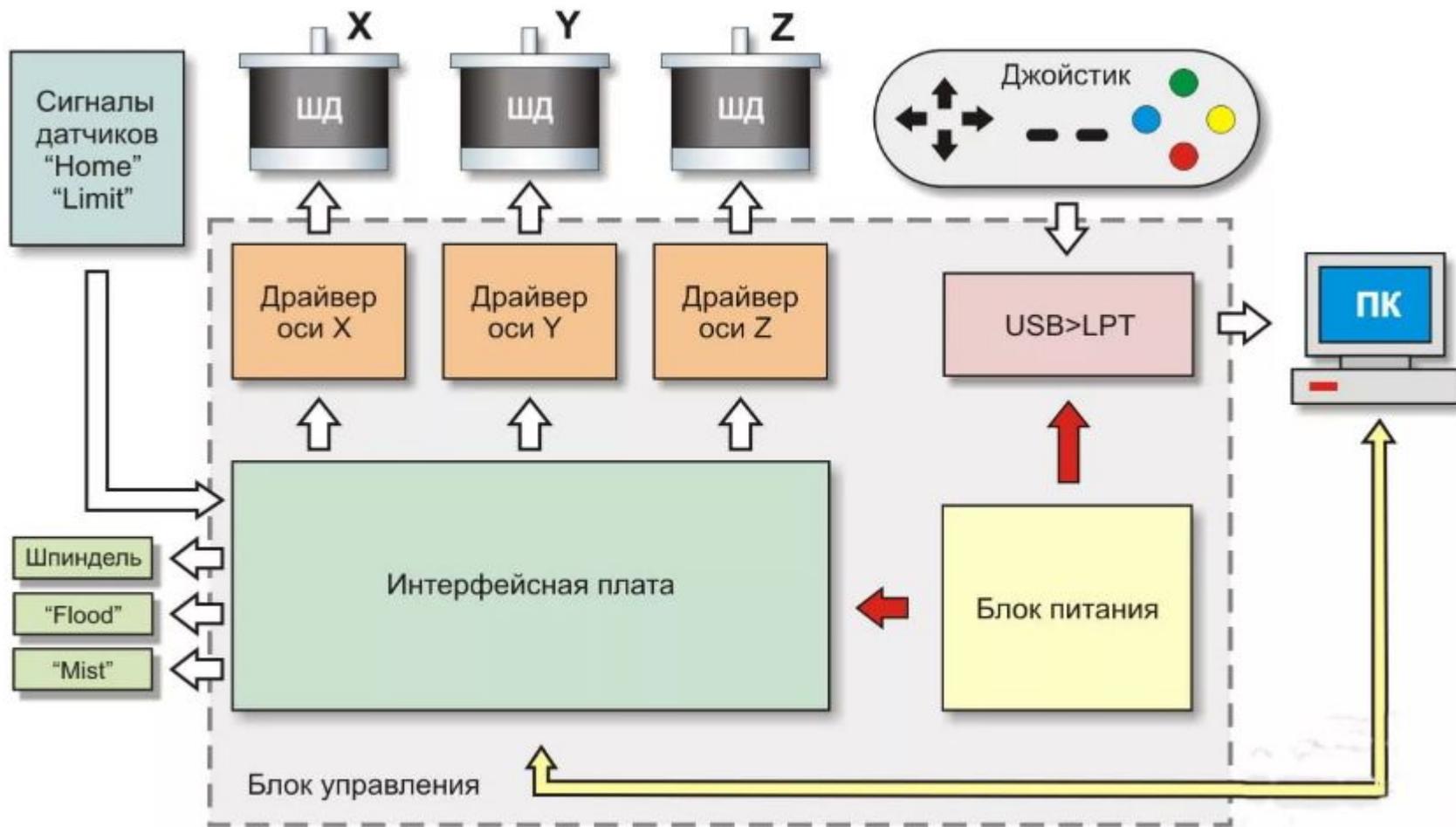
- Сложность управления (сложное устройство драйвера), стоимость на порядок выше чем ШД.



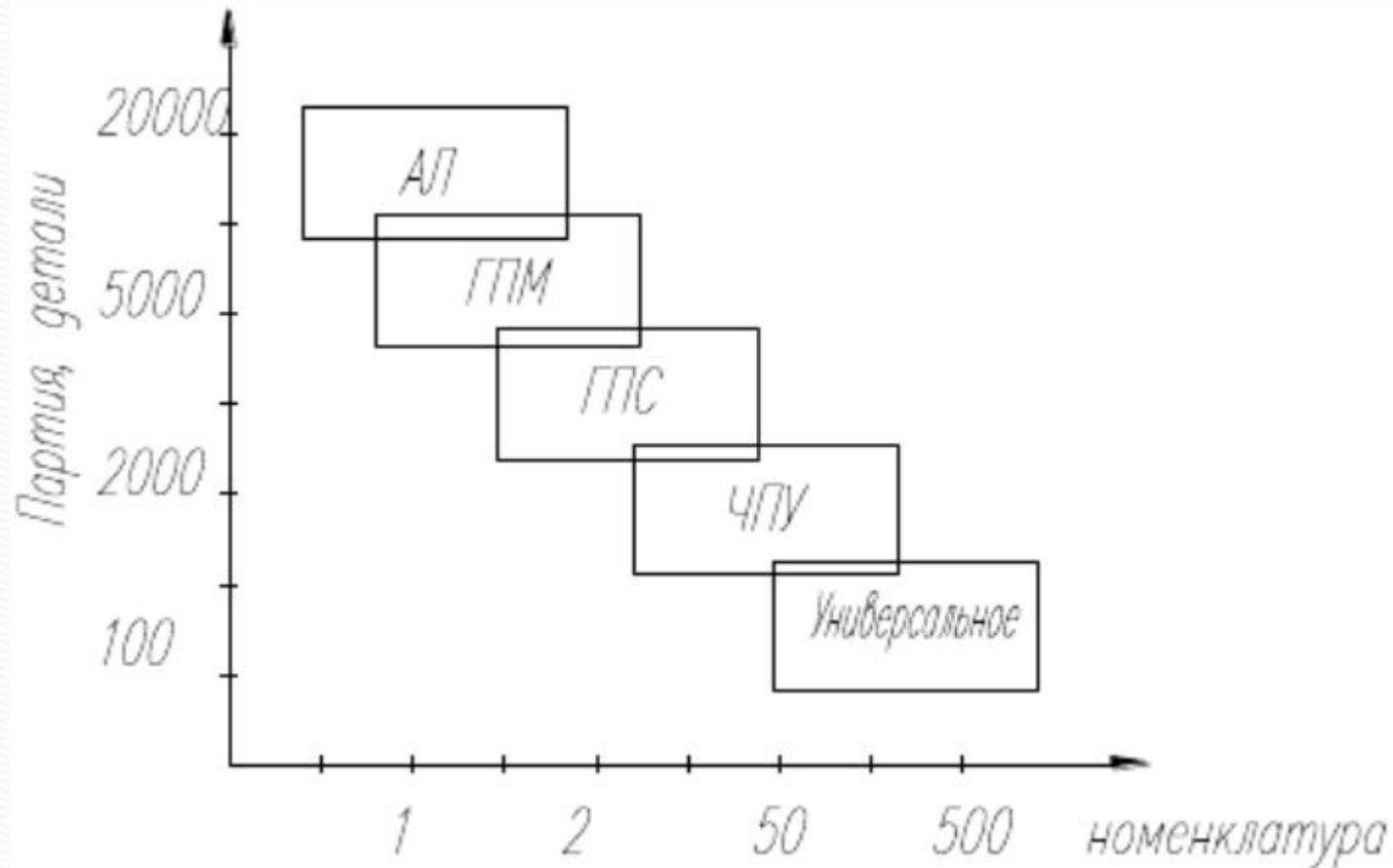
## Ядро системы ЧПУ

## Терминал оператора

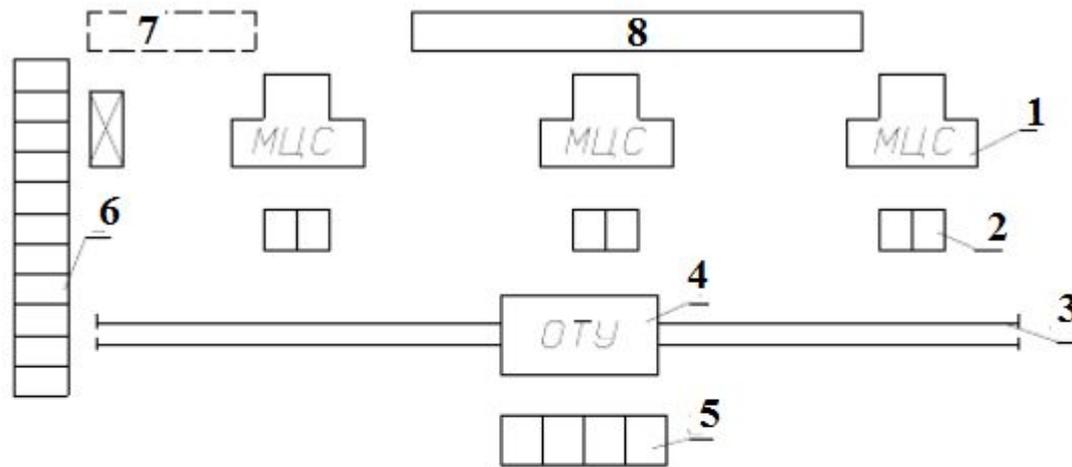




# Гибкие производственные системы



## Гибкие производственные системы (ГПС)



- 1 – МЦС – многоцелевой станок
- 2 – Тактовые (приемные) столы
- 3 – монорельс
- 4 – трансробот
- 5 – промежуточный накопитель
- 6 – автоматизированный склад
- 7 – диспетчерский пункт (ЭВМ)
- 8 – участок сборки приспособлений

