

# Основы технологии машиностроения

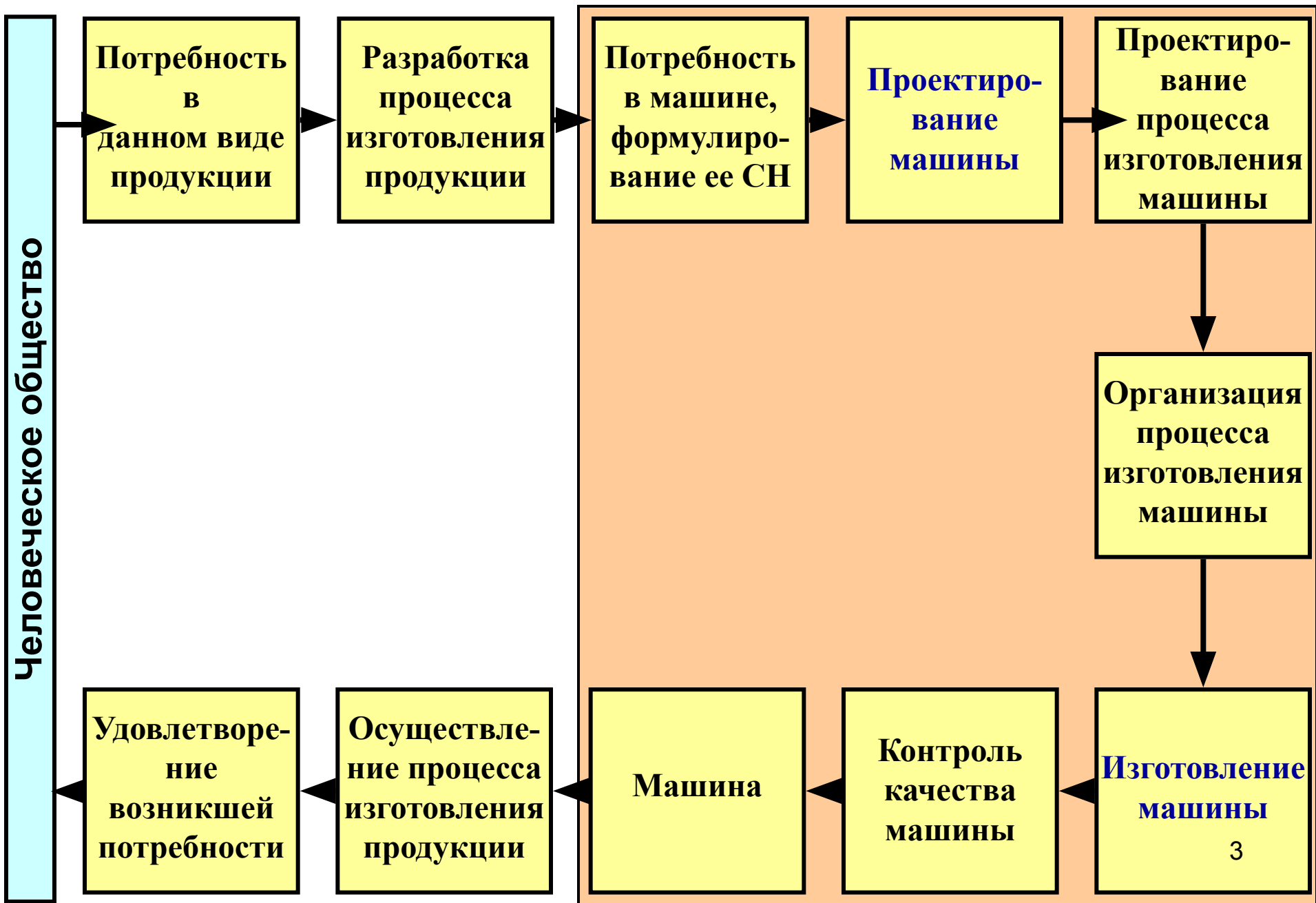
Канд. техн. наук, доцент  
кафедры «Технология авиационных  
двигателей и общего машиностроения»  
(ТАДиОМ)

*Фоменко Роман Николаевич*

# Рекомендуемая литература

1. Безъязычный В.Ф. Основы технологии машиностроения. - учебник для ВУЗов. - М.: Машиностроение, 2013 г. – 568 с.
2. Лабораторные и практические работы по технологии машиностроения: уч. пособие/ В.Ф. Безъязычный и др. М: Машиностроение, 2013 – 600 с.
3. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. Учебник для ВУЗов. - М.: Машиностроение, 2005 г. – 736 с.
4. Колесов И.М. Основы технологии машиностроения. -М.: Машиностроение, 2001 г. -590с.
5. Технология машиностроения. Под ред. Дальского А. М. В 2-х томах. - М: МГТУ им Н.Э. Баумана, 2001 г.
6. Безъязычный В. Ф., Корнеев В. Д., Волков С. А. Основы технологии машиностроения: Учебное пособие. – Рыбинск: РГАТА, 2008. -88 с.

# Этапы создания машины



# Стадии проектирования (ЕСКД ГОСТ 2.103-68)

## Стадии разработки

## Этапы выполнения работ

Техническое предложение

- Подбор материалов.
- Разработка технического предложения с присвоением документам литеры "П".
- Рассмотрение и утверждение технического предложения

Эскизный проект

- Разработка эскизного проекта с присвоением документам литеры "Э".
- Изготовление и испытание макетов (при необходимости).
- Рассмотрение и утверждение эскизного проекта.

Технический проект

- Разработка технического проекта с присвоением документам литеры "Т".
- Изготовление и испытание макетов (при необходимости).
- Рассмотрение и утверждение технического проекта.

## Рабочая конструкторская документация:

а) опытного образца (опытной партии) изделия, предназначенного для серийного (массового) или единичного производства (кроме разового изготовления)

- Разработка конструкторской документации, предназначенной для изготовления и испытания опытного образца (опытной партии), без присвоения литеры.
- Изготовление и предварительные испытания опытного образца (опытной партии).
- Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и предварительных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры "О".
- Приемочные испытания опытного образца (опытной партии).
- Корректировка конструкторской документации по результатам приемочных испытаний опытного образца (опытной партии) с присвоением документам литеры "О<sub>1</sub>".
- Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости,— повторное изготовление и испытания опытного образца (опытной партии) по документации с литерой "О<sub>2</sub>" и корректировка конструкторских документов с присвоением им литеры "О<sub>2</sub>".

б) серийного (массового) производства

- Изготовление и испытание установочной серии по документации с литерой "О<sub>1</sub>" (или "О<sub>2</sub>").
- Корректировка конструкторской документации по результатам изготовления и испытания установочной серии, а также оснащения технологического процесса изготовления изделия, с присвоением конструкторским документам литеры "А".
- Для изделия, разрабатываемого по заказу Министерства обороны, при необходимости, изготовления и испытания головной (контрольной) серии по документации с литерой "А" и соответствующая корректировка документов с присвоением им литеры "Б".

# Схема элементов технологического процесса

Технологический процесс

Технологическая операция

Установ

Технологический переход

Позиция

Вспомогательный переход

Рабочий ход (проход)

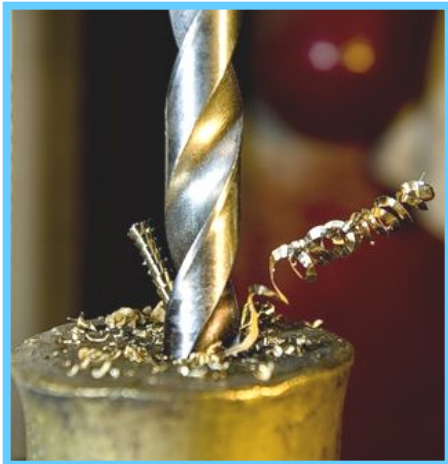
Прием

Вспомогательный ход

Элементы приема

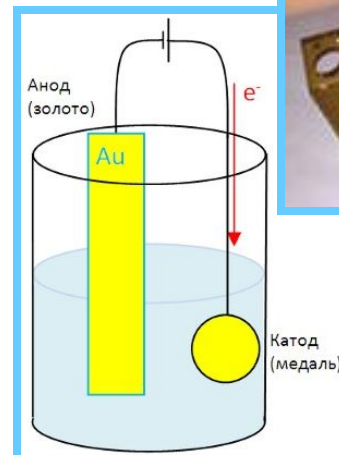
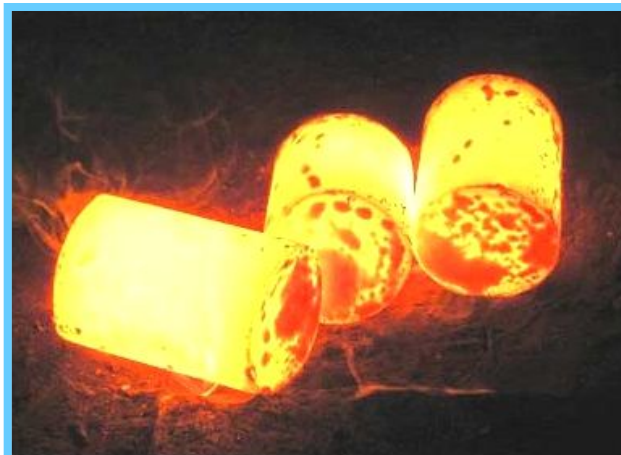
# Основные понятия

**Производственный процесс** – это совокупность всех этапов, которые проходит исходный продукт по пути превращения в готовое изделие.



# Основные понятия

**Технологический процесс** – это часть производственного процесса, на протяжении которой происходят качественные изменения изготавливаемого изделия.



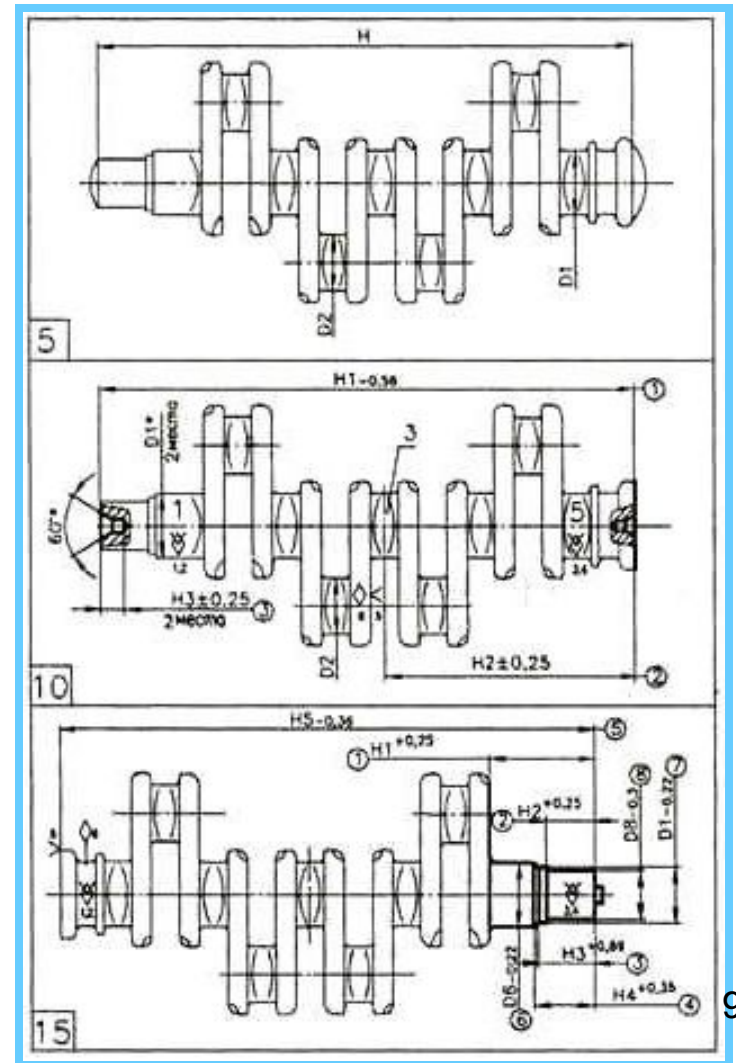




# Виды технологических процессов

## Групповые

технологические процессы изготовления группы изделий с разными конструктивными, но общими технологическими признаками

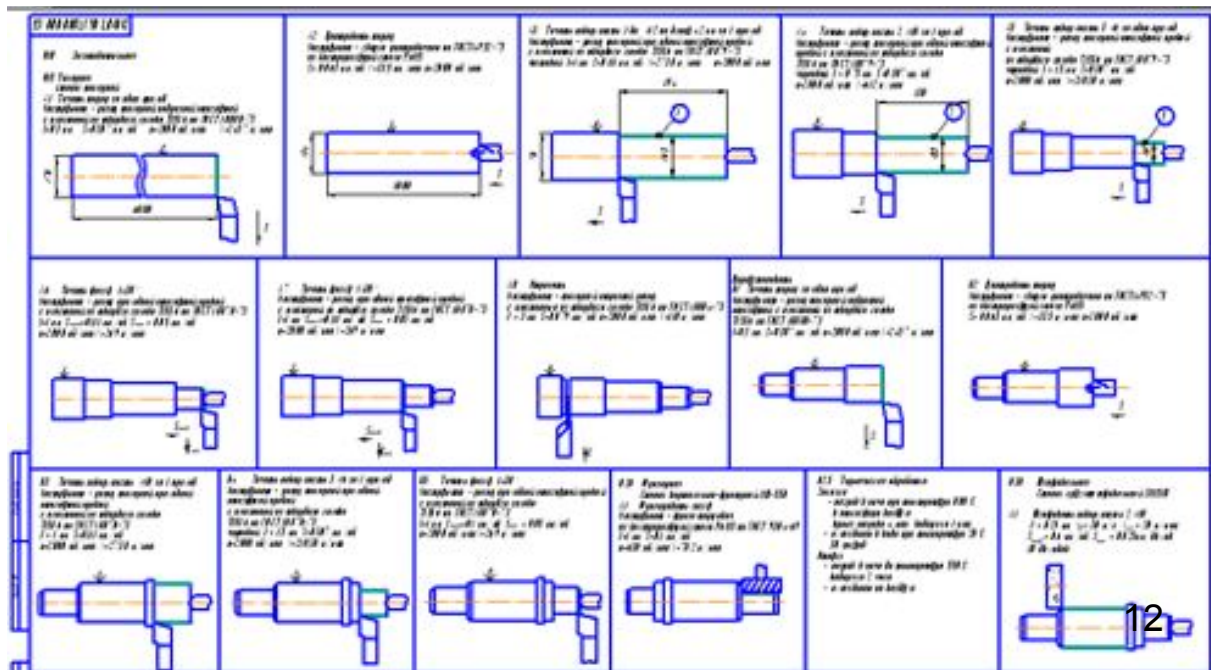






# Основные понятия

**Операция** – законченная часть технологического процесса, выполняемая на одном рабочем месте.



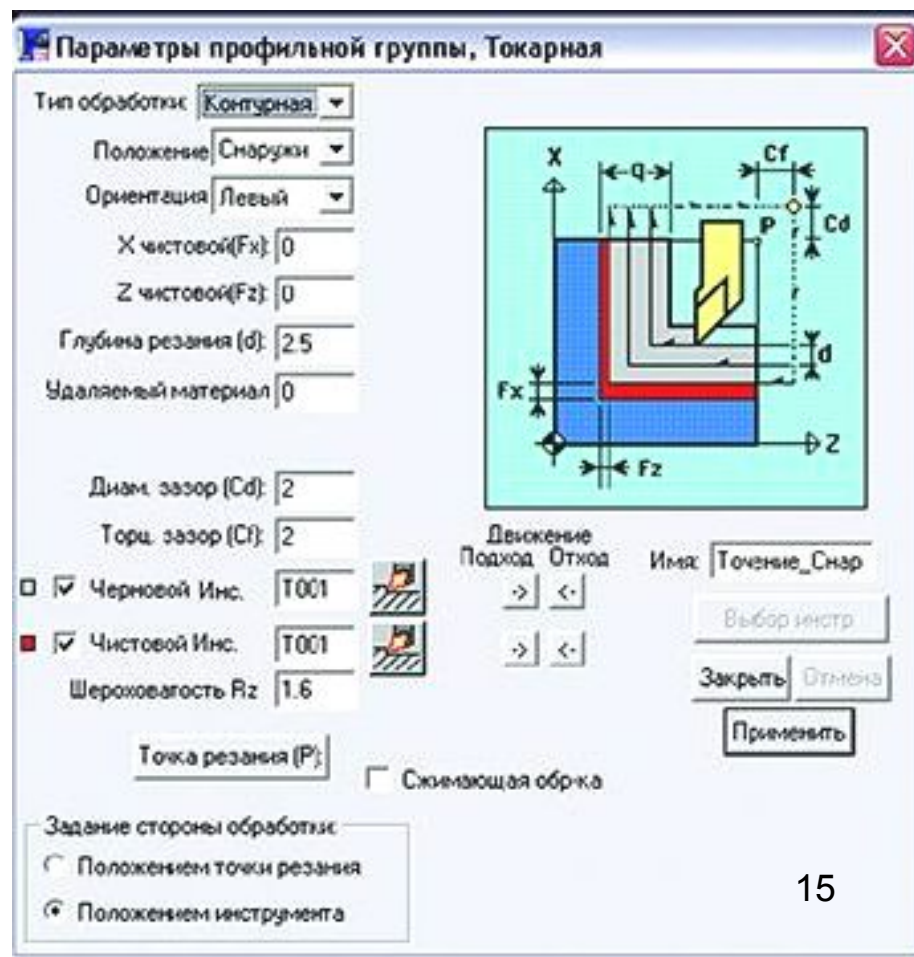
## Основные понятия

**Установ** – часть операции, выполняемая при одном закреплении обрабатываемой детали.

**Позиция** – каждое отдельное фиксированное положение детали совместно с приспособлением, в котором она установлена, относительно рабочих органов станка.

# Основные понятия

**Переход** – законченная часть операции, выполняемая одними и теми же средствами технологического оснащения при постоянных режимах обработки и установке заготовки.



# Переходы

## **Основные**

непосредственно  
связанны с  
осуществлением  
технологического  
воздействия.

## **Вспомогательные**

состоят из действий чело-  
века и (или) оборудова-  
ния, которые не сопро-  
вождаются изменением  
свойств изделия, но необ-  
ходимы для выполнения  
основных переходов.



# Основные переходы

## Рабочий ход (проход)

законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, сопровождаемого изменением формы, размеров или качества поверхности заготовки.

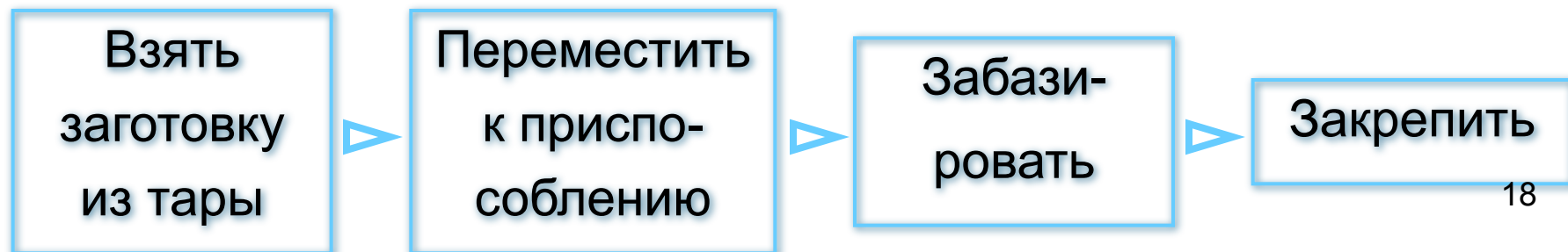
## Вспомогательный ход

законченная часть перехода, состоящая из однократного перемещения инструмента относительно заготовки, необходимого для подготовки рабочего хода.

## Основные понятия

**Приём** – законченная совокупность действий рабочего, применяемых при выполнении перехода или его части и объединённых одним целевым назначением.

### Приём «Установка заготовки»



# Типы и формы организации производства



**Тип производства** – это классификационная категория производства, выделяемая по признакам широты номенклатуры, регулярности, стабильности и объёма выпуска продукции.

**Объём выпуска** – это количество изделий определенного наименования и типоразмера, изготавливаемых или ремонтируемых предприятием в течение определённого периода времени.

**Производственная программа  
(программа выпуска изделий) –**  
перечень наименований  
изготавливаемых или  
ремонтируемых изделий с  
указанием объёма выпуска и  
сроков выполнения по каждому  
наименованию.

# Типы производства

## Единичное

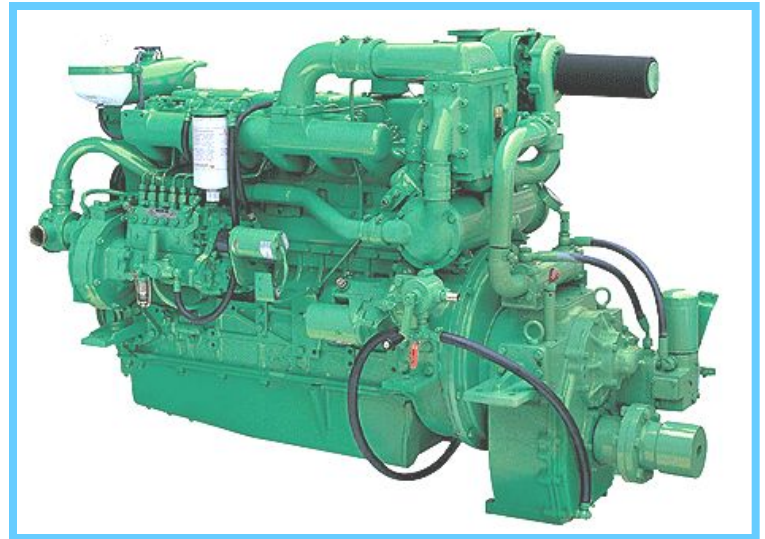
производство, характеризующееся малым объёмом выпуска одинаковых изделий, повторное изготовление которых по тем же чертежам, как правило, не предусматривается



# Типы производства

## Серийное

изготовление изделий  
периодически  
повторяющимися  
партиями или сериями  
по неизменным  
чертежам в течение  
продолжительного  
времени





# Типы производства

## Массовое

непрерывный выпуск  
изделий в больших  
объёмах по  
неизменным чертежам  
продолжительное  
время



# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Объёмы выпуска	Малые	Средние	Большие
Повторяемость изделий	Отсутствует	Изделия изготавливаются партиями	Непрерывное изготовление одних и тех же изделий

# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Загрузка оборудования	Загрузка разнообразными деталями	Загрузка партиями деталей	Обработка одних и тех же деталей
Применяемое оборудование	Универсальное, станки с ЧПУ	Универсальное, частично специальное, станки с ЧПУ	Специальное

# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Оснастка	Универсальная	Универсальный и специальный инструмент; переналаживаемая оснастка	Специальный инструмент и оснастка, автоматическая смена инструмента

# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Настройка оборудования	Нет предварительной настройки. Работа ведётся пробными ходами и промерами	Обработка на настроенном оборудовании	Применение сложных настроек и их автоматизация

# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Получение размеров	Обработка по разметке	В основном – автоматическое получение размеров	Автоматическое получение размеров
Квалификация рабочих	Высокая	Различная	У рабочих – низкая; у наладчиков – высокая <sub>30</sub>

# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Обеспечение заданной точности изделий	Пригоночные работы; ограниченное применение взаимозаменяемости	Пригоночных работ мало; неполная или групповая взаимозаменяемость	Полная или групповая взаимозаменяемость

# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Расстановка оборудования	По типам станков	По типам или по ходу техпроцесса	По ходу техпроцесса
Технологическая документация	Маршрутный техпроцесс	Операционный техпроцесс	Подробная технология с детализацией до приёмов



# Сравнительная характеристика

	Единичное	Серийное	Массовое
Назначение норм времени	Опытно-статистическое нормирование	Техническое нормирование	Техническое нормирование и уточнение норм

# Определение типа производства

Коэффициент закрепления операций:

$$K_{з.о} = \frac{\sum O_T}{\sum P_M}$$

$\sum O_T$  – число всех технологических операций, выполненных или подлежащих выполнению в течение одного месяца,  
 $\sum P_M$  – число рабочих мест

**Коэффициент закрепления операций согласно ГОСТ принимают равным:**

**массовое производство – 1;**  
**крупносерийное – свыше 1 до 10 включительно;**  
**среднесерийное – свыше 10 до 20 включительно;**  
**мелкосерийное – свыше 20 до 40 включительно;**  
**единичное – свыше 40.**

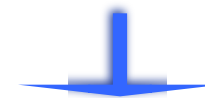
# Формы организации производства



## Поточная

Поточная форма организации характеризуется расположением всех средств производства по ходу технологического процесса с формированием поточных или автоматических линий. Заготовки без задержек передаются с одной операции на другую, а деталь – сразу на сборку.

**Массовое и крупносерийное  
производство**



## Непоточная

# Поточное производство

## Непрерывно-поточное

Однопредметные линии, за каждой из которых закреплены детали одного наименования.

Массовое производство

## Переменно-поточное

Многopредметные линии, на которых продукция изготавливается путём периодического переключения с выпуска одного изделия на выпуск другого.

Крупносерийное  
производство

# Формы организации производства



## Поточная

Поточная форма организации характеризуется расположением всех средств производства по ходу технологического процесса с формированием поточных или автоматических линий. Заготовки без задержек передаются с одной операции на другую, а деталь – сразу на сборку.

**Массовое и крупносерийное  
производство**



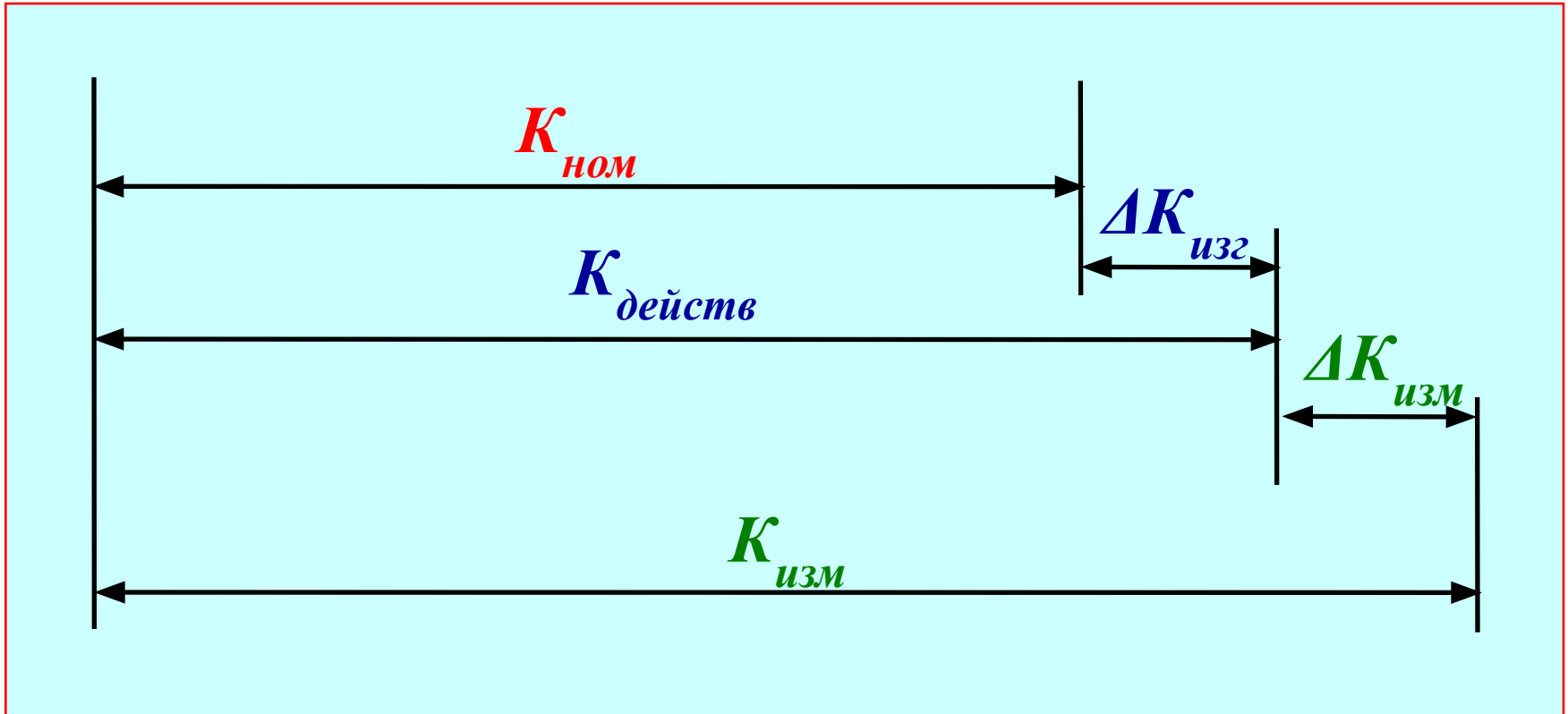
## Непоточная

При непоточной форме движение заготовок на разных стадиях изготовления прерывается пролёживанием на рабочих местах или на складах. Заготовки находятся в движении с разной скоростью и разной величиной пролёживания.

**Единичное, мелко- и средне-  
серийное производство**

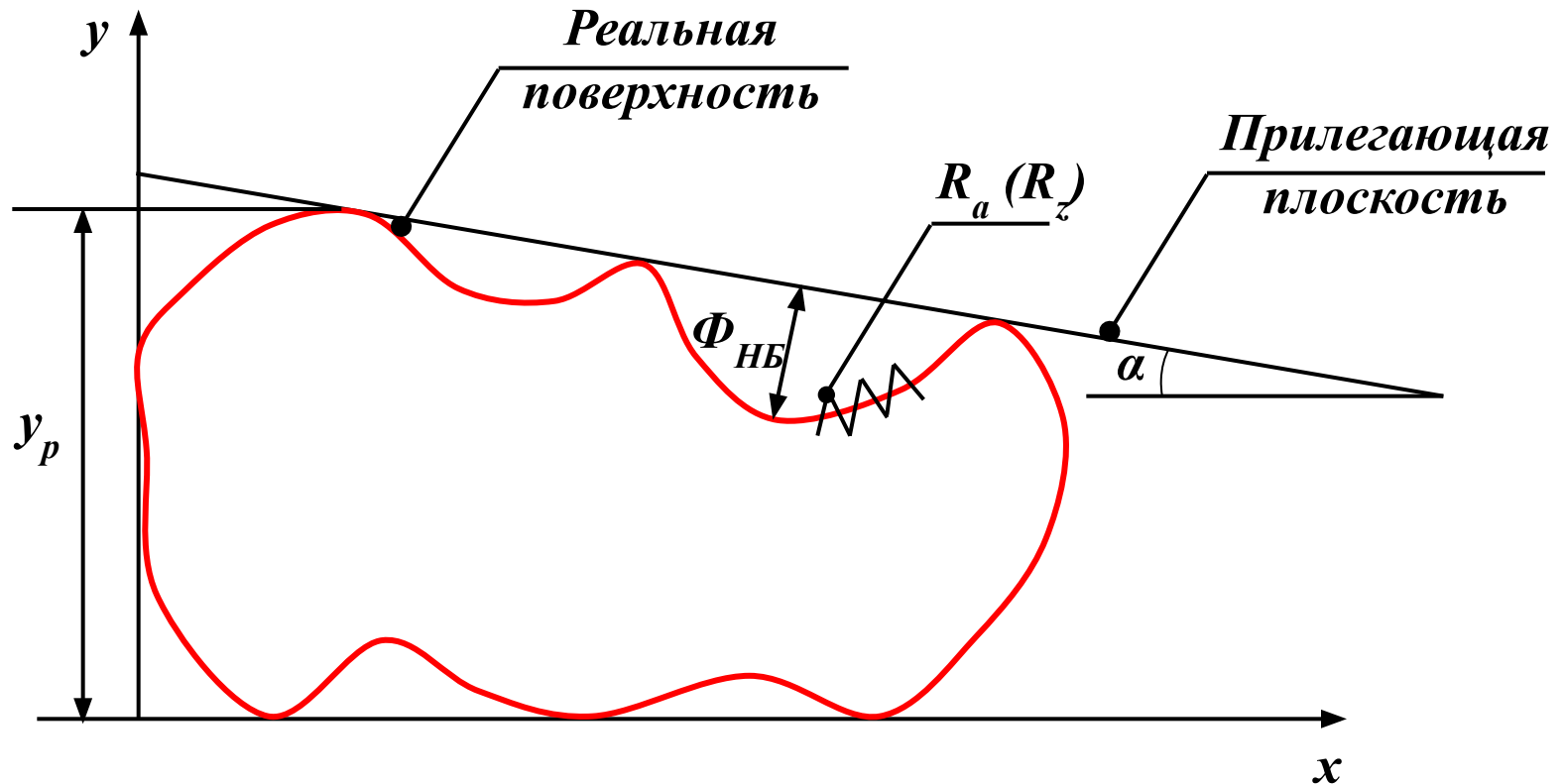
# Показатели качества изделий

## Три вида значений показателя К



# Показатели качества изделий

## Геометрическая точность реальной поверхности



$y_p$  – размер (расстояние) по оси  $y$ ;

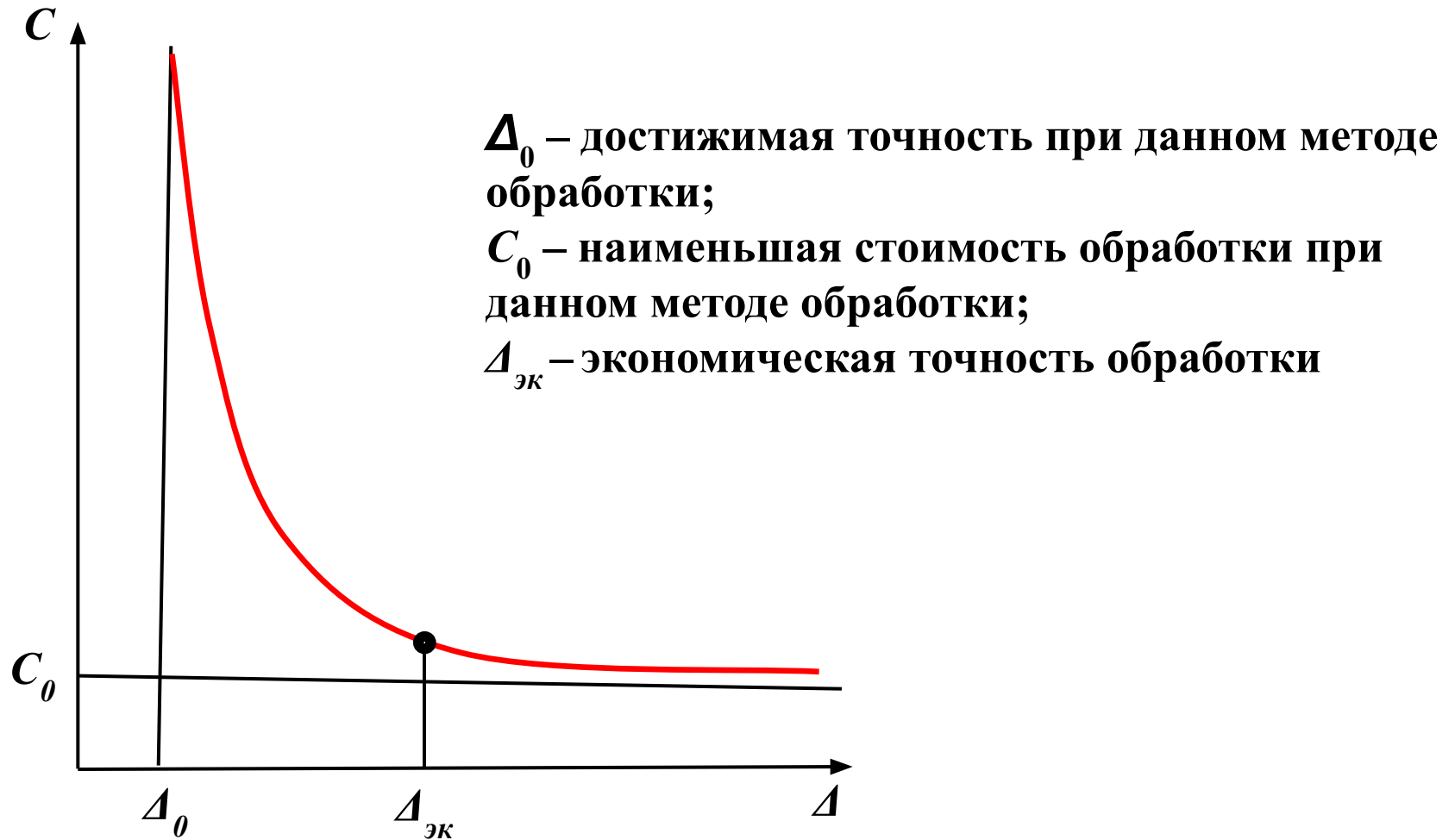
$\alpha$  – угол относительного положения плоскости (угол поворота);

$\Phi_{NB}$  – наибольшее отклонение формы реальной поверхности от прилегающей плоскости;

$R_a, R_z$  – параметры шероховатости поверхности.

# Показатели качества изделий

## Зависимость стоимости от точности обработки





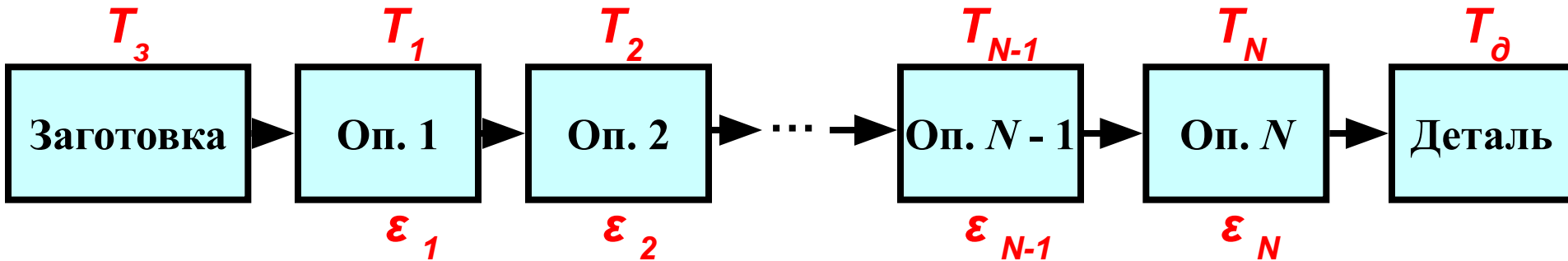
# Показатели качества изделий

Общий расчетный коэффициент уточнения  
(общее расчетное уточнение):

$$\varepsilon = \frac{T_3}{T_\partial}$$

$T_3$  – допуск на размер заготовки,

$T_\partial$  – допуск на соответствующий размер готовой детали



$$\varepsilon_1 = \frac{T_3}{T_1}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{T_1}{T_2}$$

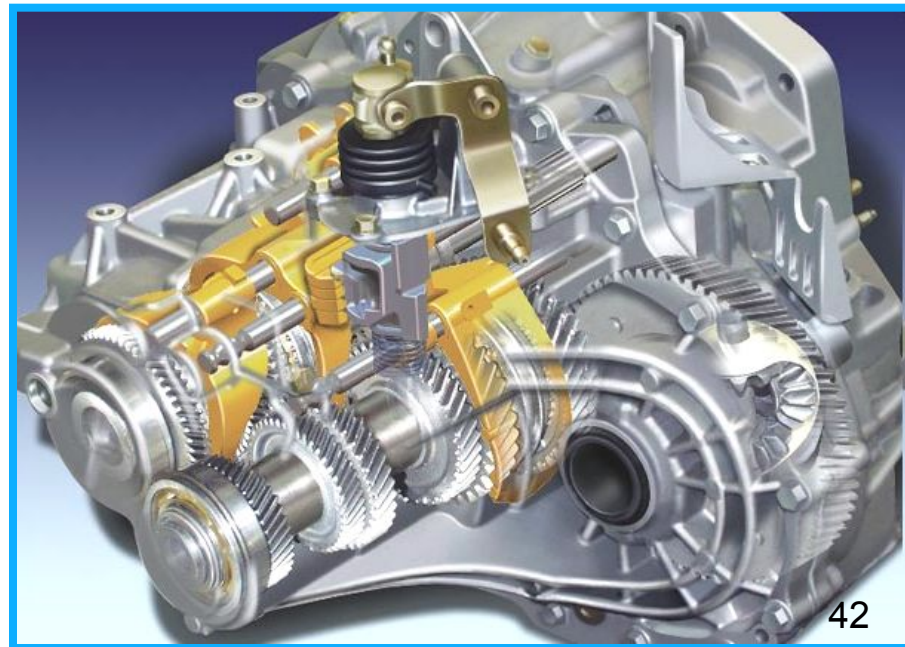
...

$$\varepsilon_{N-1} = \frac{T_{N-2}}{T_{N-1}}$$

$$\varepsilon_N = \frac{T_{N-1}}{T_N}$$

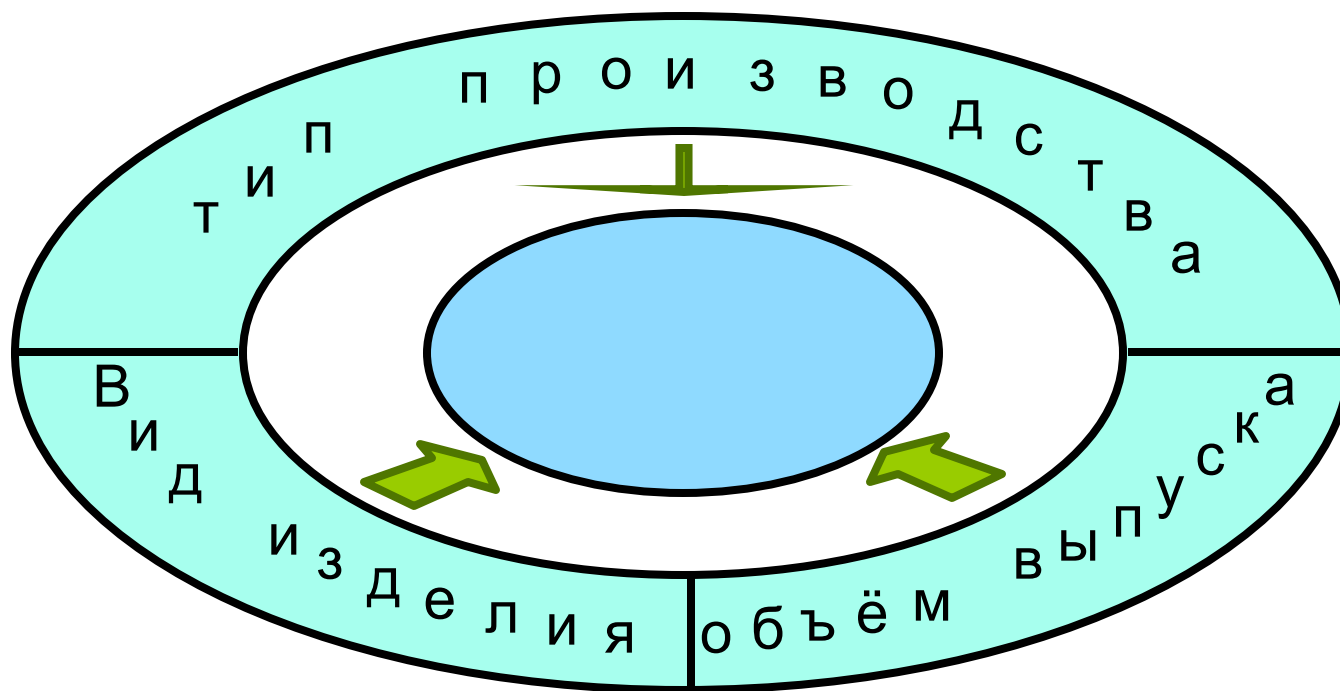
$$\varepsilon = \varepsilon_1 \times \varepsilon_2 \times \dots \times \varepsilon_n$$

# Технологичность



**Технологичность** – это совокупность свойств конструкции, определяющих её приспособленность к достижению оптимальных затрат на всех этапах её жизненного цикла.

# Факторы, влияющие на технологичность

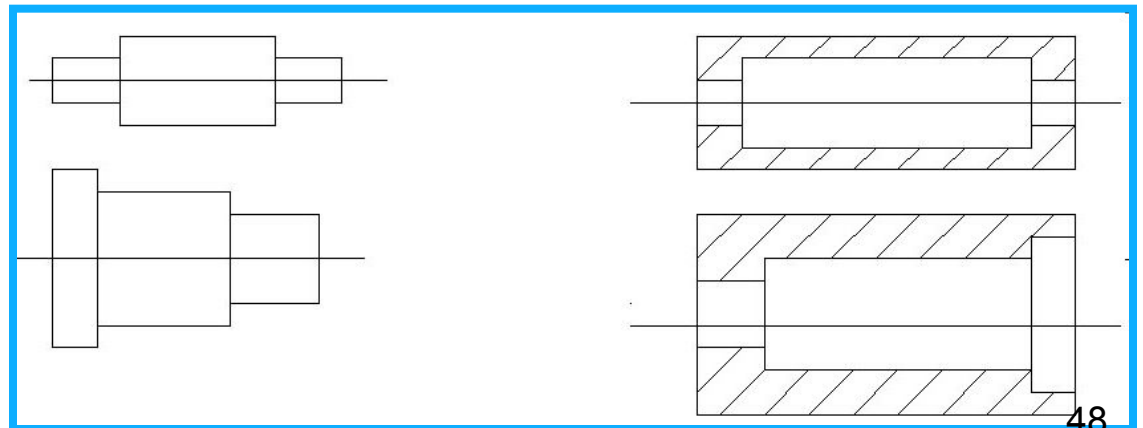


**Производственная технологичность –**  
это совокупность свойств конструкции,  
позволяющая изготовить и собрать её  
в условиях данного производства с  
наименьшими затратами труда и  
материалов при обеспечении  
заданного качества.

**Ремонтная технологичность – это совокупность свойств конструкции, позволяющая ремонтировать её в условиях данного производства с наименьшими затратами труда и материалов.**

**Эксплуатационная технологичность –**  
**это совокупность свойств**  
**конструкции, обеспечивающая**  
**возможно более длительное**  
**сохранение её заданных**  
**эксплуатационных качеств.**

# Качественная оценка ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ





# Технологичная конструкция должна предусматривать:

а) Максимальное использование унифицированных сборочных единиц и деталей.

Унификация – это один из методов стандартизации: приведение различных видов продукции и средств её производства к наименьшему числу типоразмеров, марок, свойств и т.п.

# Технологичная конструкция должна предусматривать:

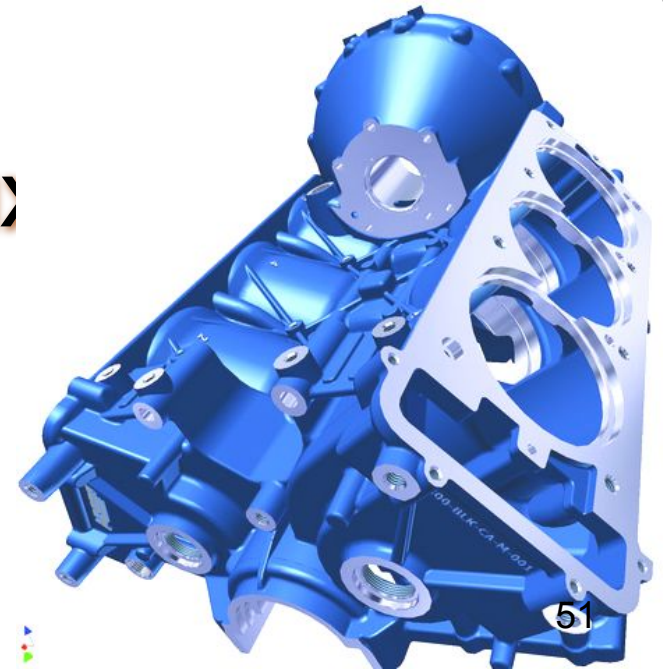
а) Максимальное использование унифицированных сборочных единиц и деталей.



# Технологичная конструкция должна предусматривать:

а) Максимальное использование унифицированных сборочных единиц и деталей.

б) Минимальное количество оригинальных деталей сложной конструкции.



# Технологичная конструкция должна предусматривать:

в) Создание деталей рациональной формы с легко доступными для обработки поверхностями и достаточной жёсткостью.

# Технологичная конструкция должна предусматривать:

г) Наличие на деталях удобных  
базирующих поверхностей или  
возможность создания  
вспомогательных технологических  
баз.

# Технологичная конструкция должна предусматривать:

д) Возможность применения  
заготовок, максимально  
приближенных к готовым деталям.

# Технологичная конструкция должна предусматривать:

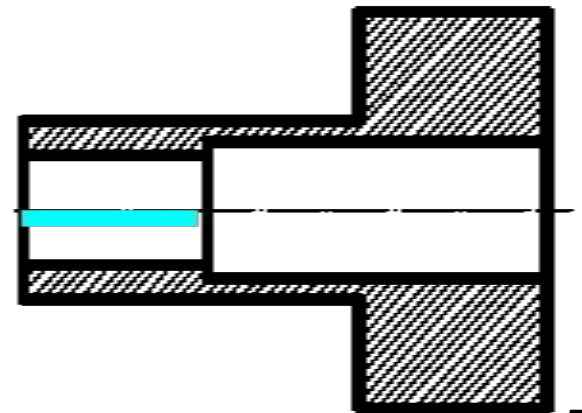
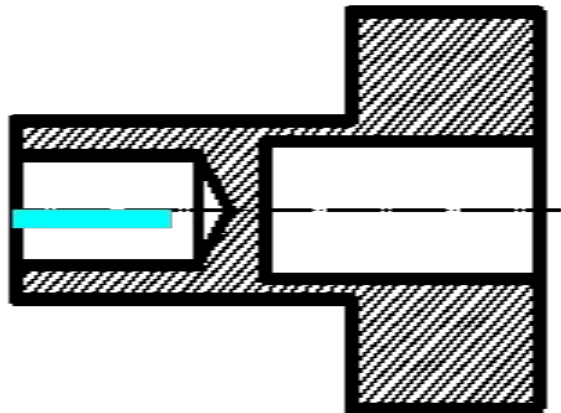
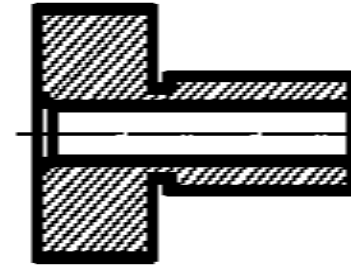
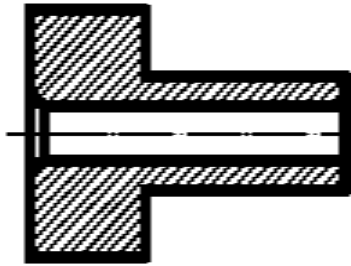
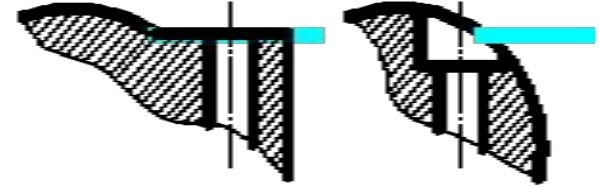
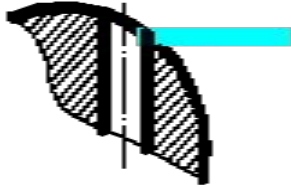
е) Минимальное применение  
пригоночных работ при сборке.

ж) Простоту сборки и возможность  
выполнения параллельной сборки  
изделия.

# Технологичность конструкции изделий

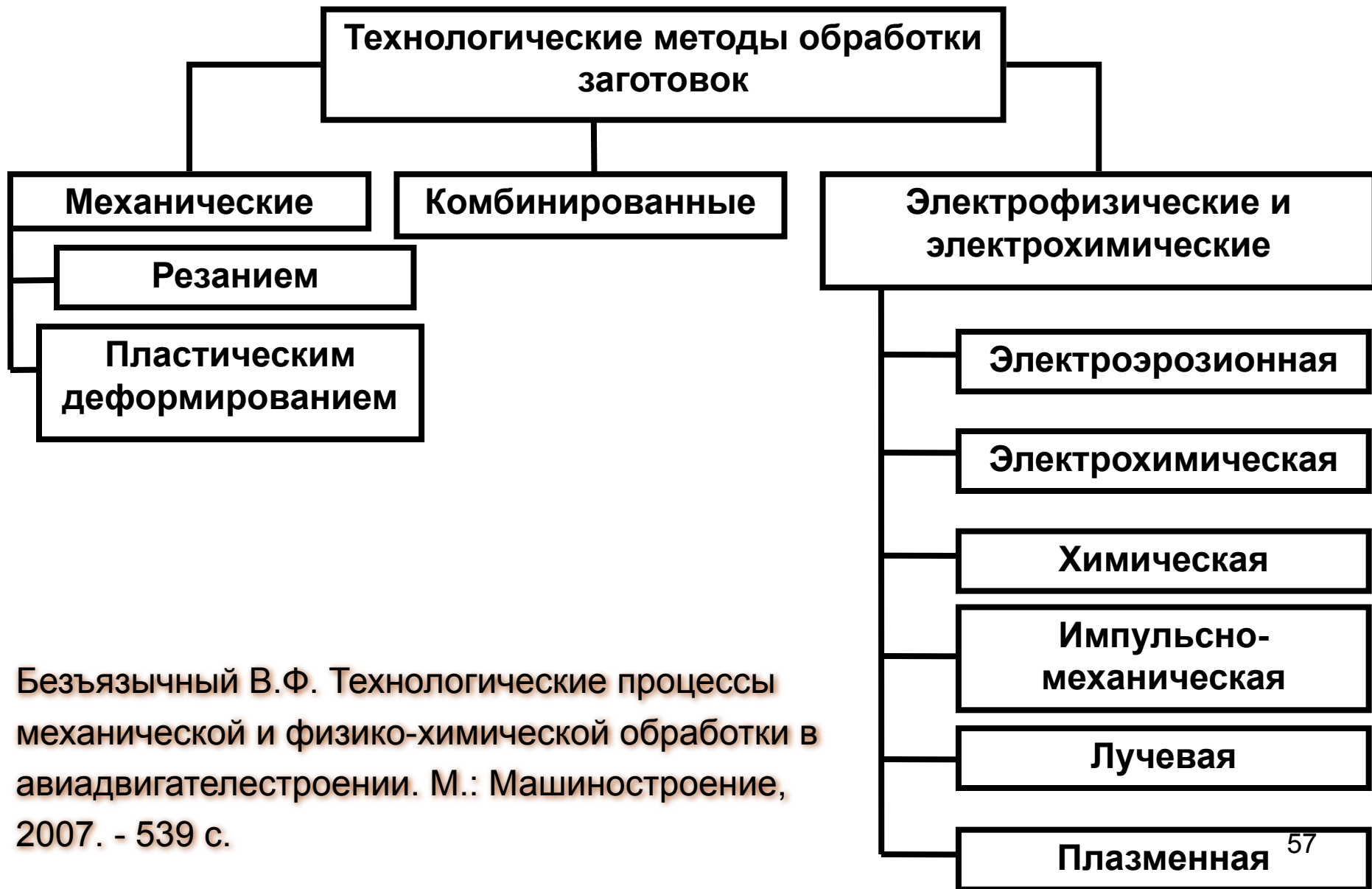
*НЕтехнологично*

*Технологично*



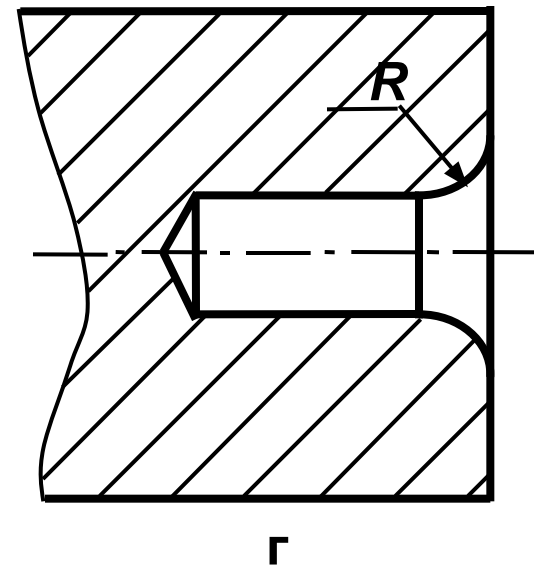
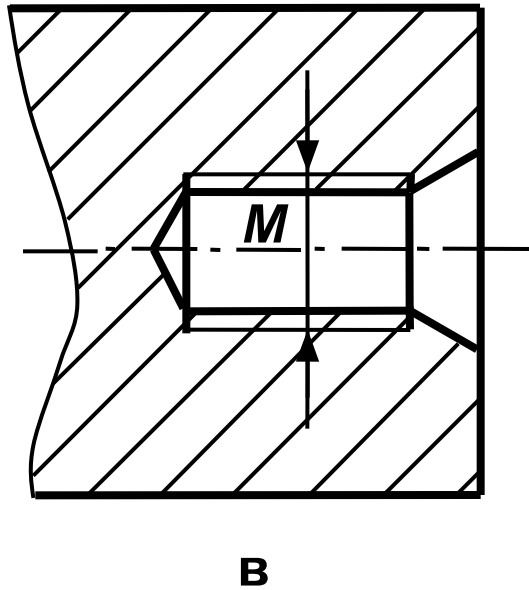
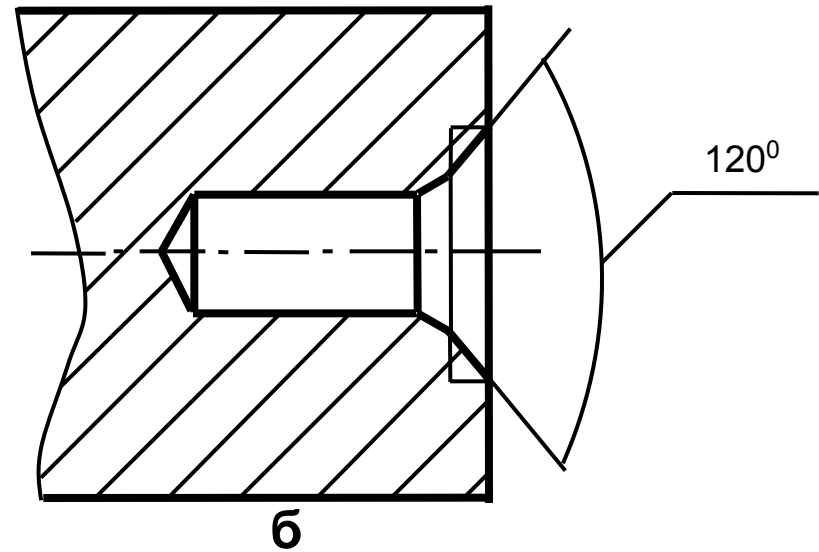
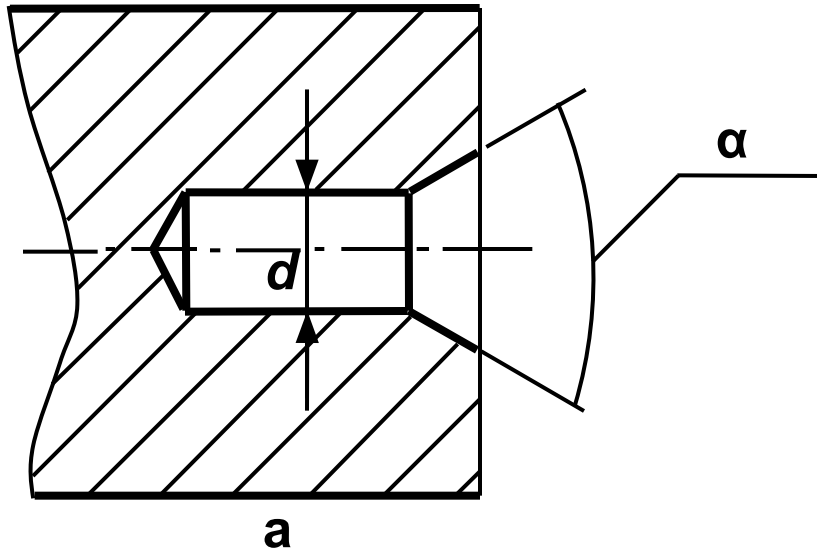


# Классификация технологических методов обработки

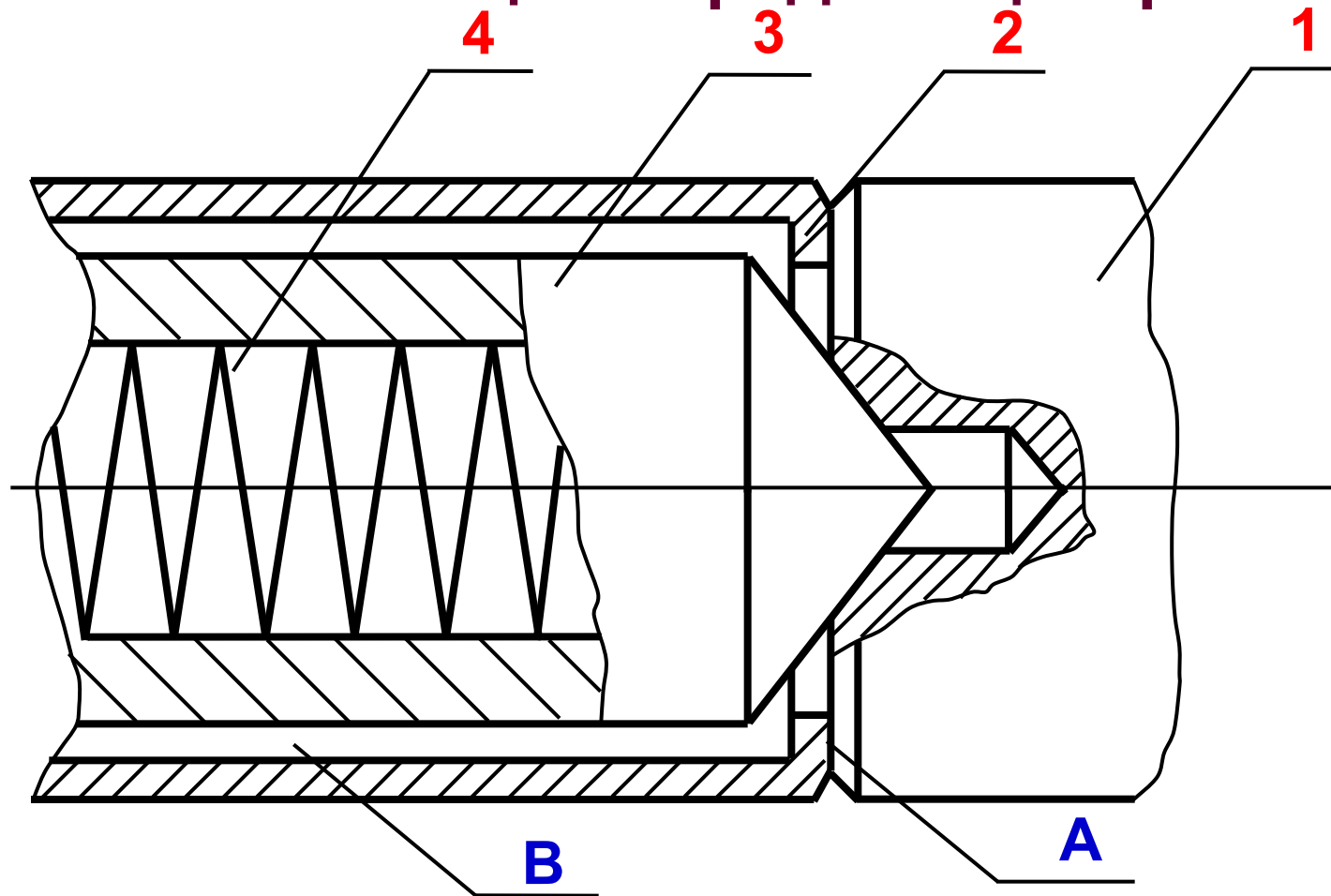


Безъязычный В.Ф. Технологические процессы механической и физико-химической обработки в авиадвигателестроении. М.: Машиностроение, 2007. - 539 с.

# Виды центровочных отверстий



# Плавающий передний центр



**1** – обрабатываемая деталь

**2** – опорная втулка

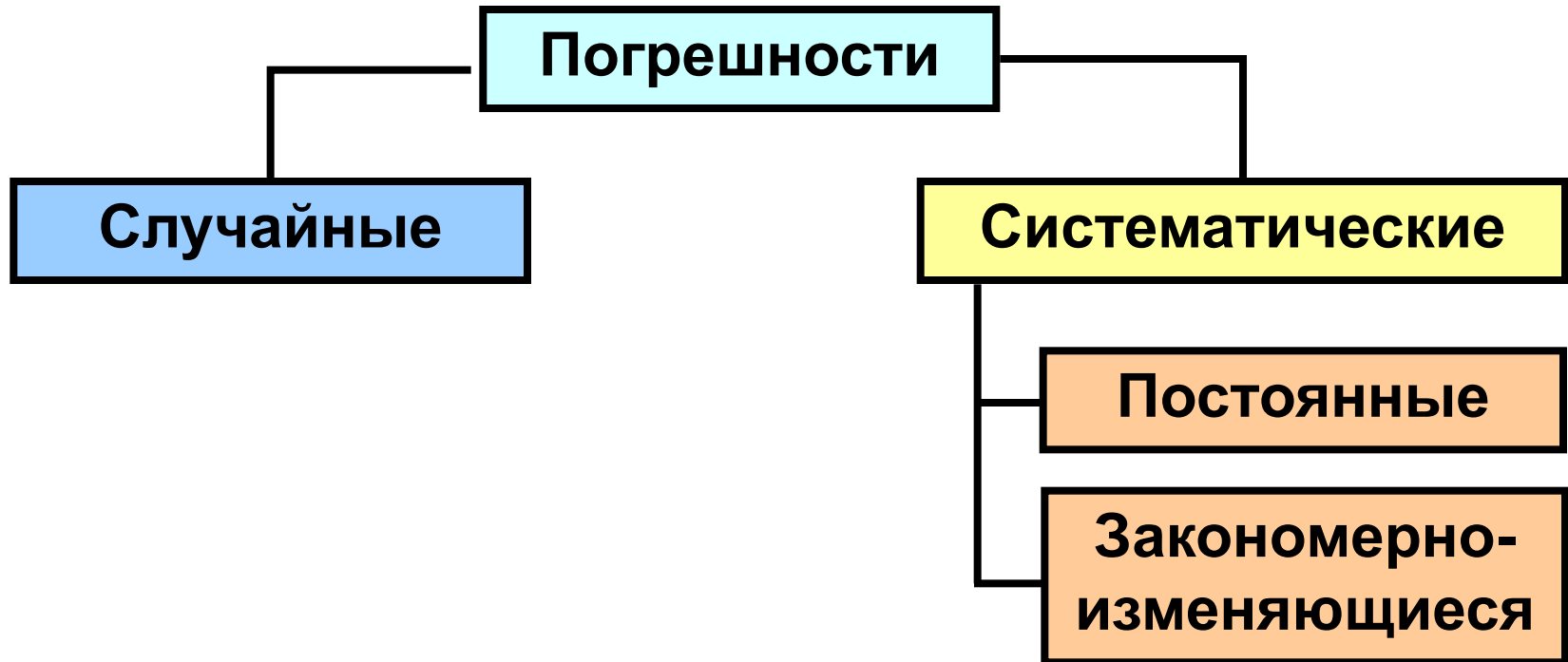
**3** – подвижный центр

**4** – пружина

**A** – опорный торец

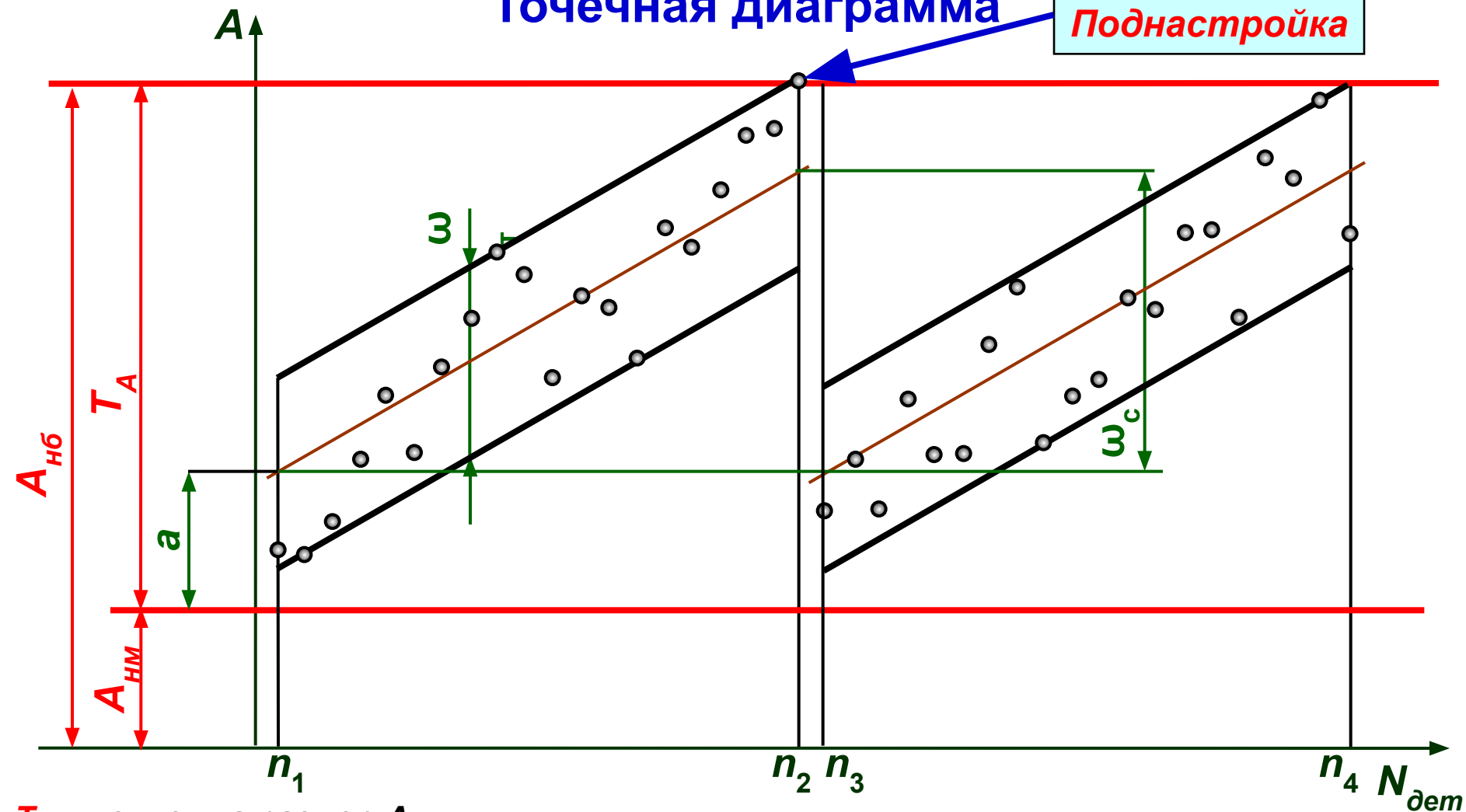
**B** – зазор между опорной втулкой и центром

## Классификация погрешностей



# Точечная диаграмма

Поднастройка



$T_A$  – допуск на размер  $A$ ;

$A_{нб}$  и  $A_{нм}$  – предельно допустимые значения размера  $A$ ;

$n_1, n_2, n_3, n_4$  – номера обработанных деталей;

$a$  – погрешности, вызванные действием постоянных факторов;

$\omega_T$  – поле рассеяния под действием случайных факторов;

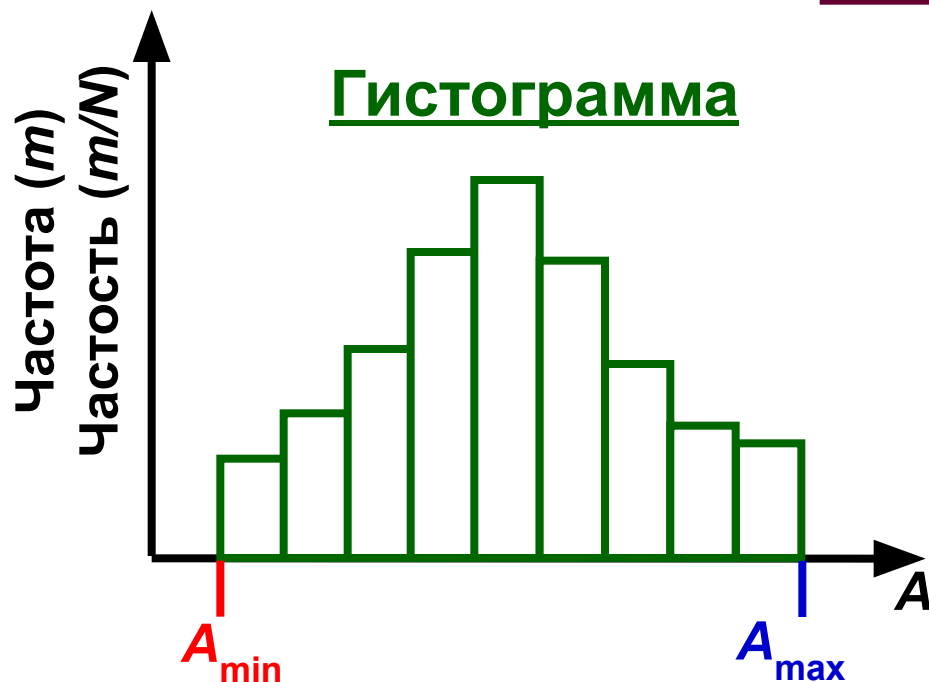
$\omega_c$  – поле рассеяния под действием систематических факторов, изменяющихся по определенному закону.

# Статистические методы исследования качества изделий

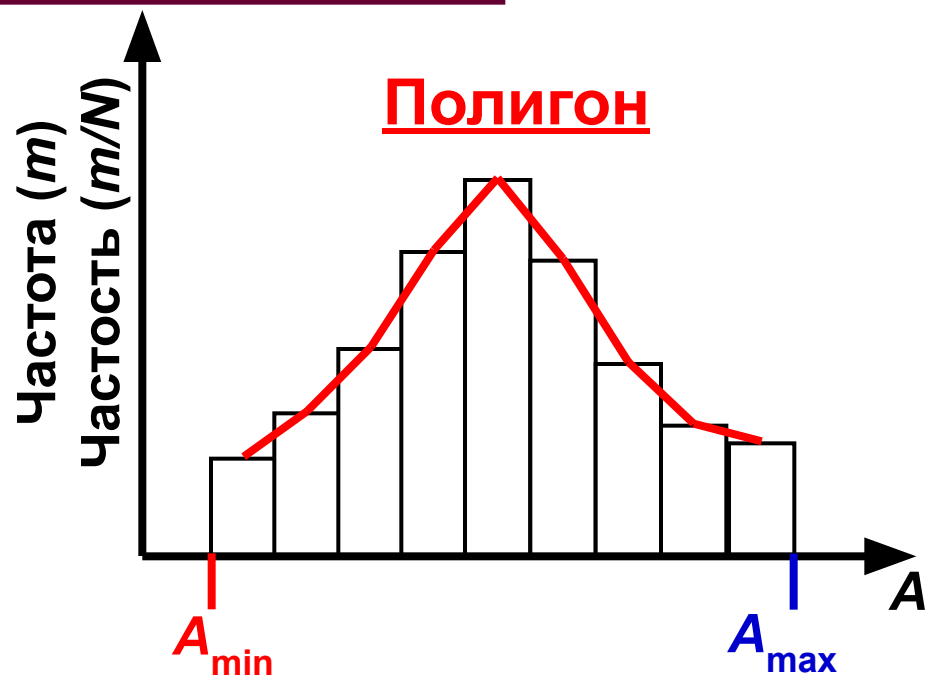
Поле рассеяния:

$$\omega_A = A_{\max} - A_{\min}$$

Гистограмма



Полигон

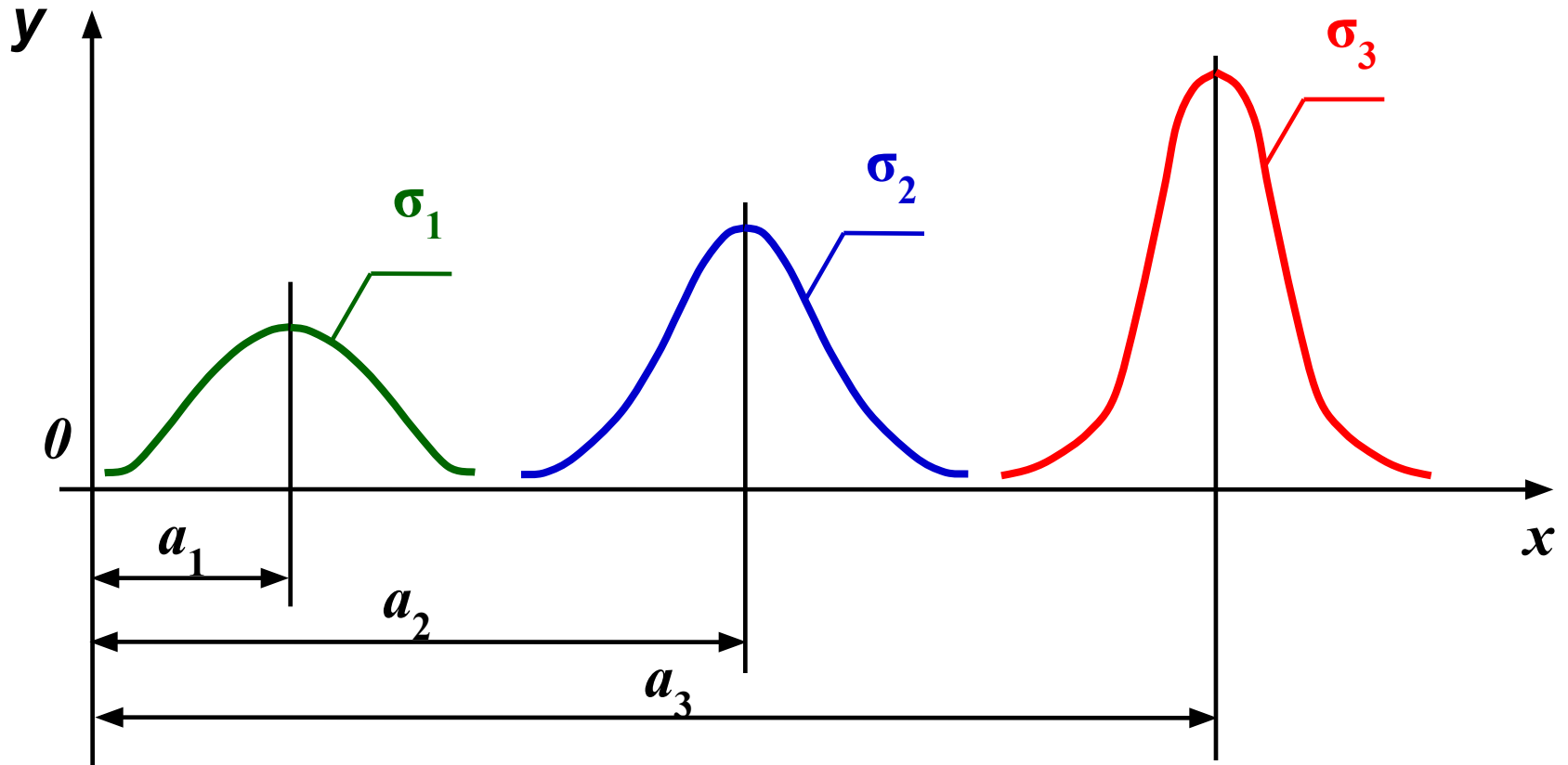


**Среднее квадратическое (стандартное)  
отклонение**

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

$N$  – число произведенных измерений  
 $x_i$  – значение текущего измерения  
 $\bar{x}$  – среднее арифметическое значение  
произведенных измерений

# Изменение формы кривой распределения



$a_1, a_2, a_3$  – координаты центров распределения

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

Точность



## Коэффициент точности:

$$T_n = \frac{T}{6\sigma} \quad T - \text{допуск на размер детали}$$

$T_n > 1$  – достаточная точность процесса

$T_n < 1$  – точность процесса обработки деталей недостаточна

Коэффициент смещения кривой практического распределения размеров относительно кривой нормального распределения на поле допуска:

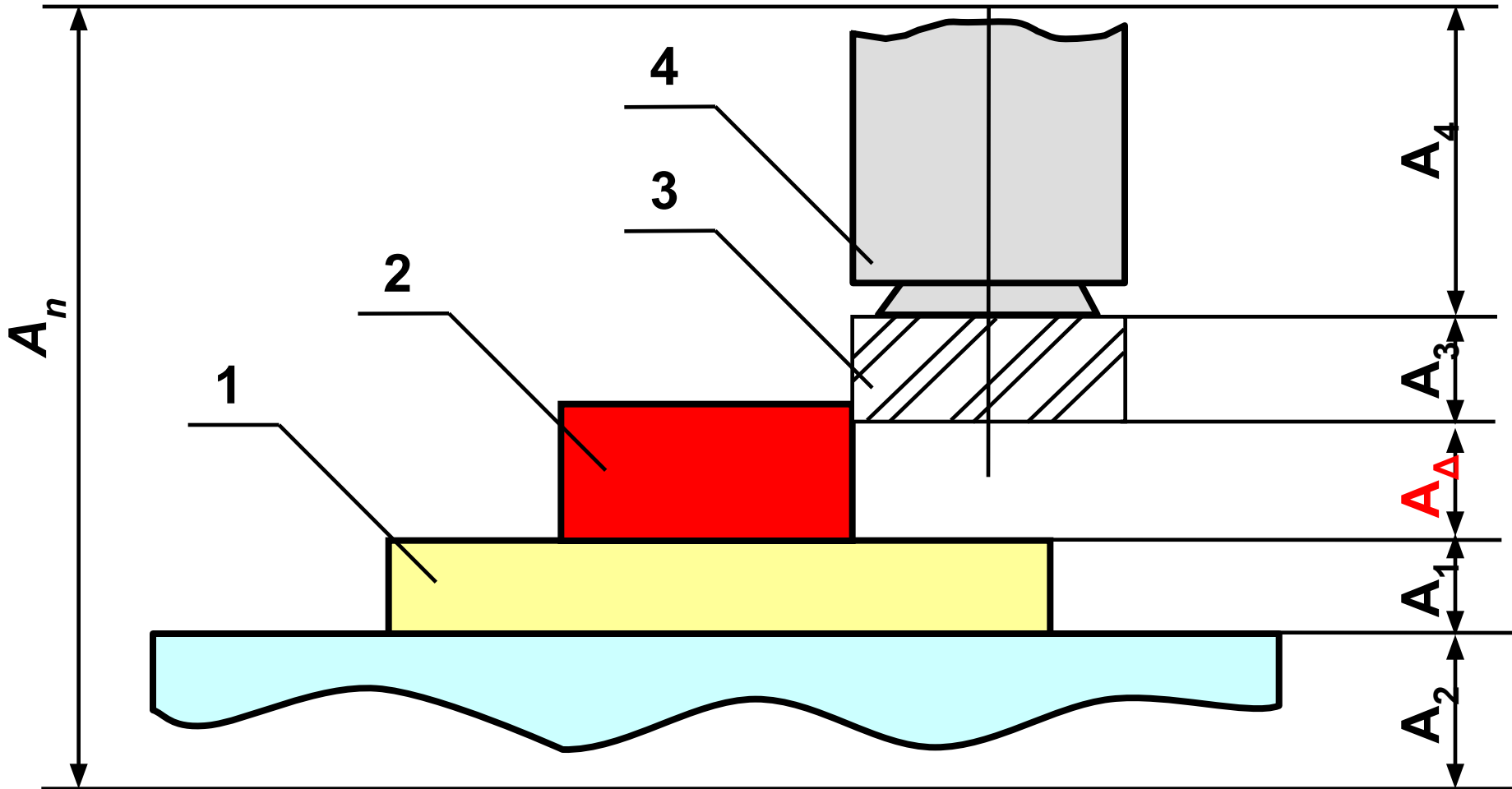
$$E = \frac{\bar{x} - x_{T0}}{T}$$

$x_{T0}$  - координата середины поля допуска



# Технологические размерные цепи

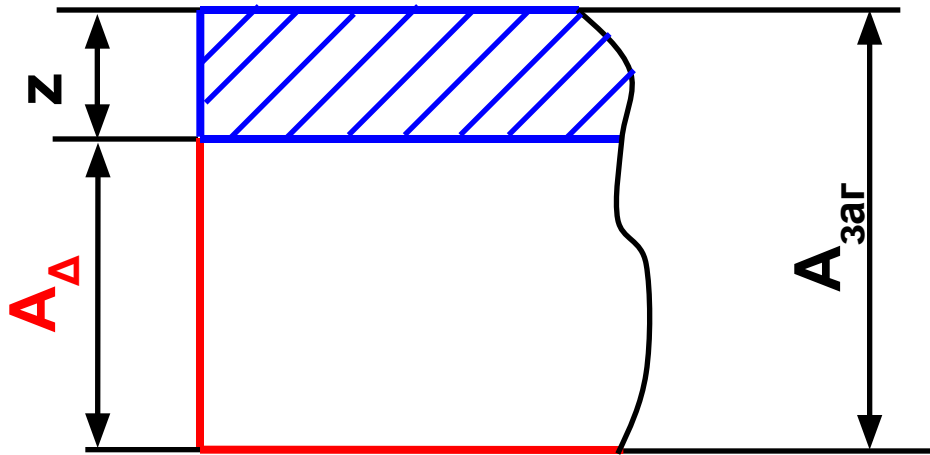
## Технологическая размерная цепь 1-го рода



- 1 – приспособление
- 2 – обрабатываемая заготовка
- 3 – фреза
- 4 – шпиндельная головка

# Технологические размерные цепи

## Технологическая размерная цепь 2-го рода



$A_{\Delta}$  - замыкающее звено,

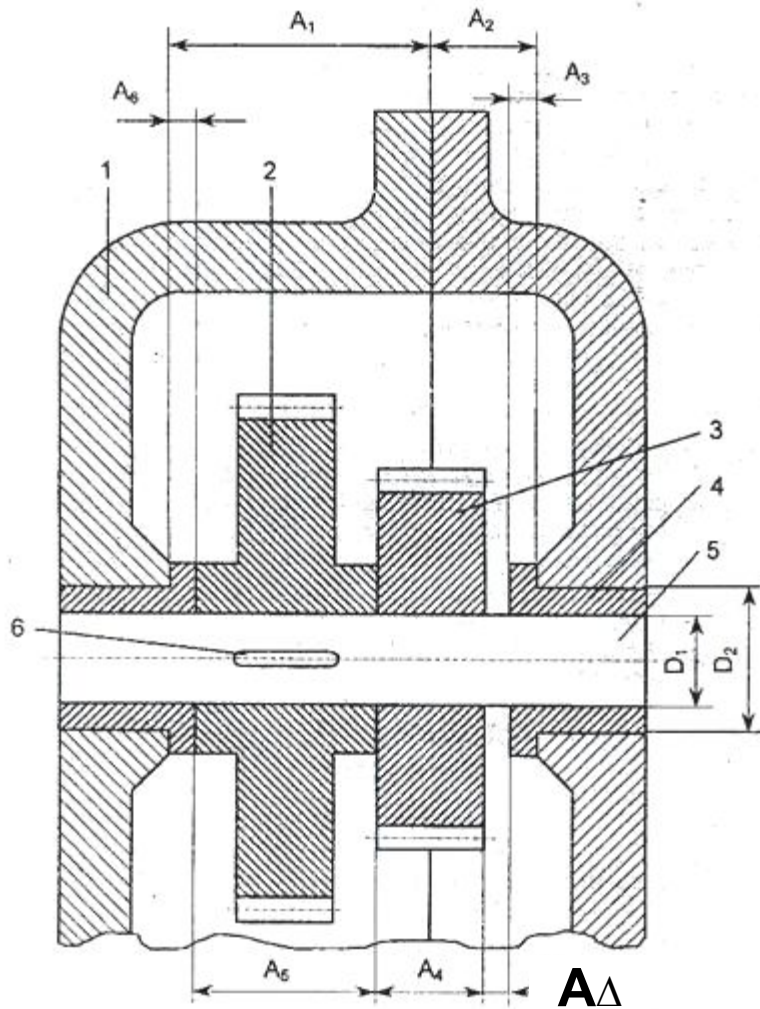
$z$  – припуск на обработку,

$A_{\text{заг}}$  – размер заготовки (размер, полученный на предыдущей операции обработки данной поверхности)

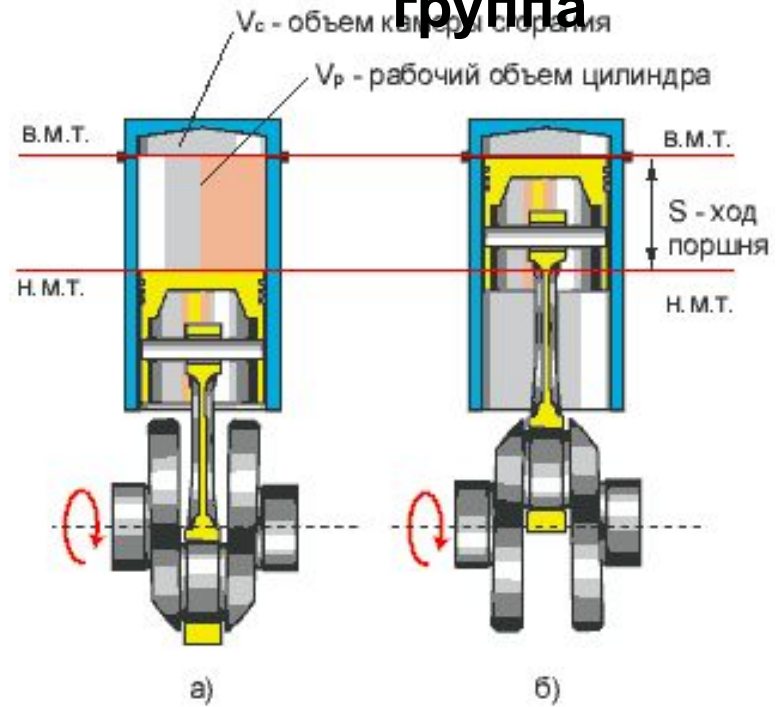
$A_{\Delta}$  является общим звеном у обоих видов технологических размерных цепей

# Размерные цепи

## Редуктор



## Поршневая группа



$$TA_{\Delta} = TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5 + TA_6$$

# Методы достижения заданной точности замыкающего звена (методы взаимозаменяемости)

## 1. Метод полной взаимозаменяемости

*Требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения в нее составляющих звеньев без пригонки, регулирования и подбора*

*Экономически оправданной областью использования данного метода являются малозвенные размерные цепи и размерные цепи с относительно широким полем допуска замыкающего звена*

# Методы достижения заданной точности замыкающего звена (методы взаимозаменяемости)

## 2. Метод неполной взаимозаменяемости

*Требуемая точность замыкающего звена достигается с некоторым, заранее обусловленным риском, путем включения в размерную цепь составляющих звеньев без пригонки, регулирования и подбора*

**Полная  
взаимозаменяемость**

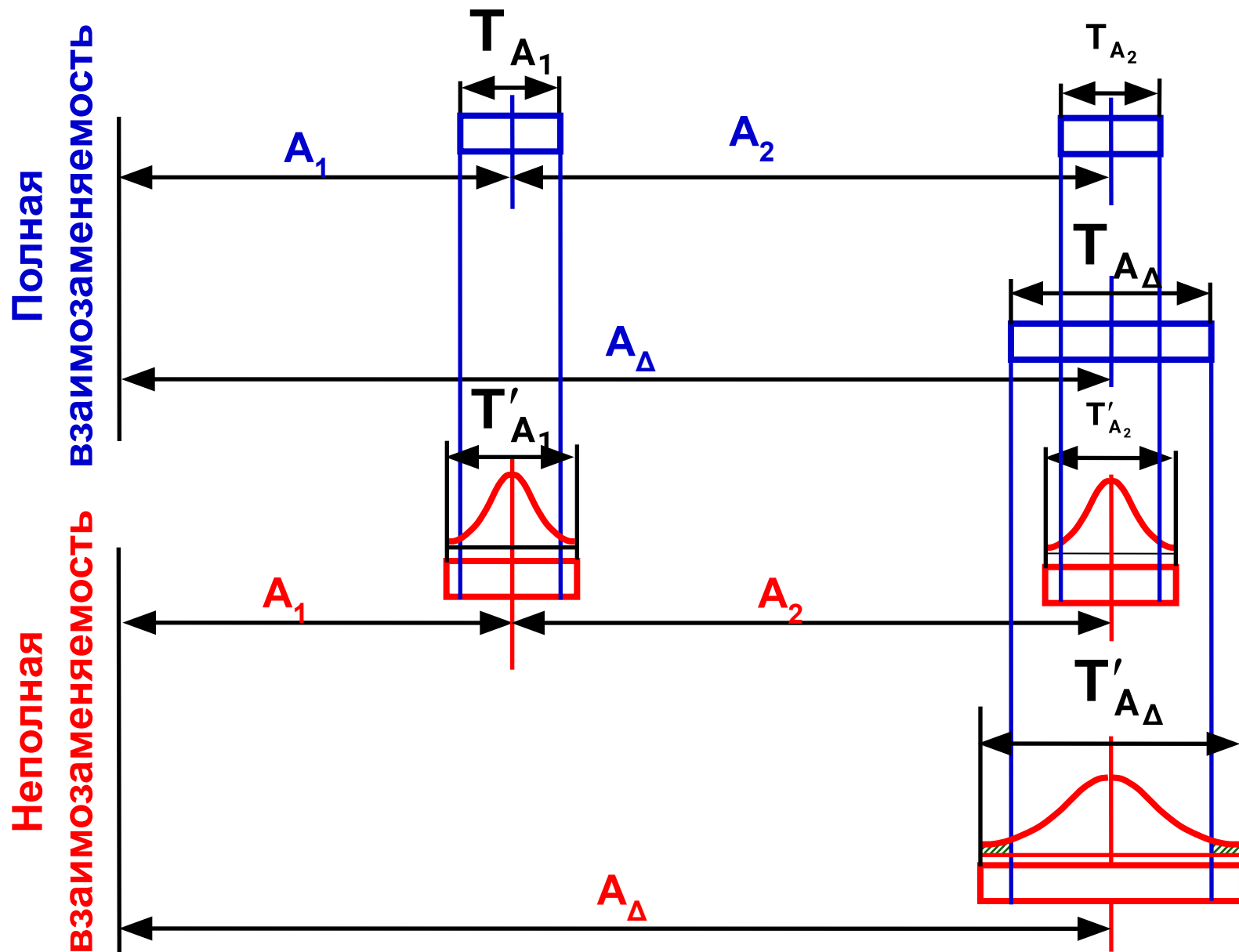
$$T_{A_{\Delta}} = T_{A_1} + T_{A_2}$$

**Неполная  
взаимозаменяемость**

$$T'_{A_1} > T_{A_1} \text{ и } T'_{A_2} > T_{A_2}$$

$$T'_{A_{\Delta}} = T'_{A_1} + T'_{A_2}$$

# Сравнительная схема достижения точности замыкающего звена методами **полной** и **неполной** взаимозаменяемости

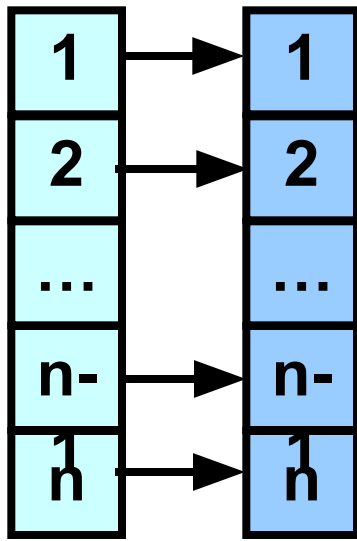


# Методы достижения заданной точности замыкающего звена (методы взаимозаменяемости)

## 3. Метод групповой взаимозаменяемости

*Требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается каждый раз, когда в размерную цепь включаются составляющие звенья, принадлежащие к одной и той же группе, на которые они предварительно рассортированы*

Деталь 1      Деталь 2



$$T'_{\Delta} = nT_{\Delta}$$

**В границах каждой группы – полная взаимозаменяемость**

# Методы достижения заданной точности замыкающего звена (методы взаимозаменяемости)

## 4. Метод пригонки

*Требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением величины заранее выбранного звена (компенсирующего звена) путем удаления с него определенного слоя материала*

$$T'_i > T_i$$

$$T'_\Delta = \sum_{i=1}^{n-1} T'_i,$$
$$T'_\Delta > T_\Delta$$

Величина компенсации:

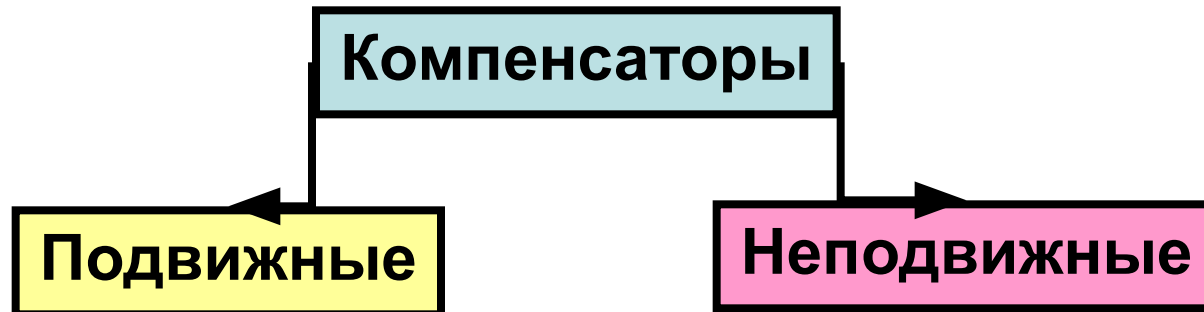
$$\delta_K = T'_\Delta - T_\Delta$$



# Методы достижения заданной точности замыкающего звена (методы взаимозаменяемости)

## 4. Метод регулирования

*Требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена без удаления с него слоя материала*

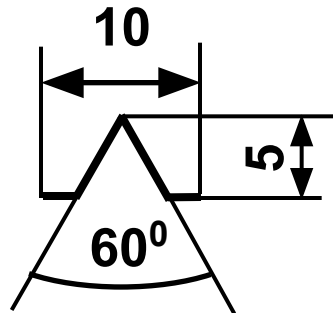


## Правило «шести точек»:

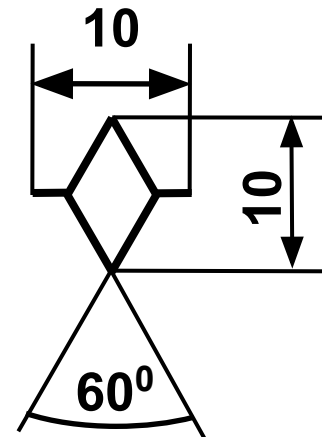
*Для того, чтобы определить положение любого абсолютно твердого тела необходимо и достаточно в выбранной системе координат наличие 6 геометрических связей, которые при соединении деталей превращаются в 6 опорных точек.*

### Условное обозначение опорной точки

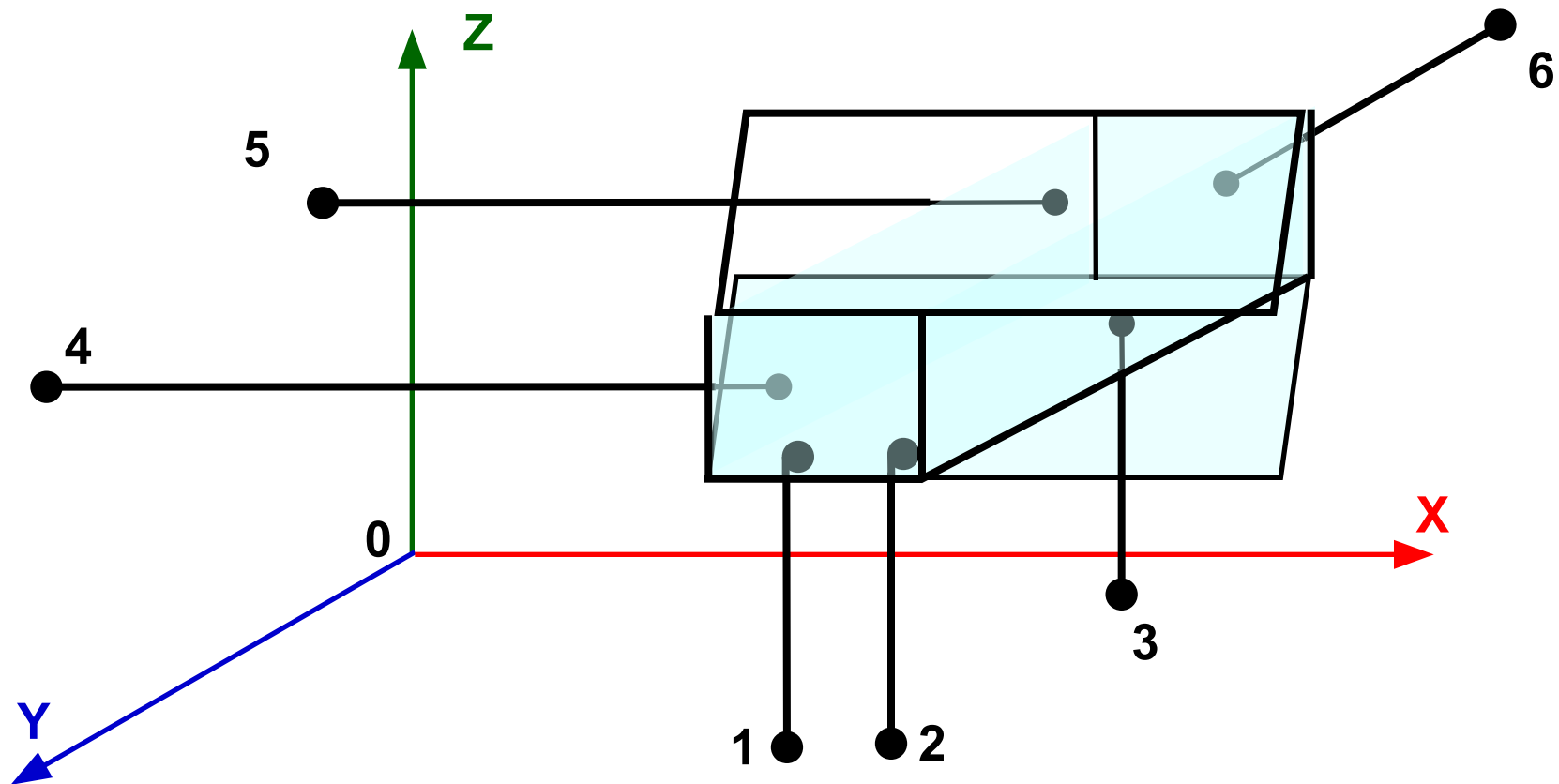
вид спереди и сбоку



вид сверху

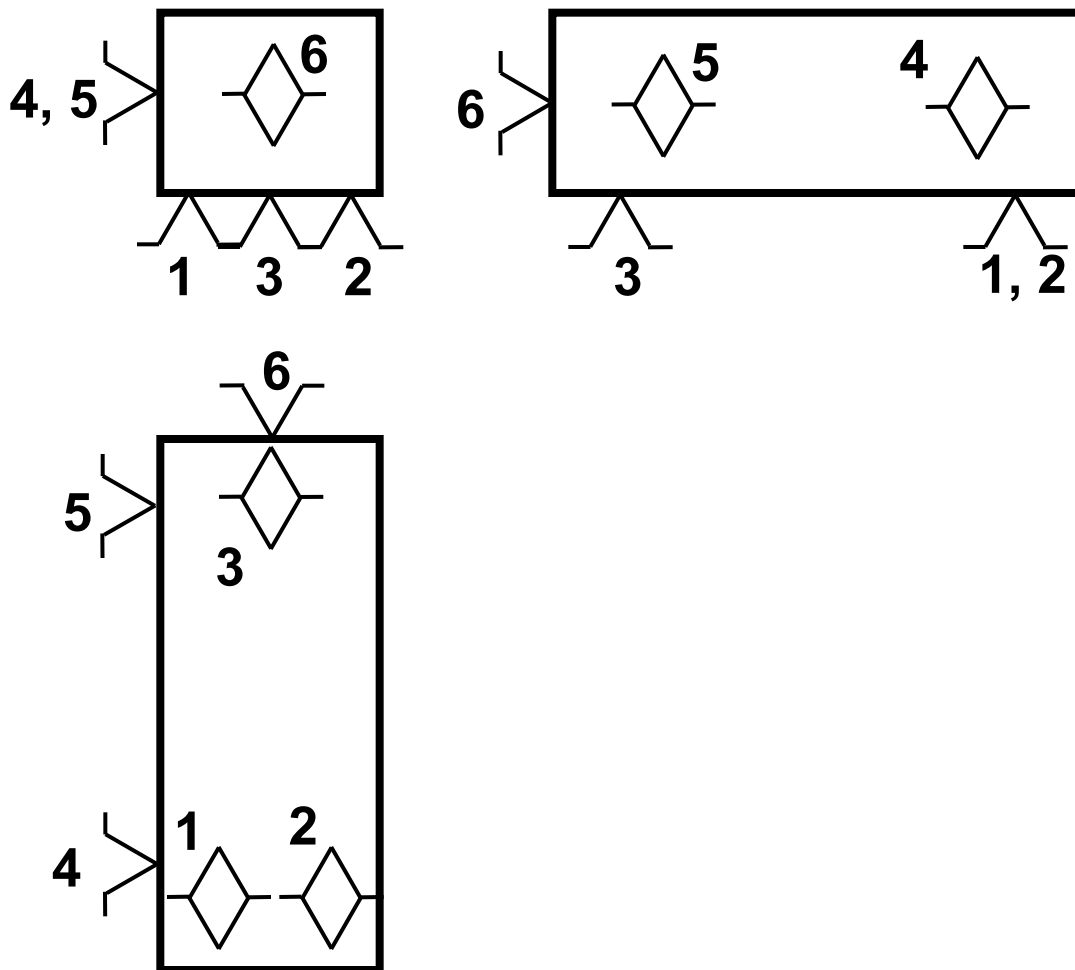


# Определение положения призматического тела в пространстве

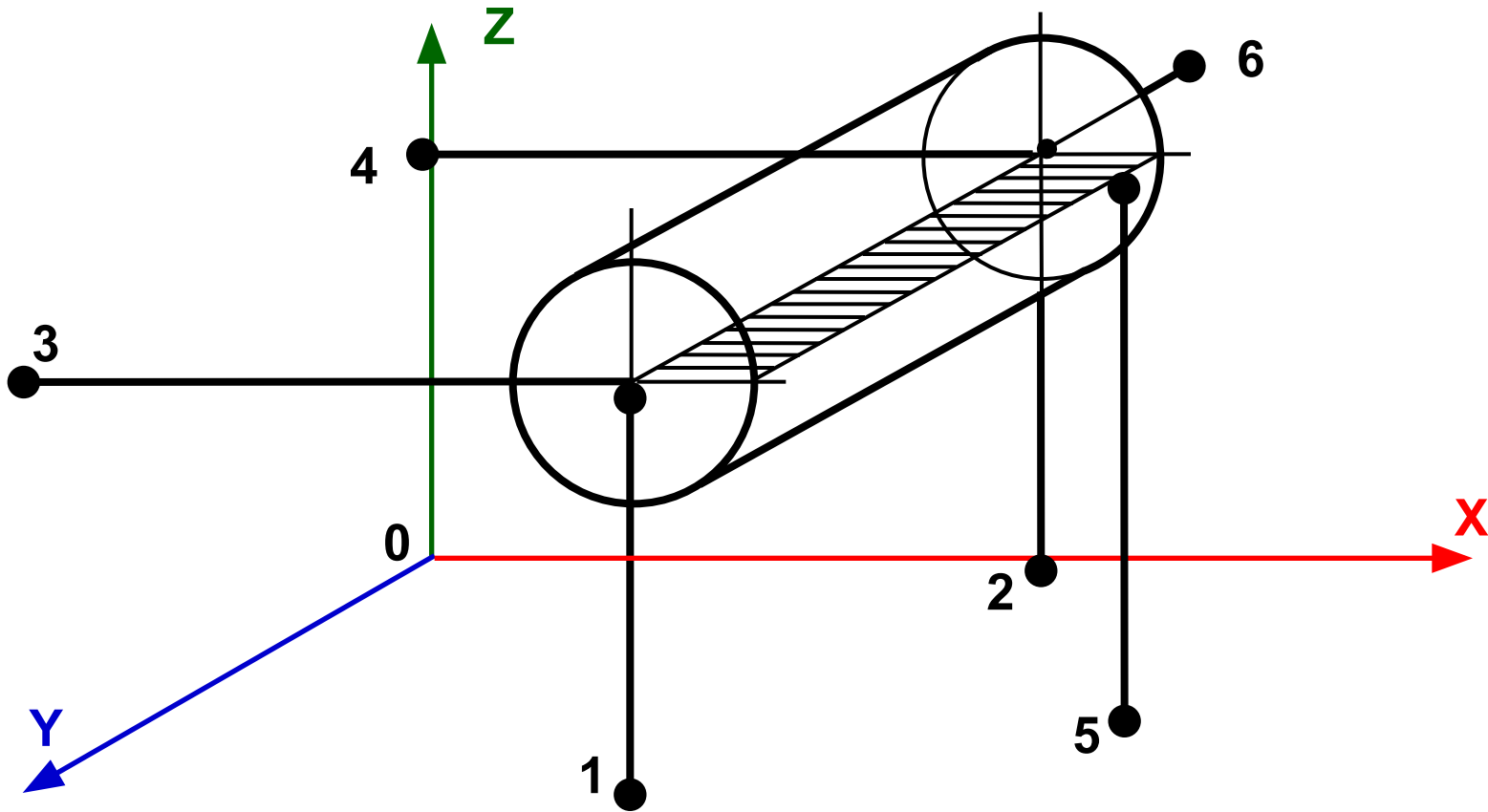


Геометрические связи	Количество лишаемых степеней свободы	Каких степеней свободы лишает	Название базы
1, 2, 3	3	$\uparrow OZ, \circlearrowleft OX, OY$	Установочная
4, 5	2	$\uparrow OX, \circlearrowleft OZ$	Направляющая
6	1	$\uparrow OY$	Опорная

# Определение положения призматического тела в пространстве

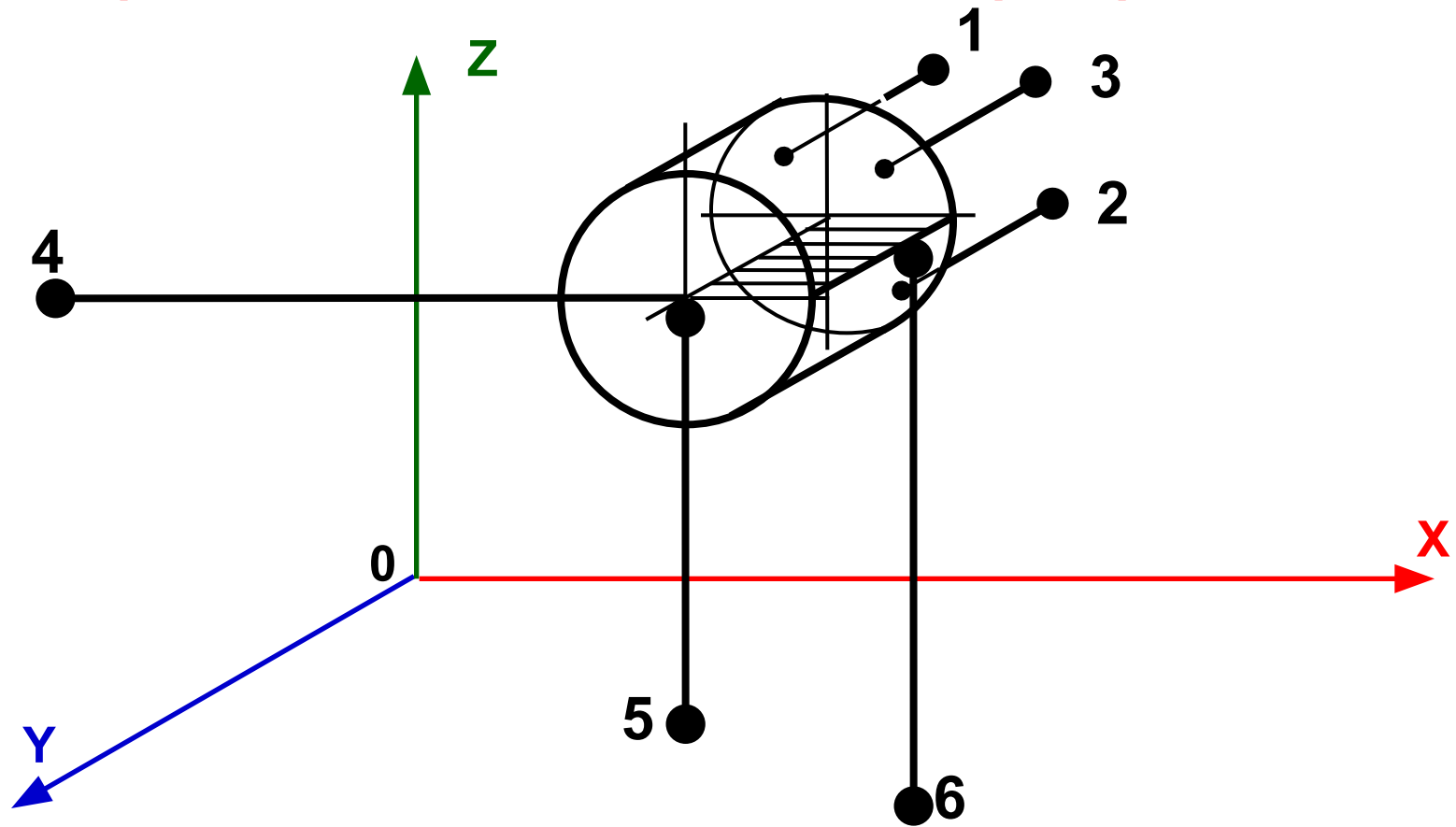


# Определение положения цилиндрического тела в пространстве



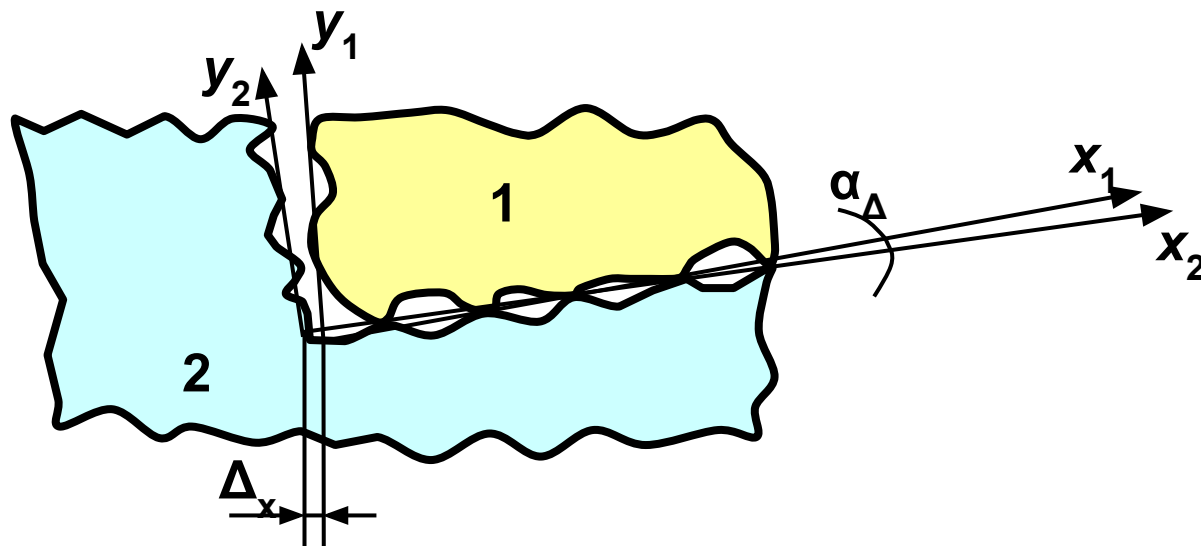
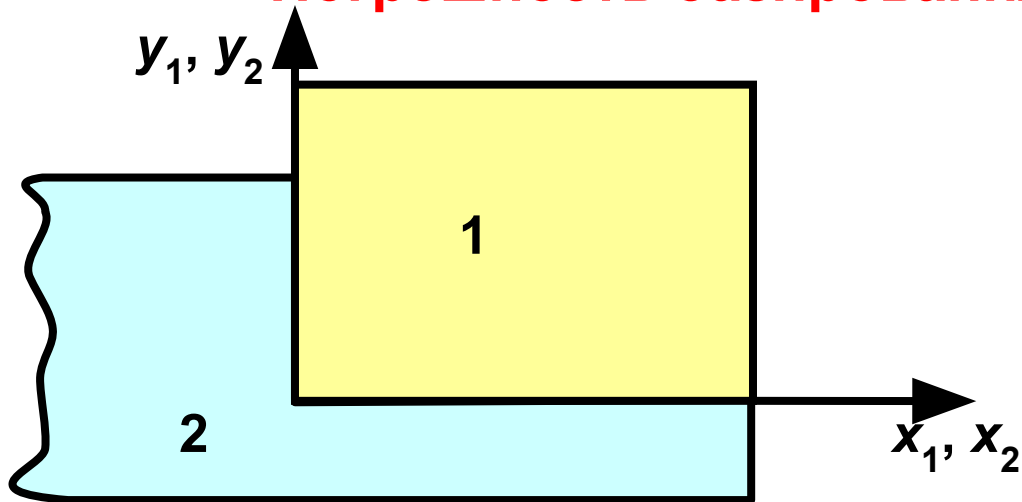
Геометрические связи	Количество лишаемых степеней свободы	Каких степеней свободы лишает	Название базы
1, 2, 3, 4	4	$\uparrow OX, OZ; \curvearrowright OX, OZ$	Двойная направляющая
5	1	$\curvearrowright OY$	Опорная
6	1	$\uparrow OY$	Опорная

# Определение положения диска в пространстве



Геометрические связи	Количество лишаемых степеней свободы	Каких степеней свободы лишает	Название базы
1, 2, 3	3	$\uparrow OY; \curvearrow OX, OZ$	Установочная
4, 5	2	$\uparrow OX, OZ$	Двойная опорная
6	1	$\curvearrow OY$	Опорная

## Погрешность базирования



**Погрешность базирования** – отклонение фактически достигнутого положения заготовки или изделия при базировании от требуемого

## **Принцип единства баз**

### **Выбор баз на 1й операции**

**Закрепление** – приложение сил к детали или изделию с целью обеспечения постоянства положения, полученного при базировании.

**Установка** – совместное рассмотрение процесса базирования и закрепления.

**Погрешность установки** включает в себя погрешность базирования и погрешность, вызванную закреплением детали

**Конструкторская база** — база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии.

**Технологическая база** – база, используемая для определения положения заготовки (изделия) в процессе изготовления или ремонта.

**Измерительная база** – база, используемая для определения относительного положения заготовки или детали и средств измерения.

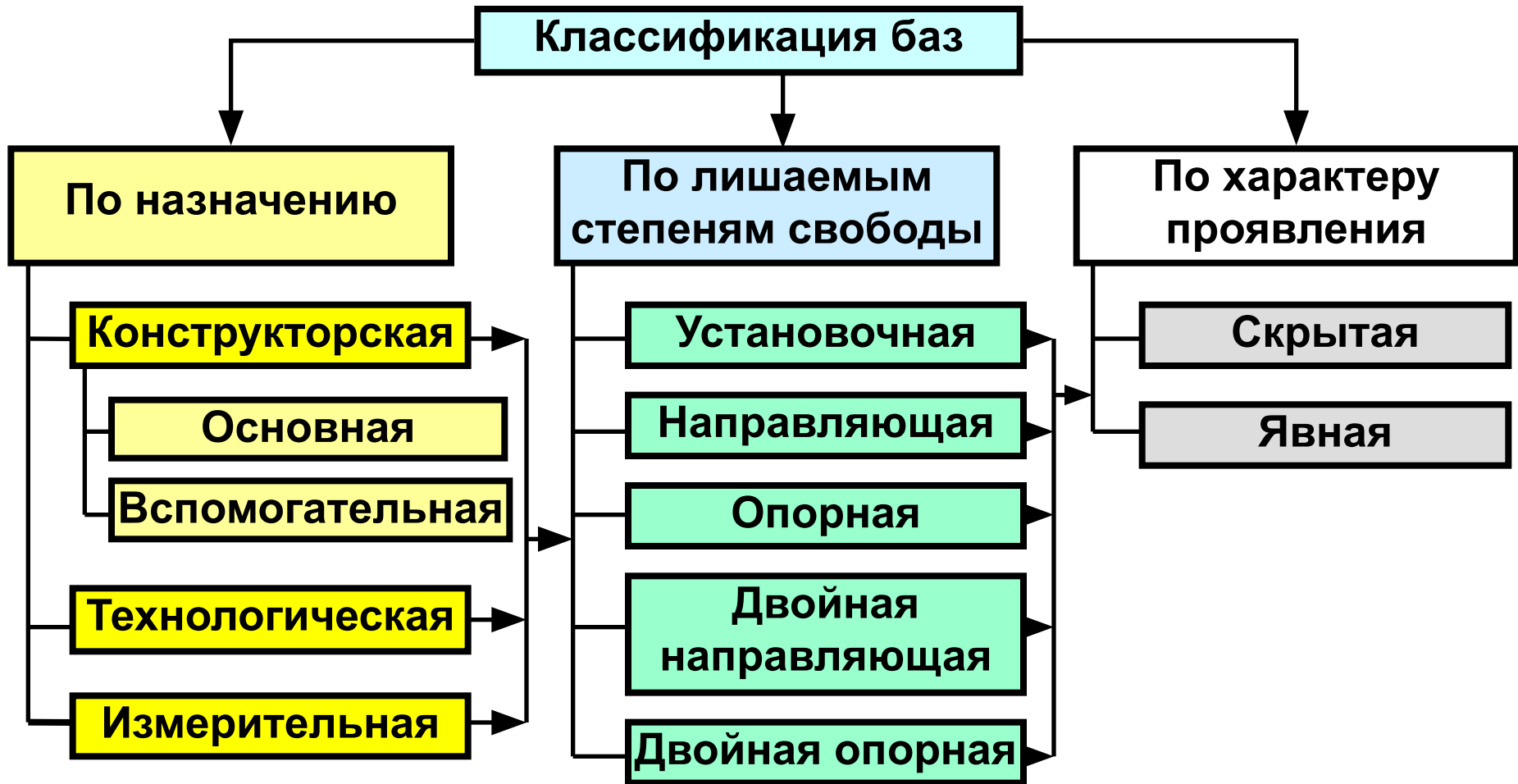
**Основные базы (основные базирующие поверхности)** — поверхности, при помощи которых определяется положение данной детали в изделии

**Вспомогательные базы (вспомогательные базирующие поверхности)** — поверхности, при помощи которых определяется положение присоединяемых деталей относительно данной

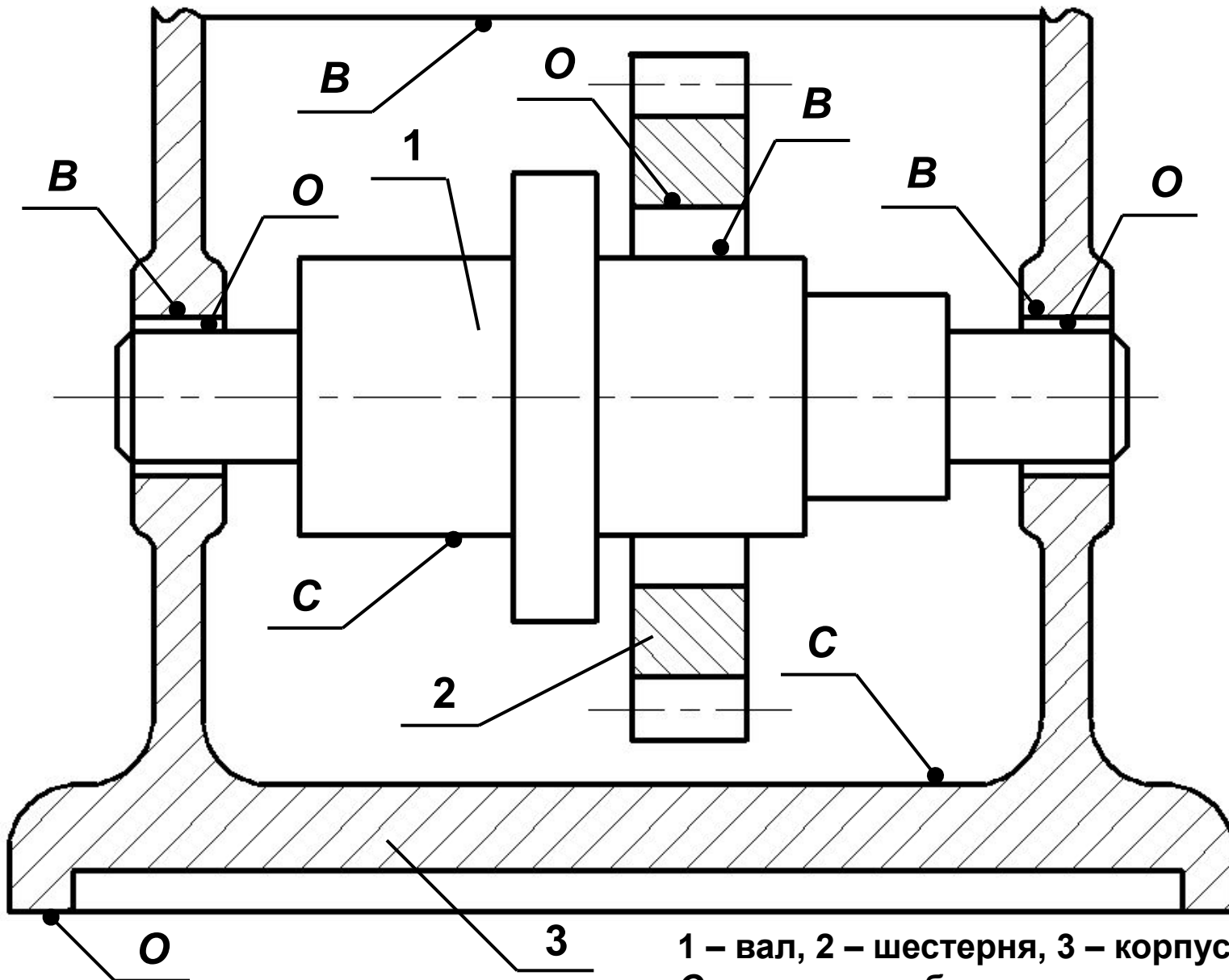
Остальные поверхности, которые вместе с рассмотренными придают детали законченную конфигурацию принято называть **свободными поверхностями**



# Классификация баз

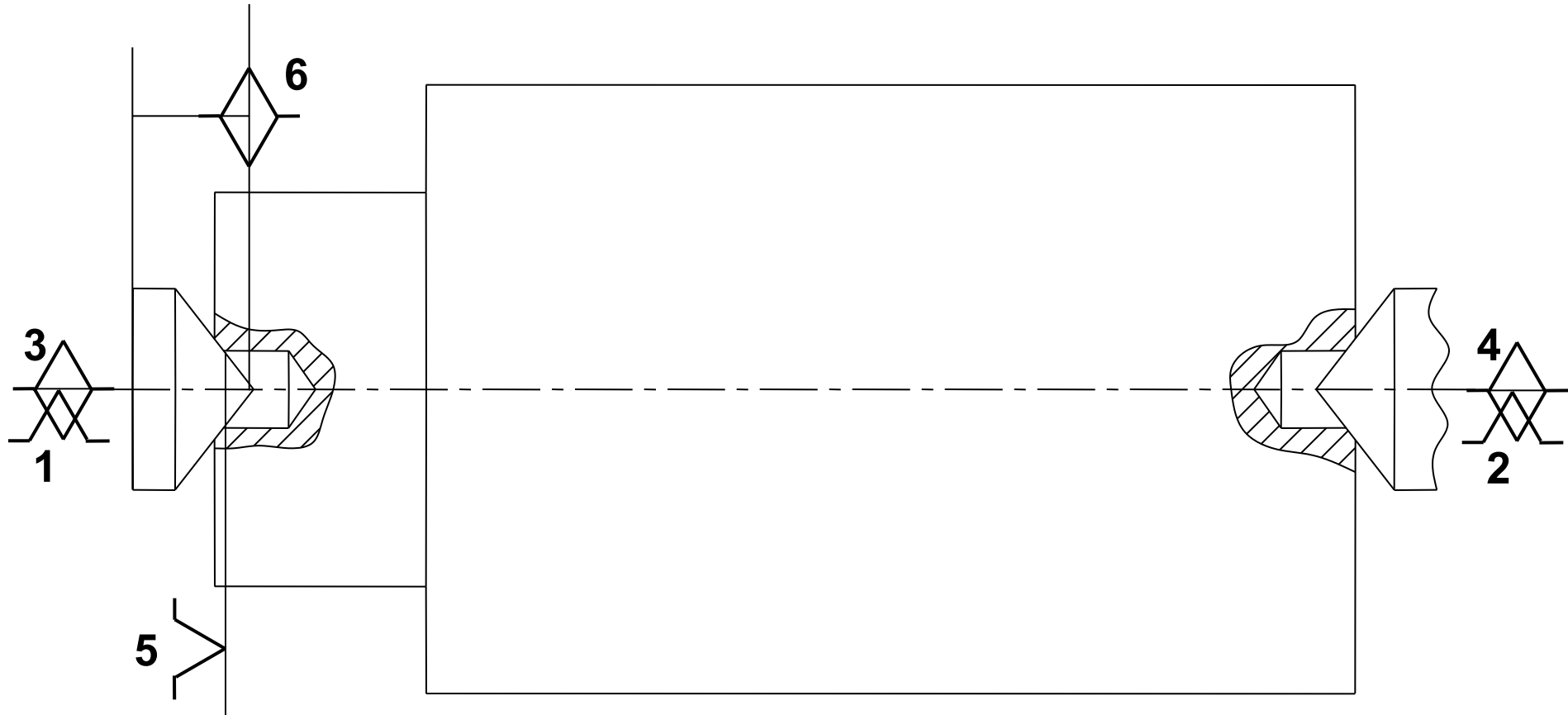


## Функции поверхностей деталей в машине

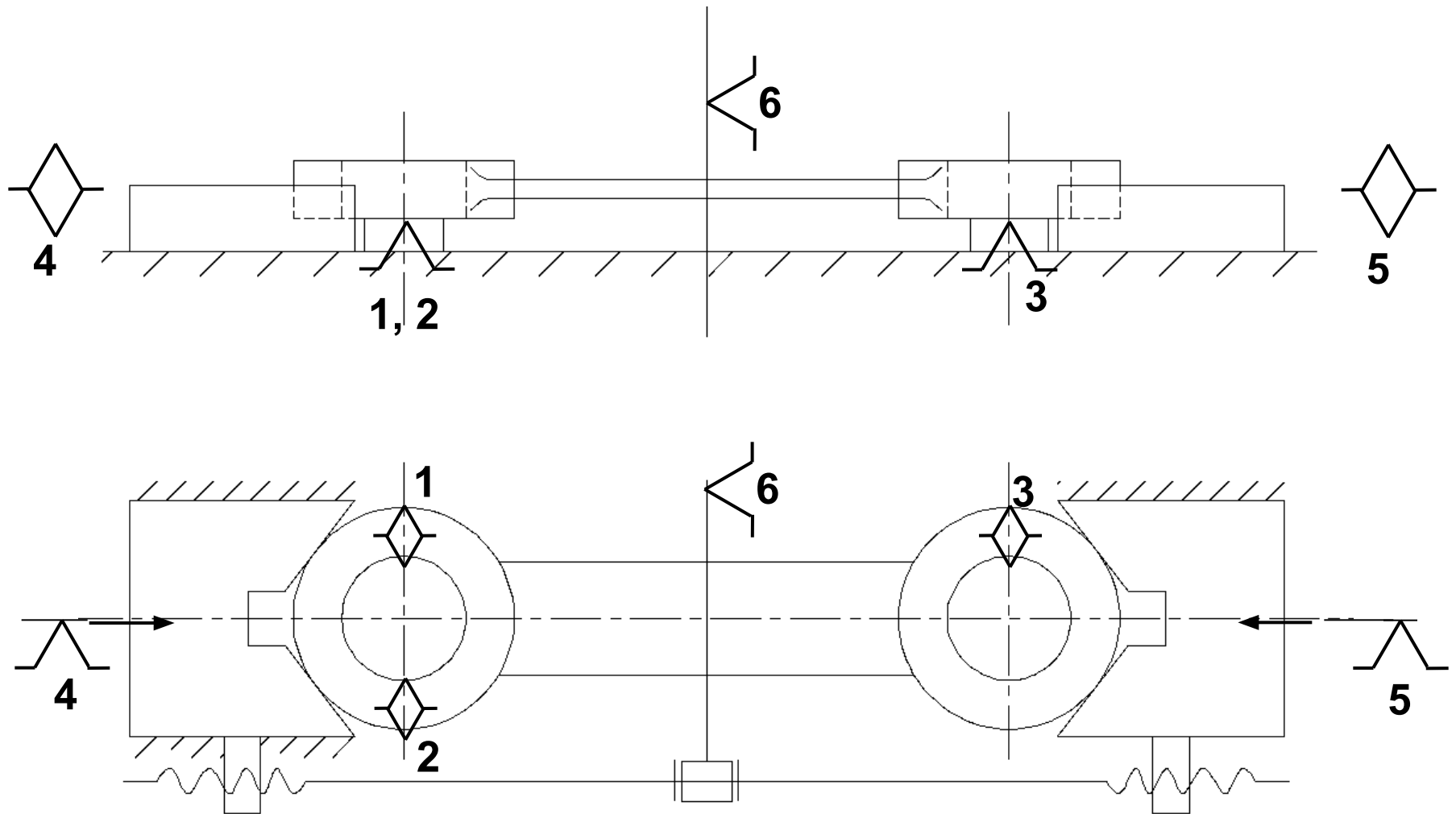


1 – вал, 2 – шестерня, 3 – корпус  
O – основные базисуемые поверхности,  
B – вспомогательные базисуемые поверхности,  
C – свободные поверхности

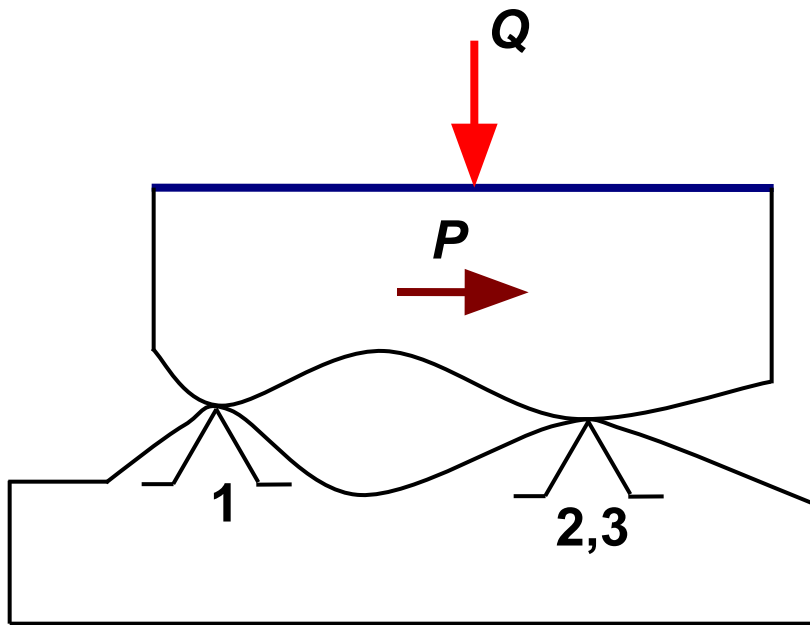
# Скрытые базы



# Скрытые базы

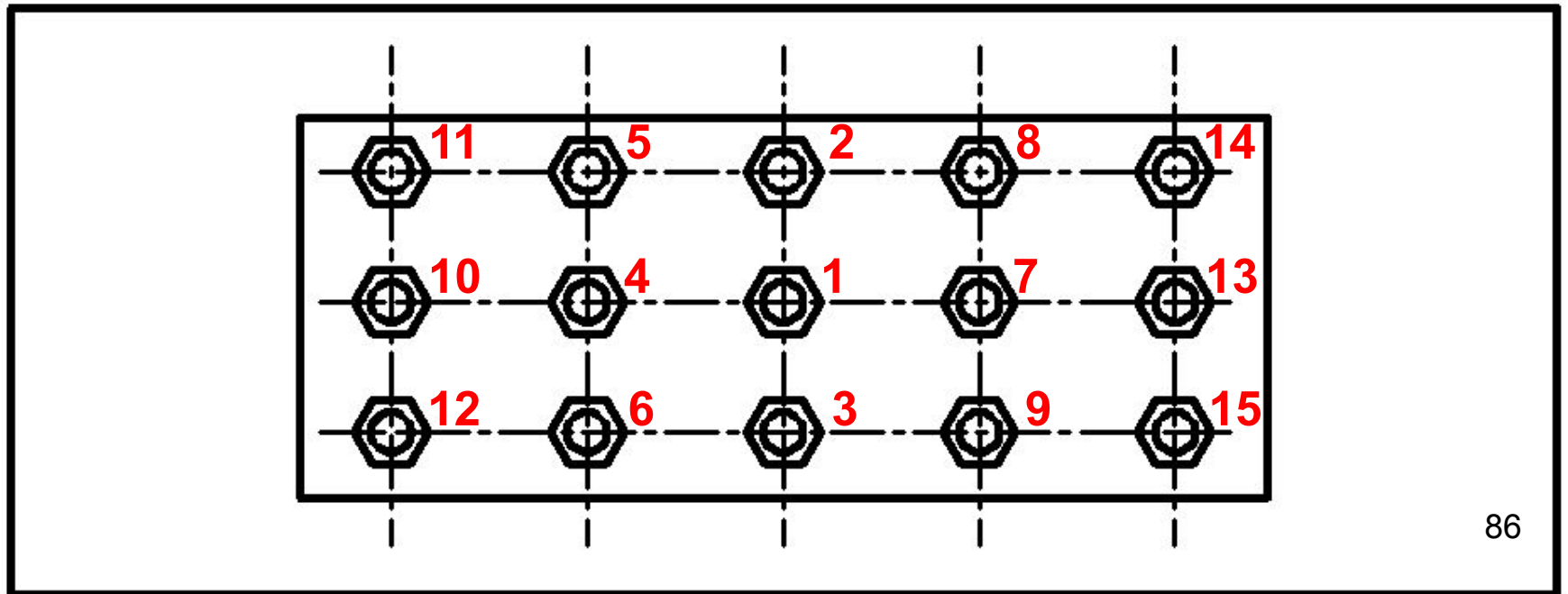
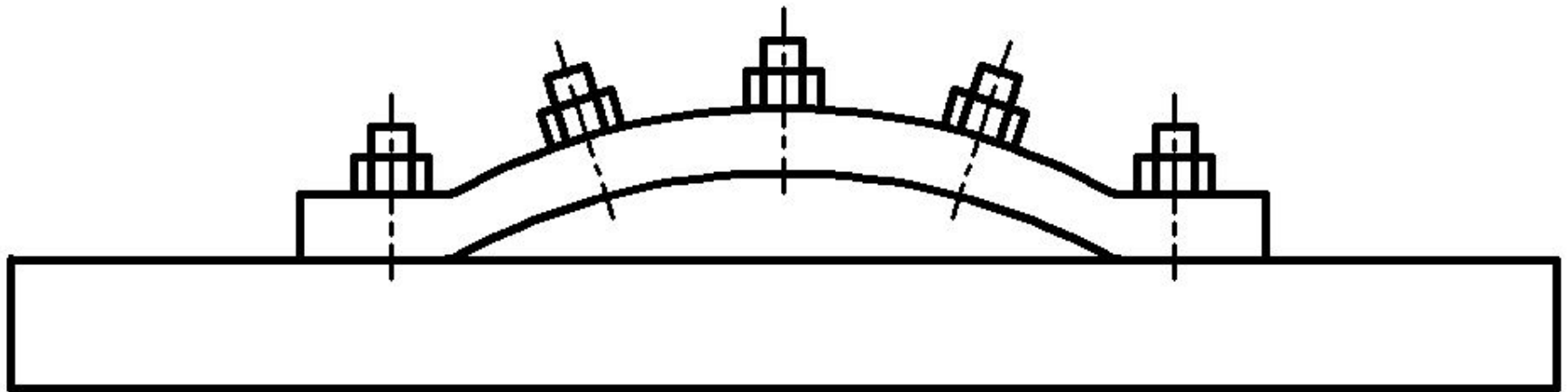


# Силовое замыкание

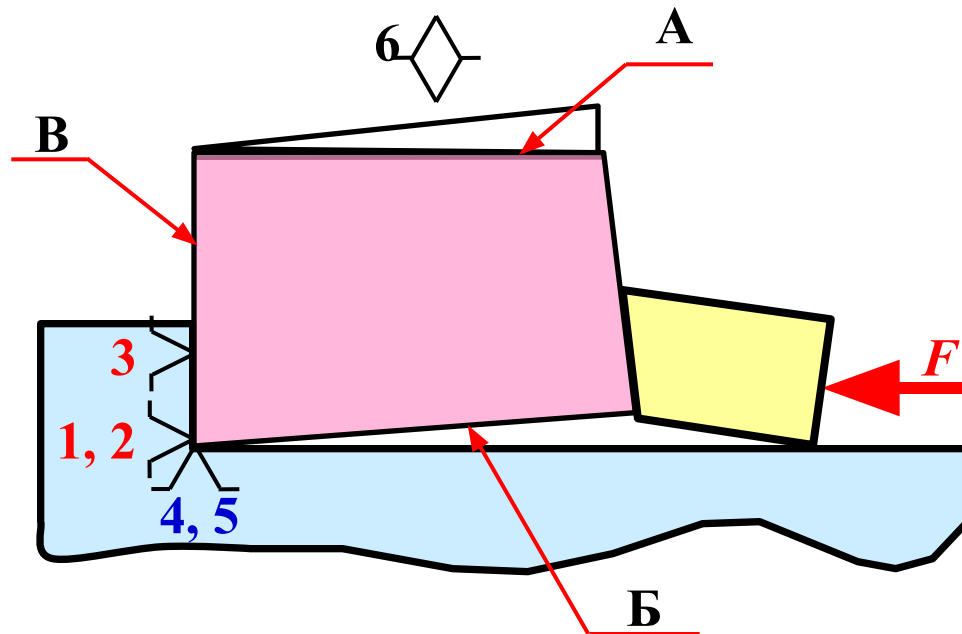
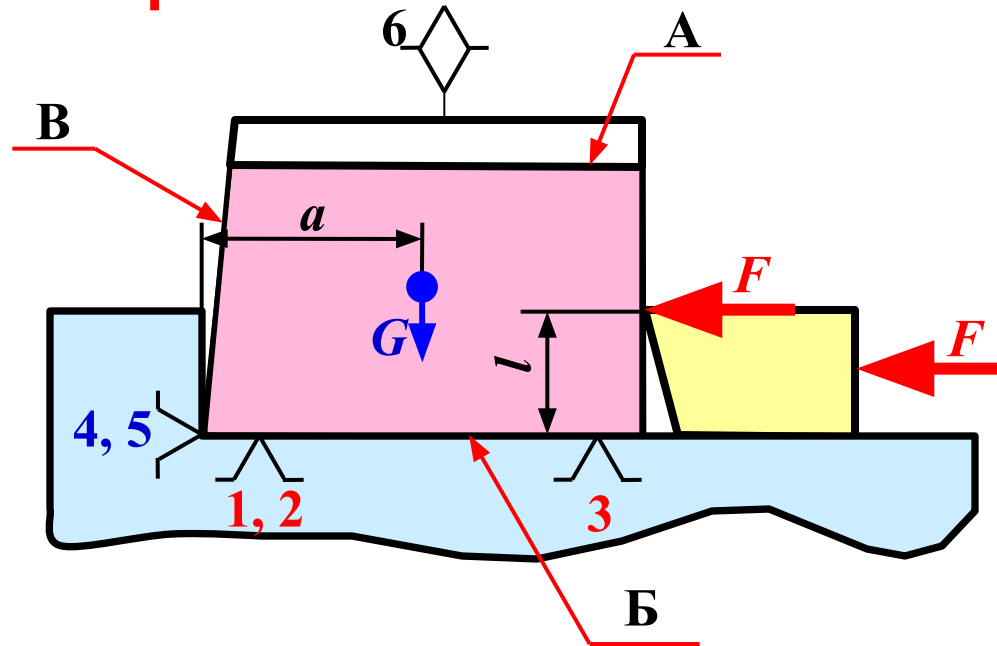


$$Q \cdot f = k \cdot P$$

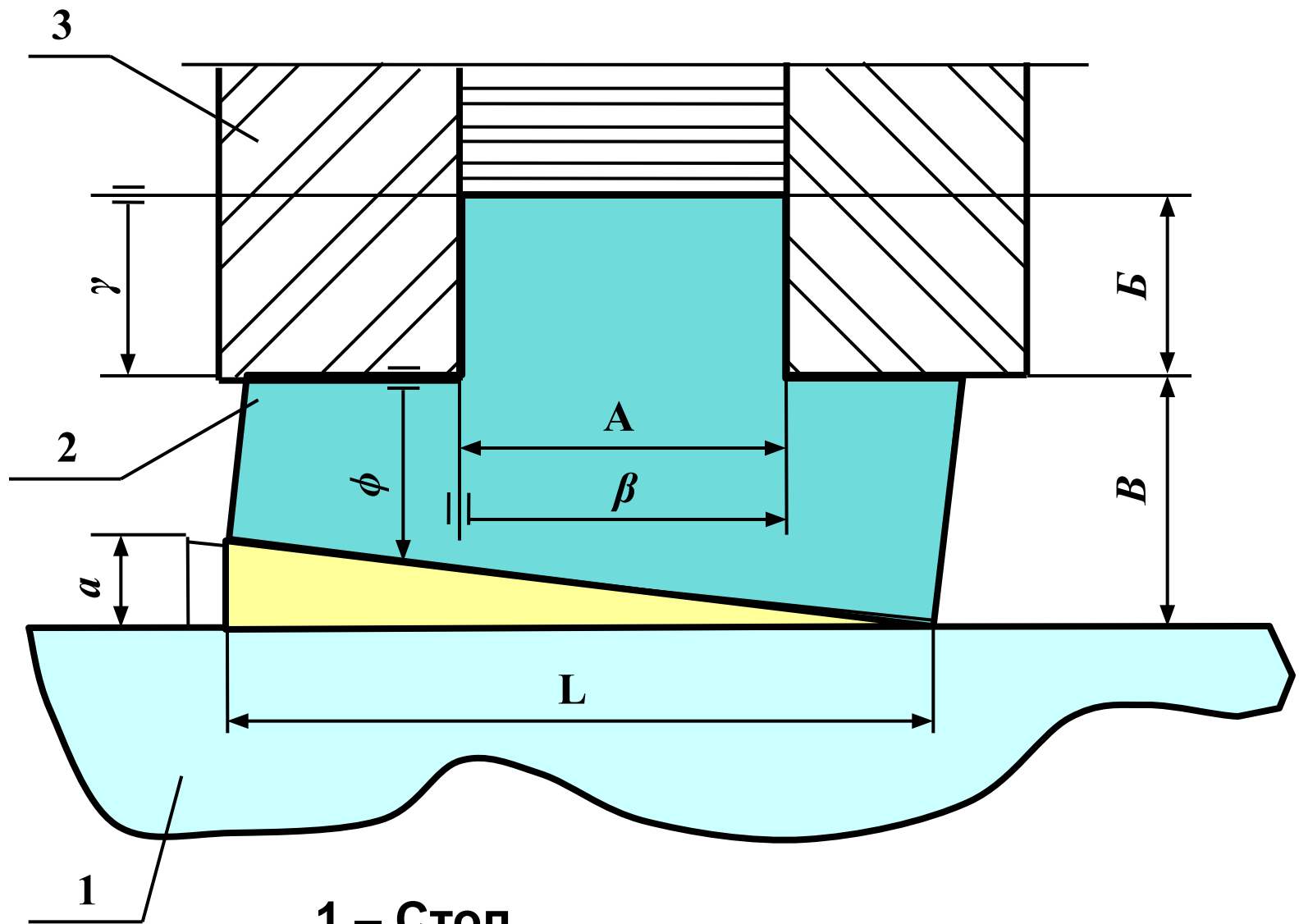
# Силовое замыкание



# Неорганизованная смена баз



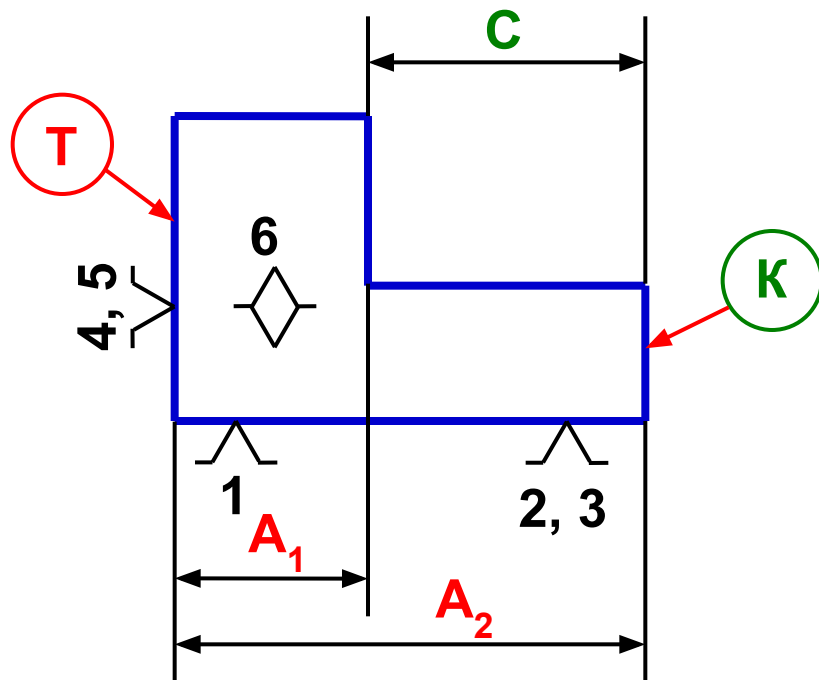
# Соблюдение принципа единства баз



- 1 – Стол
- 2 – Обрабатываемая заготовка
- 3 – Набор фрез



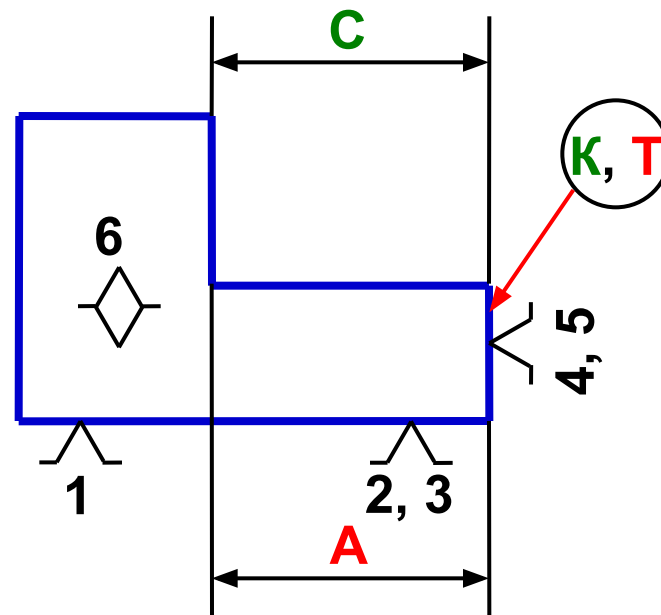
1. В качестве технологических и измерительных баз следует выбирать конструкторские базы (принцип совмещения баз)



конструкторская и технологическая базы

НЕ совпадают

$$TC = TA_1 + TA_2$$

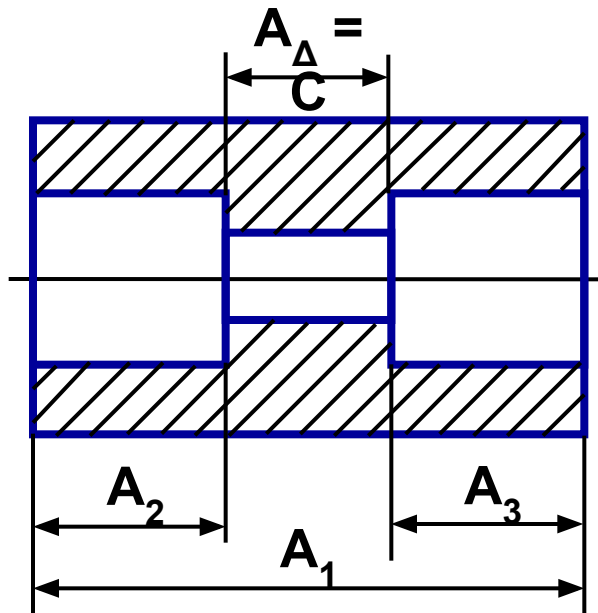


конструкторская и технологическая базы

совпадают

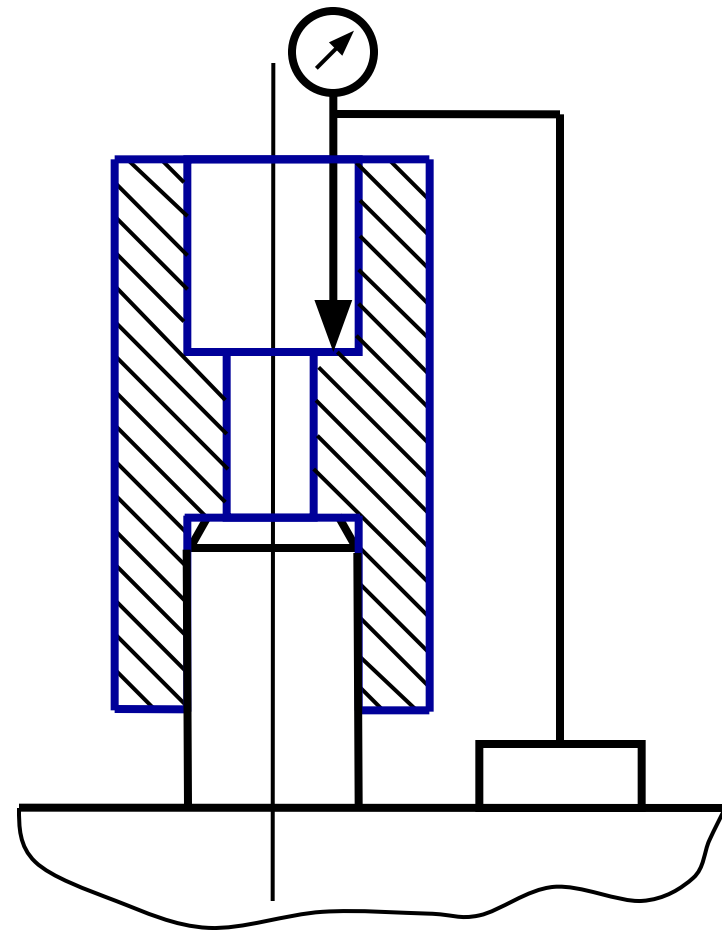
$$TC = TA$$

**С** – конструкторский размер, **А** – операционные размеры,  
**Т** – технологическая база, **К** – конструкторская база



измерительная и  
**конструкторская** базы  
НЕ совпадают

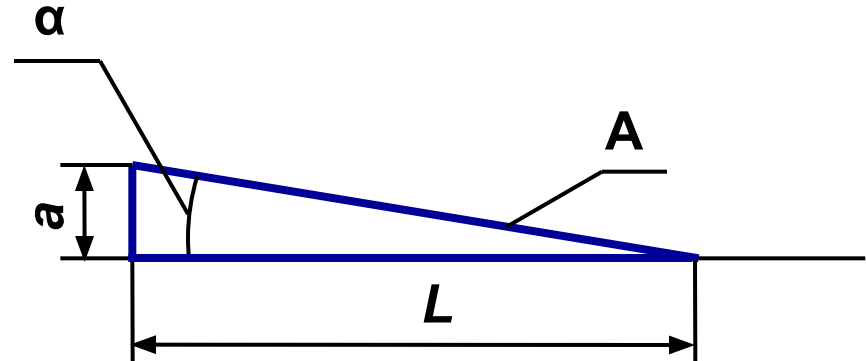
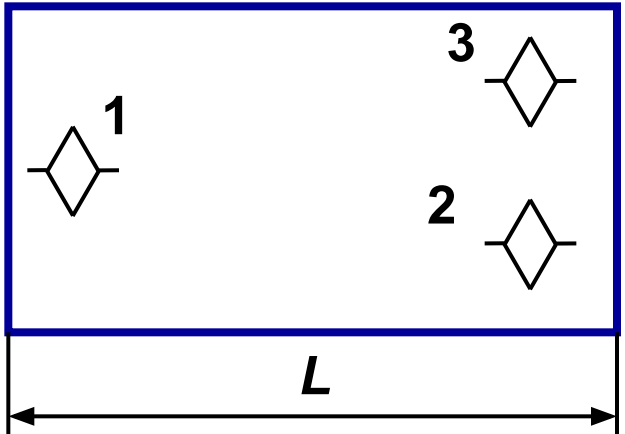
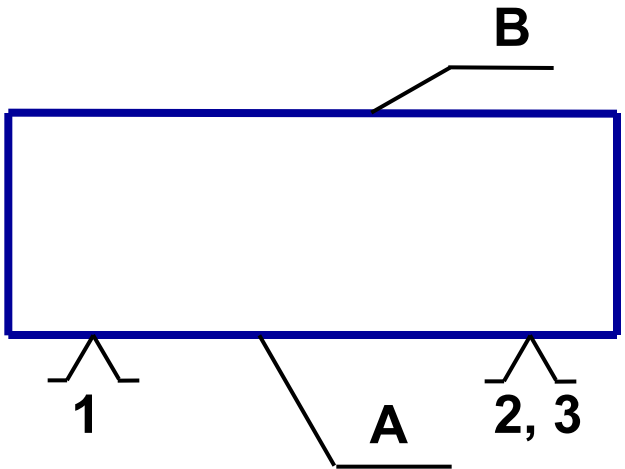
$$TC = TA_1 + TA_2 + TA_3$$



измерительная и  
**конструкторская** базы  
совпадают

$$TC = TA$$

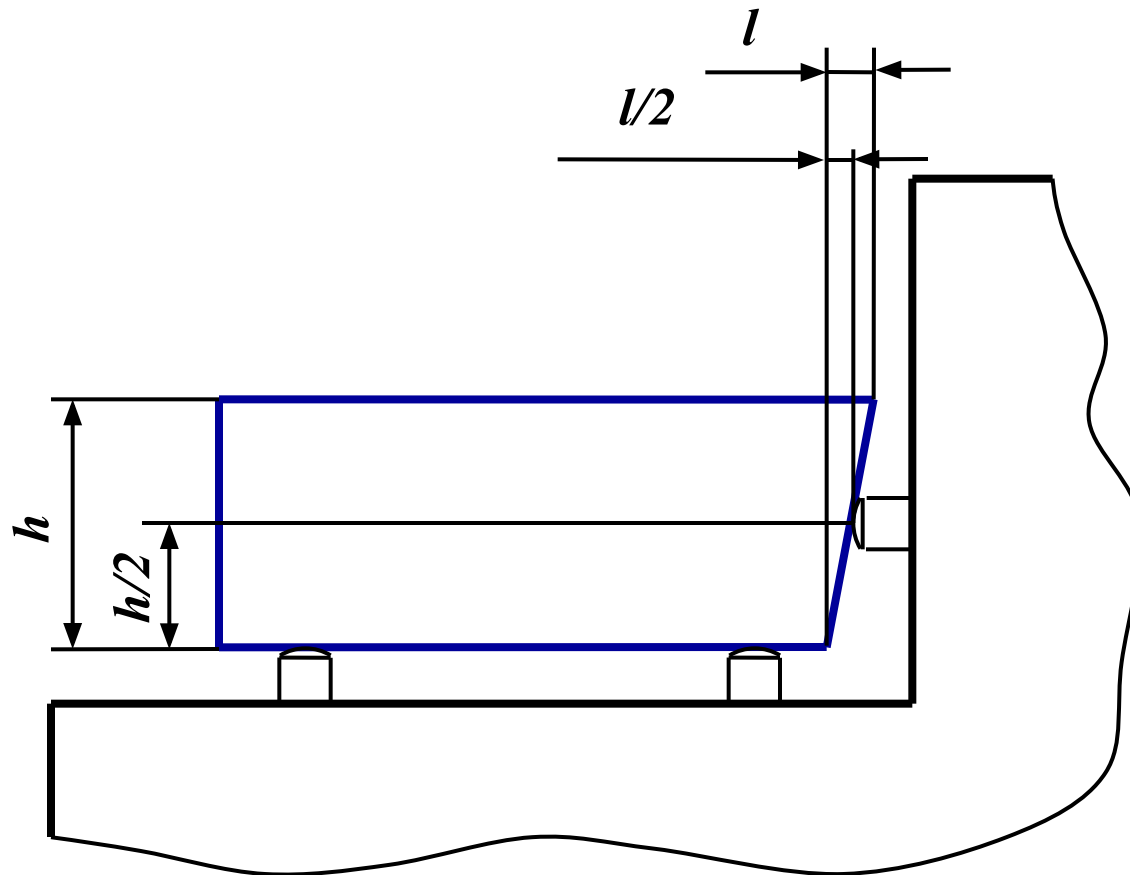
2. В качестве установочной базы выбирается поверхность, имеющая наибольшую протяженность в двух взаимно перпендикулярных направлениях



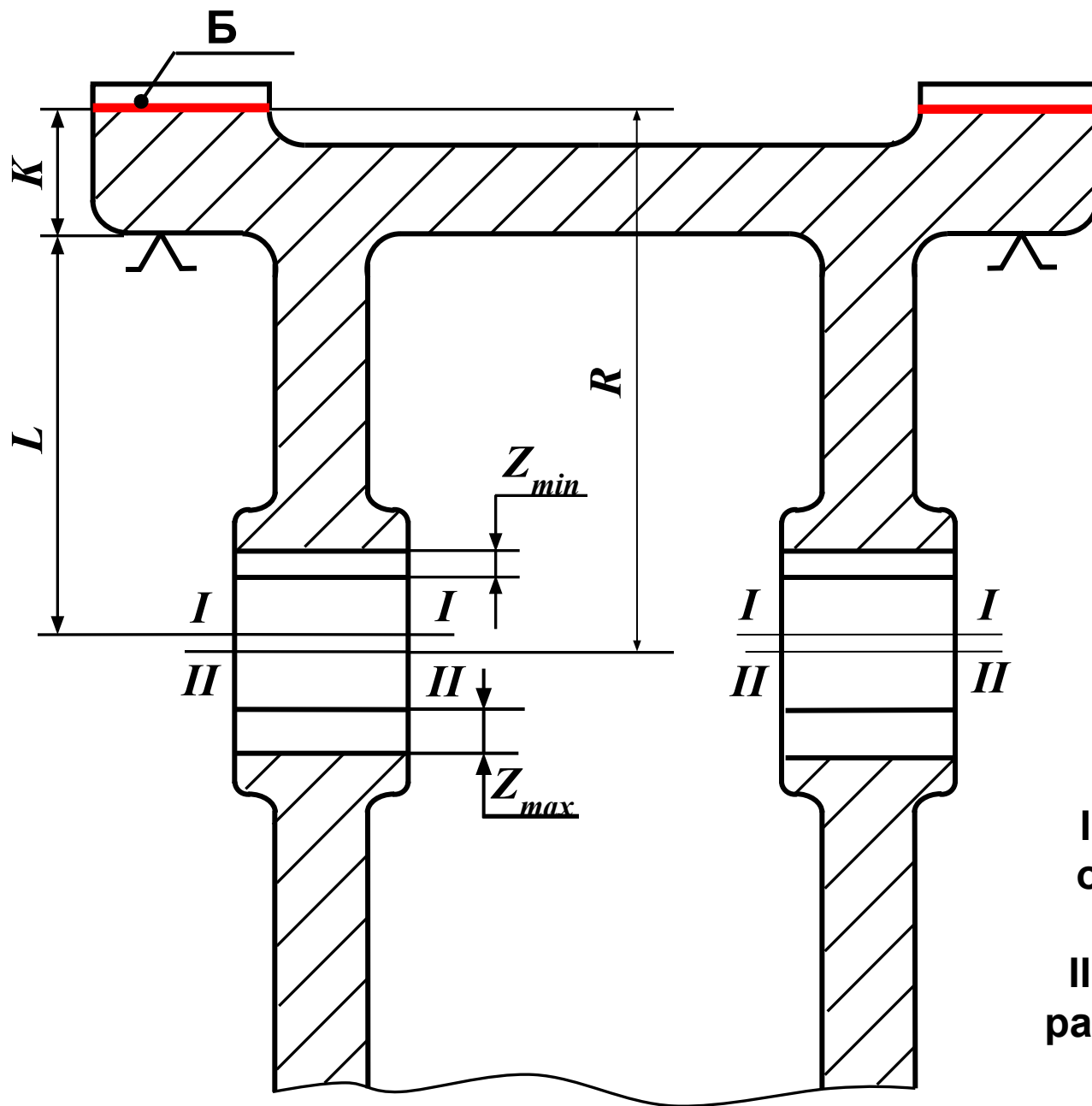
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{L}$$

3. В качестве направляющей базы необходимо выбирать поверхность, имеющую наибольшую протяженность в одном направлении

4. В качестве опорной базы следует выбирать поверхность, имеющую наименьшие габариты



# Роль и значение первой операции

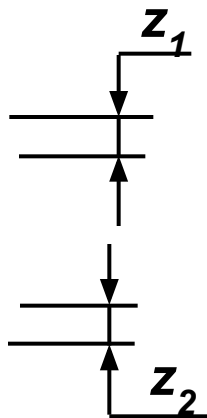
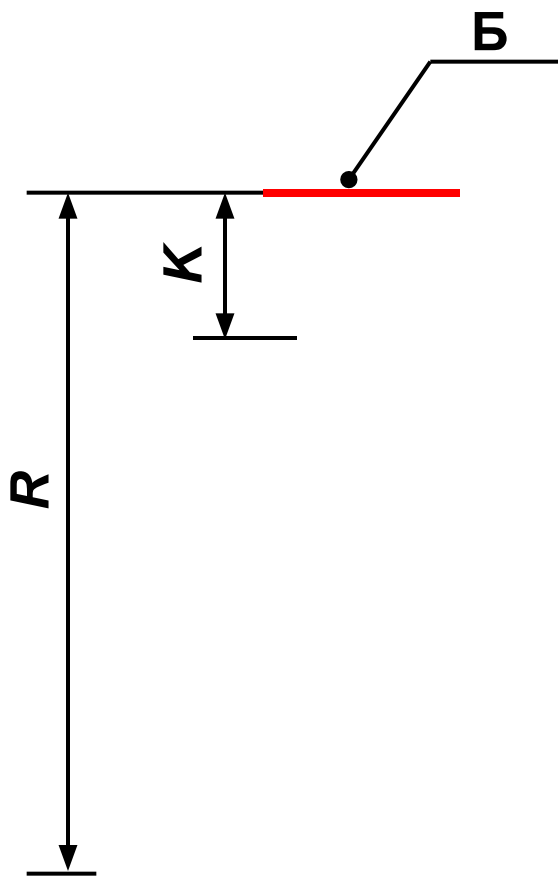


**I – I – ось отверстия,  
отлитого в заготовке**

**II – II – ось отверстия,  
расточенного от базы Б**

# Роль и значение первой операции

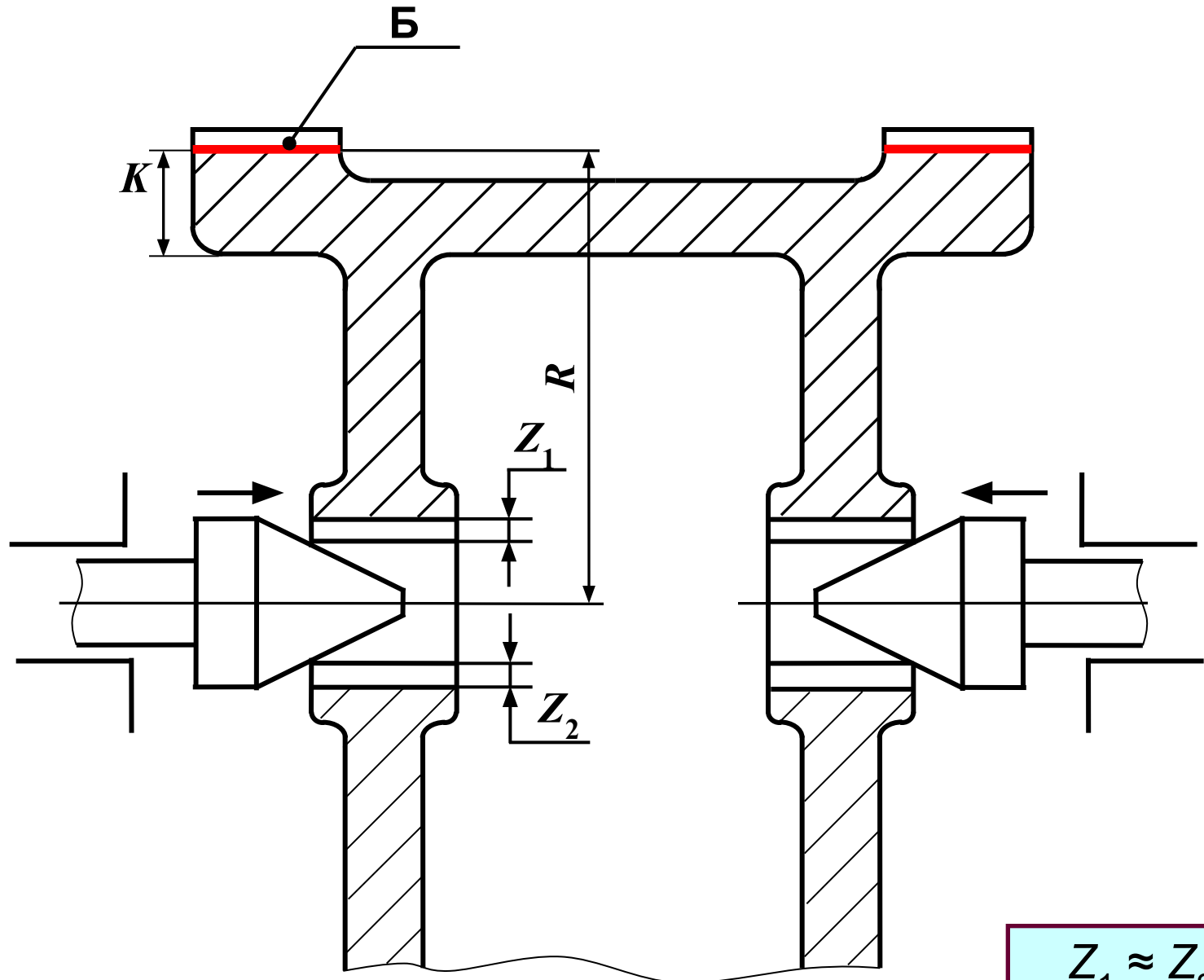
Обеспечение равномерности распределения припуска



$$z_1 \approx z_2$$

# Роль и значение первой операции

Обеспечение равномерности распределения припуска

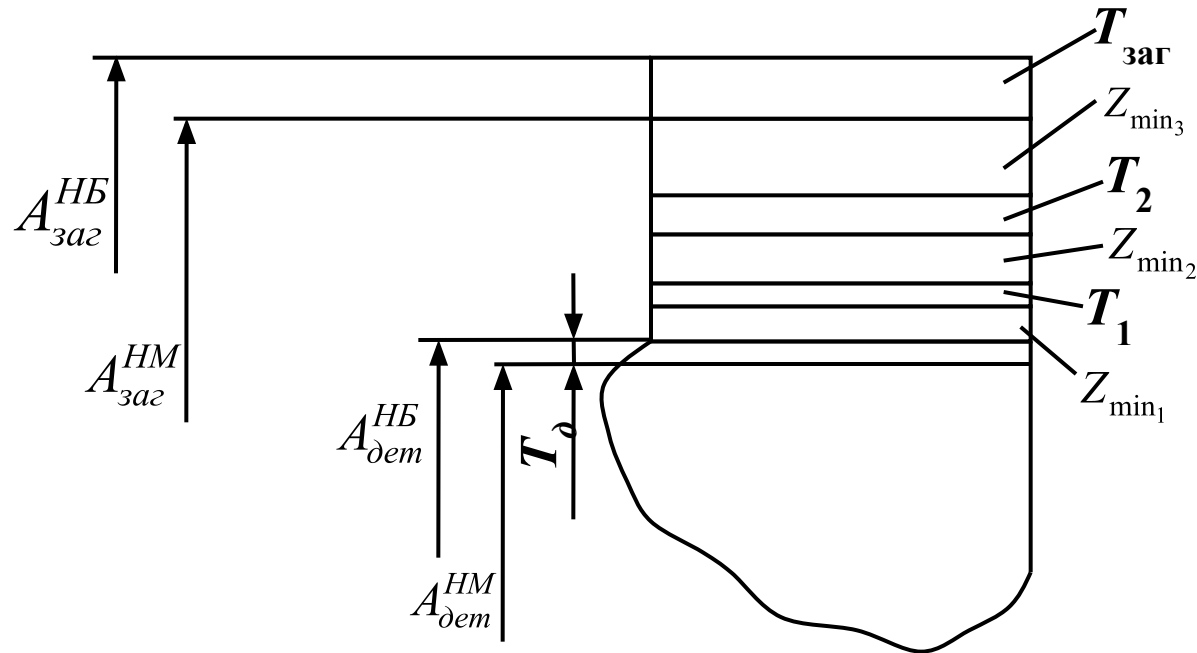


$$Z_1 \approx Z_2^{95}$$

# Операционные размеры и их расчет

## Методы определения минимального промежуточного припуска

### 1. Опытно-статистический метод



$$Z_{\max_i} = Z_{\min_i} + T_i$$

$Z_{\max_i}$  — максимальный припуск на обработку на  $i$ -ой операции;

$Z_{\min_i}$  — минимальный припуск на обработку на  $i$ -ой операции;

$T_i$  — допуск, определяемый для данного метода обработки, исходя из таблиц (экономической точности)



# Операционные размеры и их расчет

## Методы определения минимального промежуточного припуска

### 2. Расчетно-аналитический метод (автор Кован В.М.)

Погрешности, имеющиеся на  $i$ -ом переходе:

$R_{z_{i-1}}$  - высота микронеровностей, полученная на данной поверхности после ее обработки на предшествующем переходе;

$T_{i-1}$  – глубина дефектного поверхностного слоя, полученная на предшествующем переходе;

$\rho_{i-1}$  – пространственные отклонения в расположении базовых поверхностей и поверхностей, подлежащих обработке на данной операции;

$\varepsilon_i$  – погрешность установки заготовки на данном переходе.

При одностороннем расположении припуска (обработка плоских поверхностей):

$$Z_{\min_i} \geq R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i$$

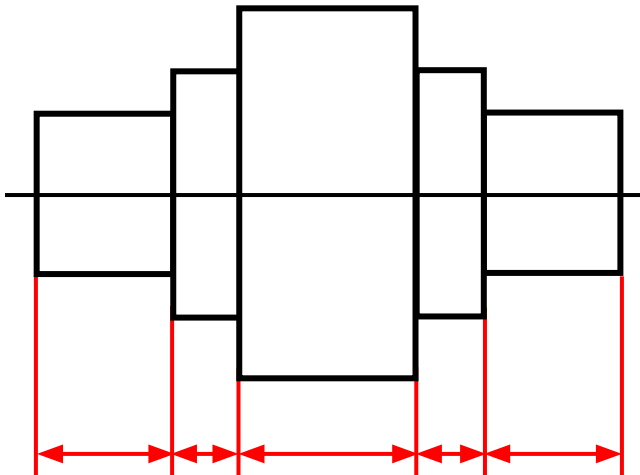
При двустороннем расположении припуска (обработка деталей типа тела вращения)

$$2Z_{\min_i} \geq 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$$

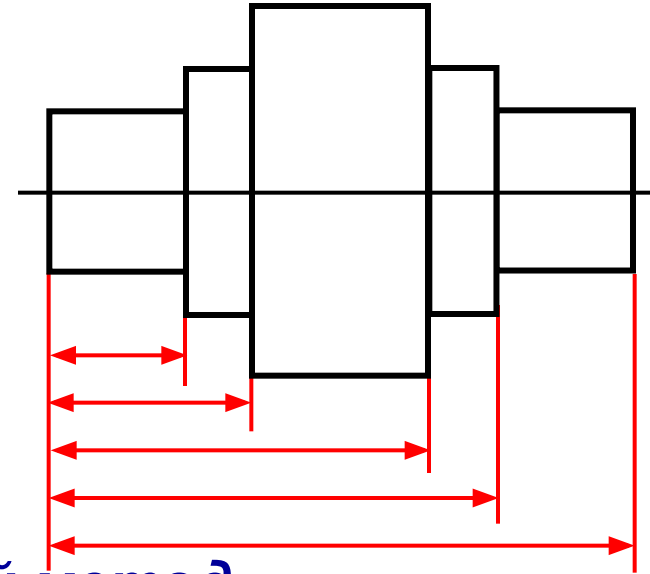
# Операционные размеры и их расчет

## Способы простановки размеров на чертеже

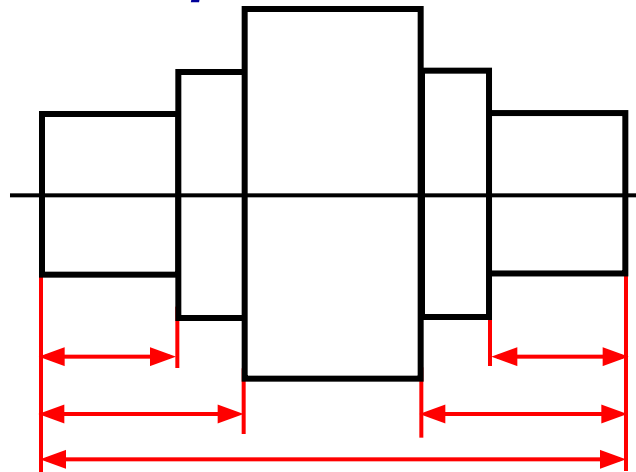
### 1. Цепной метод



### 2. Координатный метод

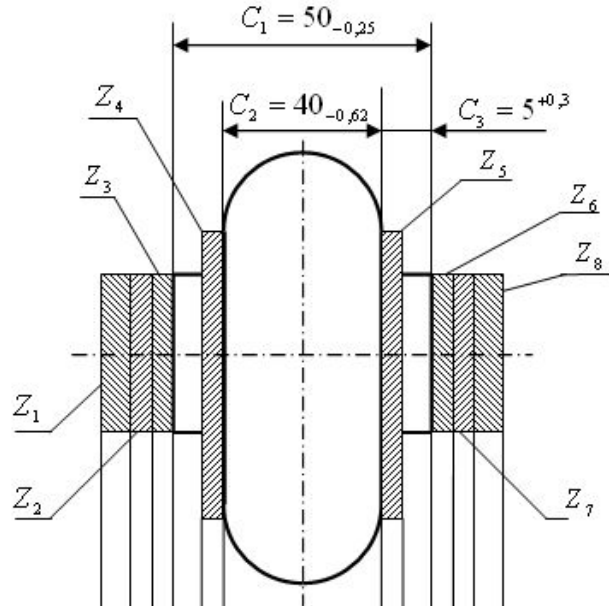


### 3. Комбинированный метод



# Расчет длинновыих операционных размеров с применением теории графов

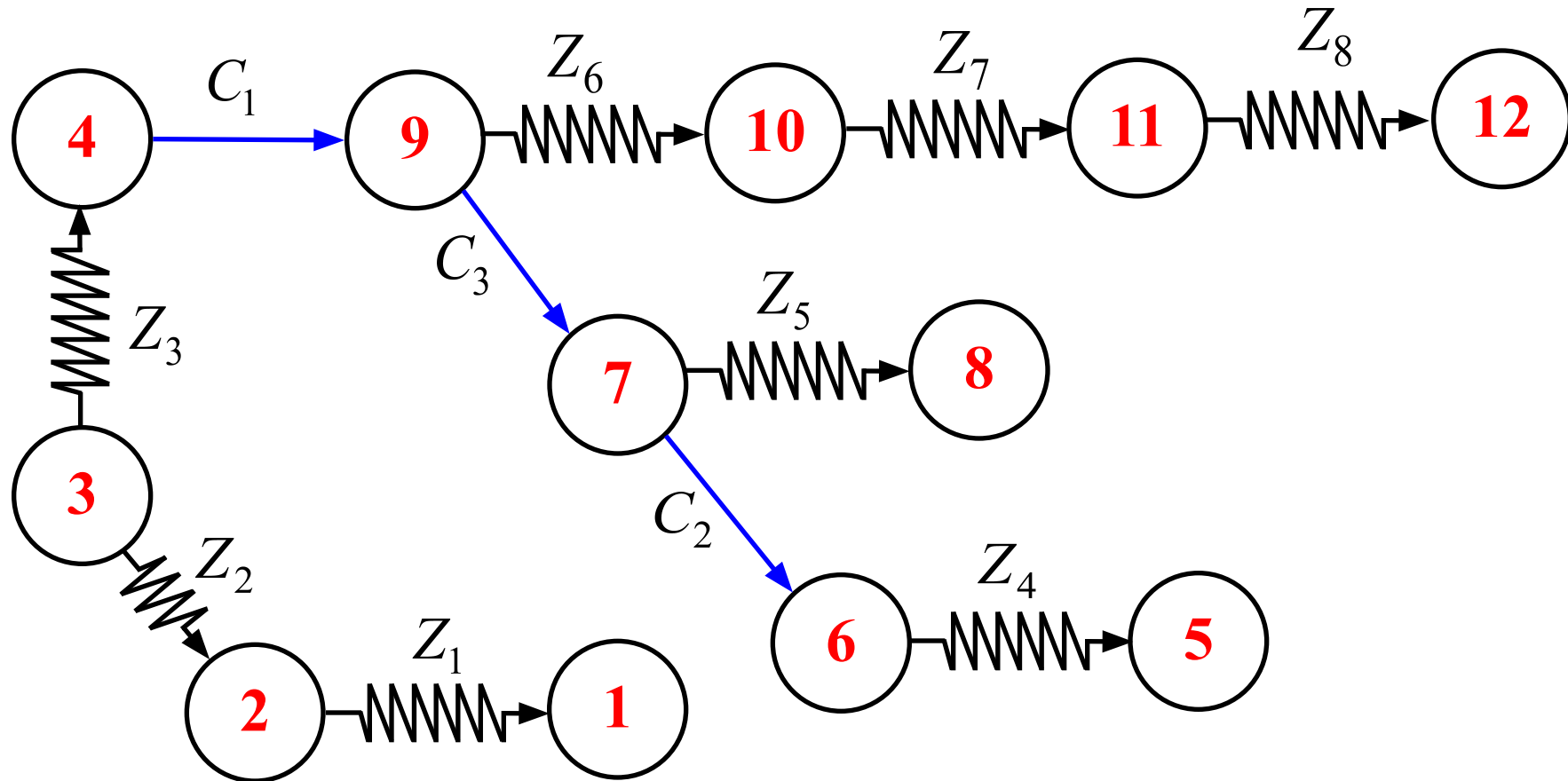
*1. Составляется схема обработки*



№ операции	Метод обработки	Операционные размеры												Замыкающее звено			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
05	штамповка																Z <sub>8</sub>
																	Z <sub>5</sub>
10	точение																Z <sub>4</sub>
																	Z <sub>7</sub>
15	точение																C <sub>2</sub>
																	C <sub>3</sub>
20	точение																Z <sub>2</sub>
25	точение																Z <sub>6</sub>
30	шлифование																Z <sub>3</sub>
35	шлифование																C <sub>1</sub>

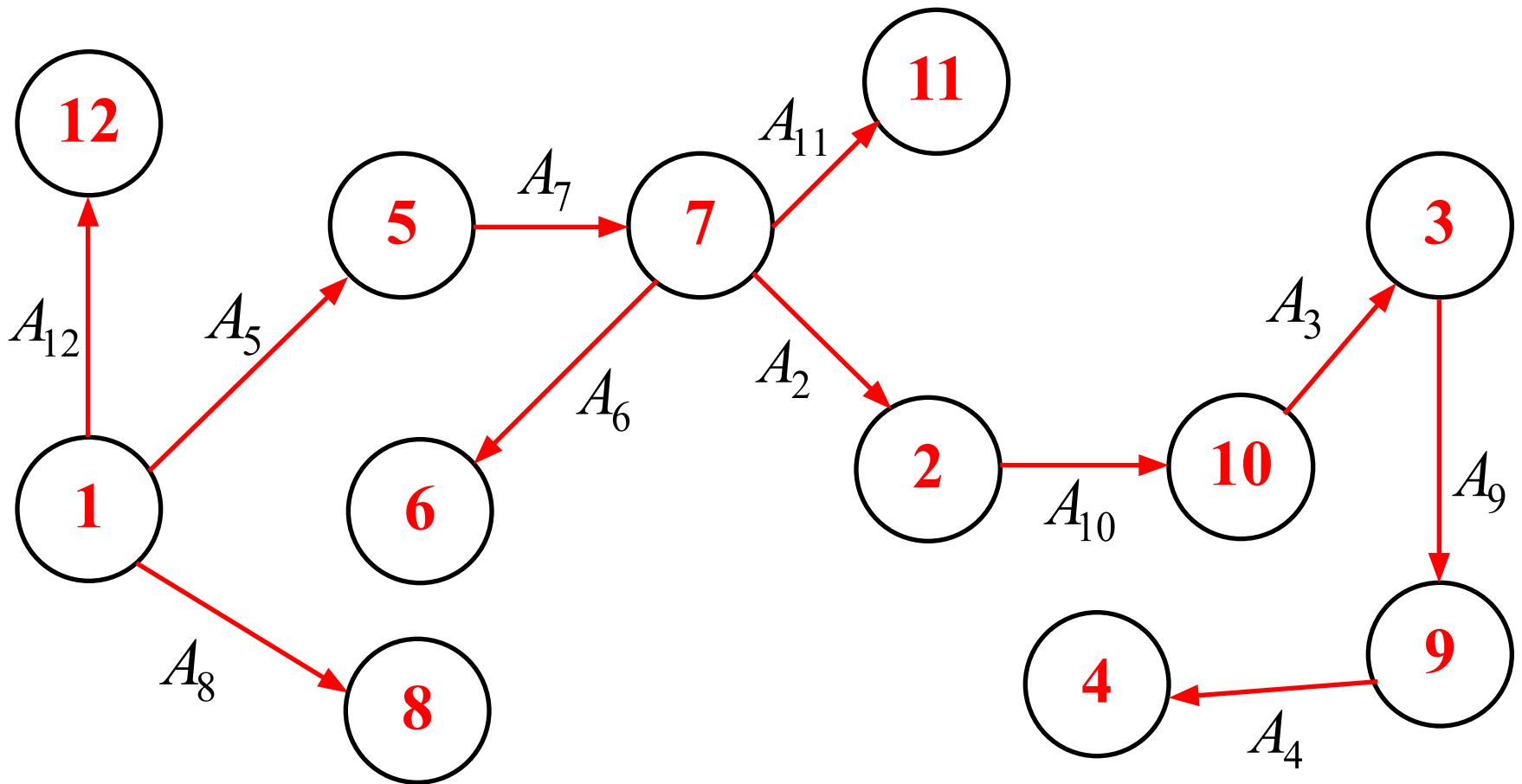
# Расчет длинных операционных размеров с применением теории графов

## 2. Строится граф исходных структур

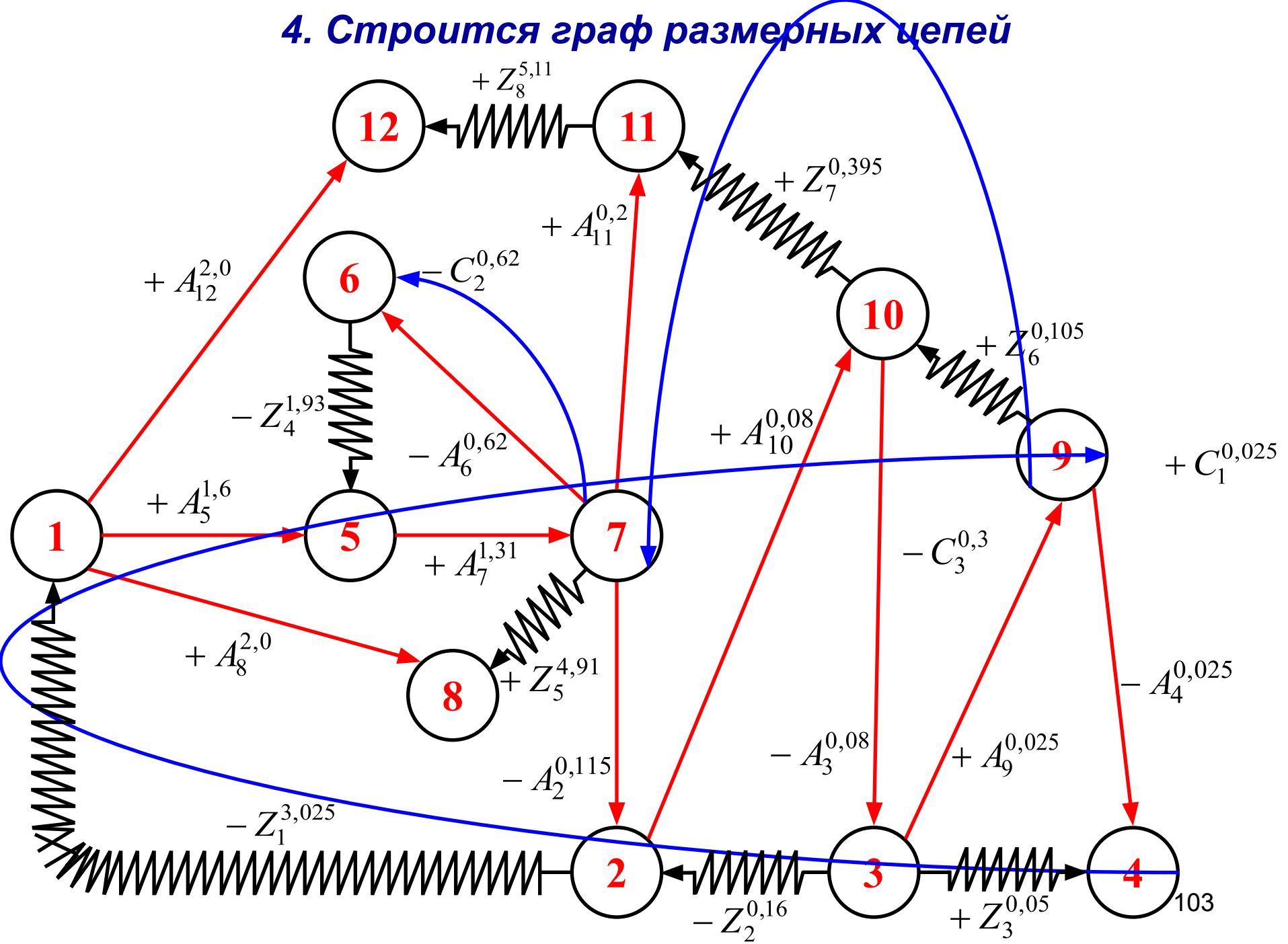


# Расчет длинных операционных размеров с применением теории графов

## 3. Строится граф производных структур



#### 4. Строится граф размерных цепей



# Расчет длинных операционных размеров с применением теории графов

## 5. Составляется ведомость расчета операционных размеров

Исходные размеры				Операционные размеры						
Обозначение размеров	Заданный исходный размер	Полученный исходный размер с учетом корректировки		Обозначение размеров	Величина принятого допуска	Уравнение размерной цепи	Расчетный операционный размер		Величина корректировки	Принятый операционный размер
		макс.	мин.				макс.	мин.		
1	2	3		4	5	6	7		8	9
$C_1$	$50_{-0,025}$	50,0	49,975	$A_4$	-0,025	$C_1 = A_4$	50,0	49,975	-	$50,0_{-0,025}$
$Z_3$	$0,052^{+0,05}$	0,225	0,175	$A_9$	-0,025	$Z_3 = A_9 - A_4$	50,077	50,052	+0,123	$50,2_{-0,025}$



# Расчет длинных операционных размеров с применением теории графов

## Пример расчета операционных размеров

$$C_1 = A_4$$

$$C_{1_{\max}} = A_{4_{\max}},$$

$$A_{4_{\max}} = C_{1_{\max}} = 50,0.$$

$$C_{1_{\min}} = A_{4_{\min}},$$

$$A_{4_{\min}} = C_{1_{\min}} = 49,975$$

$$Z_3 = A_9 - A_4$$

$$Z_{3_{\max}} = A_{9_{\max}} - A_{4_{\min}};$$

$$A_{9_{\max}} = Z_{3_{\max}} + A_{4_{\min}};$$

$$A_{9_{\max}} = 0,102 + 49,975 = 50,077;$$

$$Z_{3_{\max}} = 50,2 - 49,975 = 0,225;$$

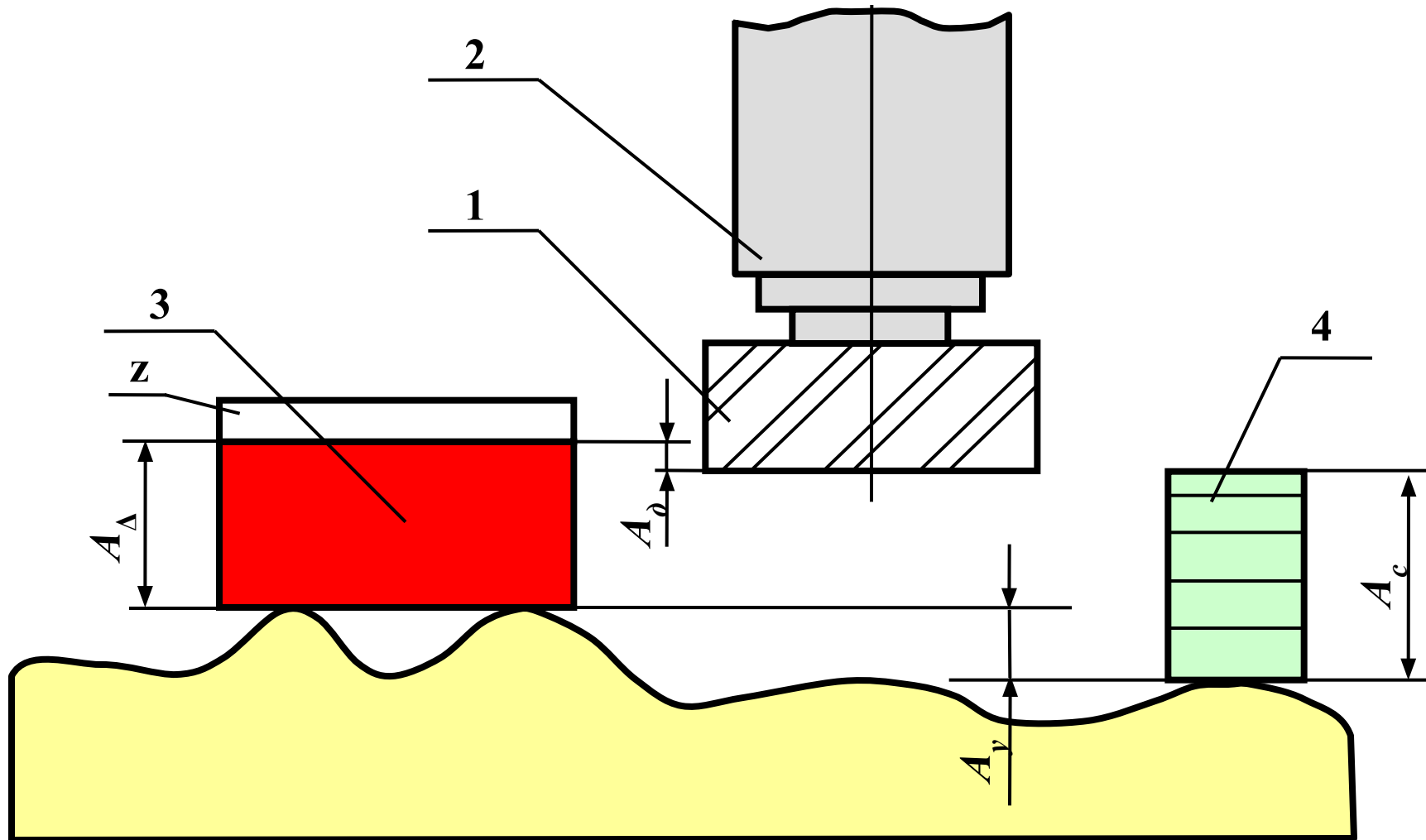
$$Z_{3_{\min}} = A_{9_{\min}} - A_{4_{\max}};$$

$$A_{9_{\min}} = Z_{3_{\min}} + A_{4_{\max}};$$

$$A_{9_{\min}} = 0,052 + 50,0 = 50,052;$$

$$Z_{3_{\min}} = 50,175 - 50,0 = 0,175.$$

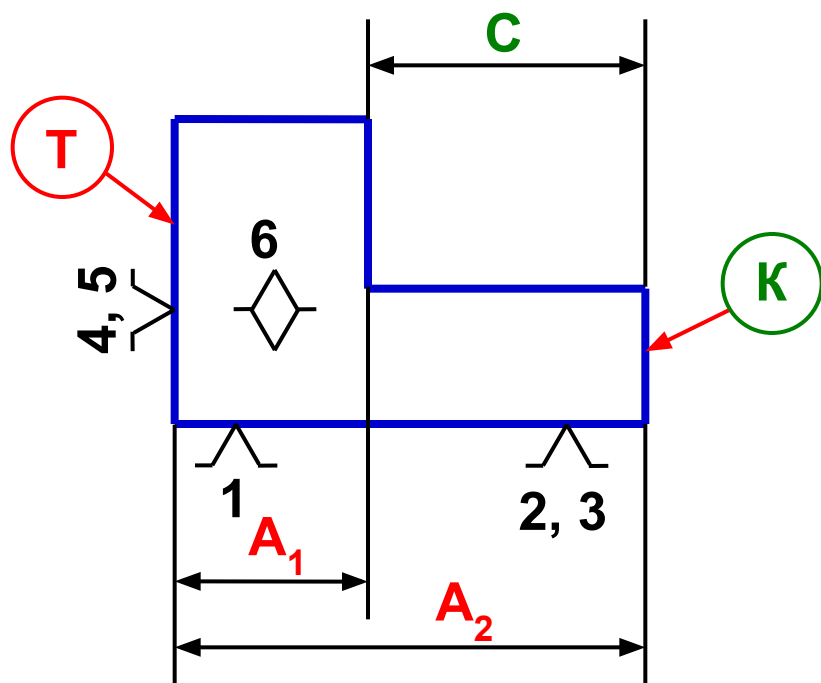
# Формирование качества деталей, обрабатываемых на металлорежущих станках Лекция 6



1 – торцовая фреза, 2 – шпиндельная головка,  
3 – обрабатываемая деталь,  $z$  – припуск, 4 – набор концевых мер

# Основные причины погрешности установки

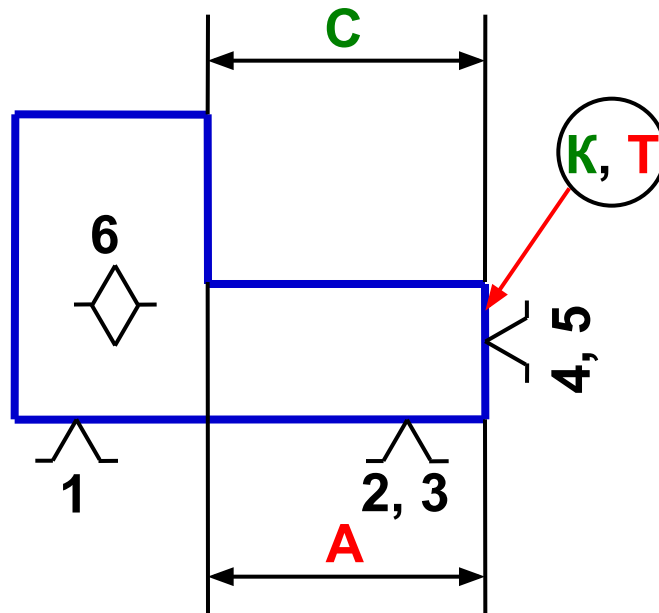
## 1) Неправильный выбор технологических баз (не соблюдаются правила выбора баз)



конструкторская и  
технологическая базы

НЕ совпадают

$$TC = TA_1 + TA_2$$



конструкторская и  
технологическая базы

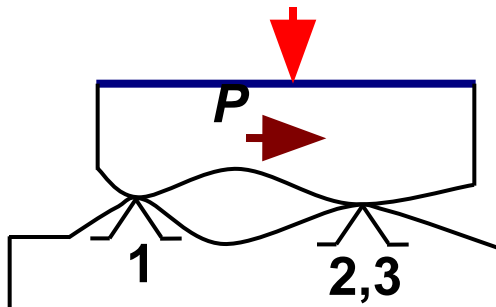
совпадают

$$TC = TA$$

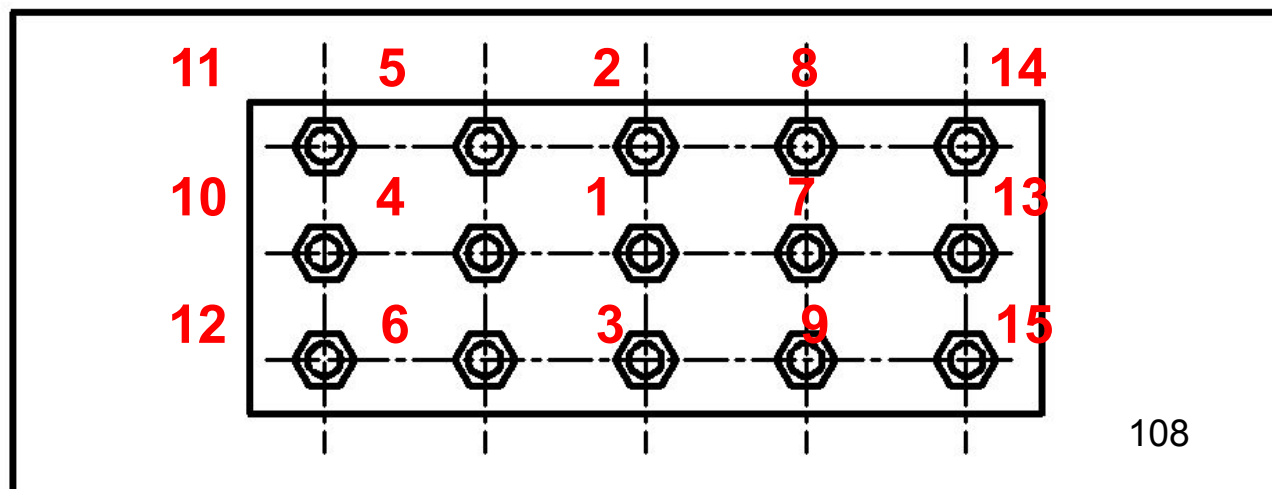
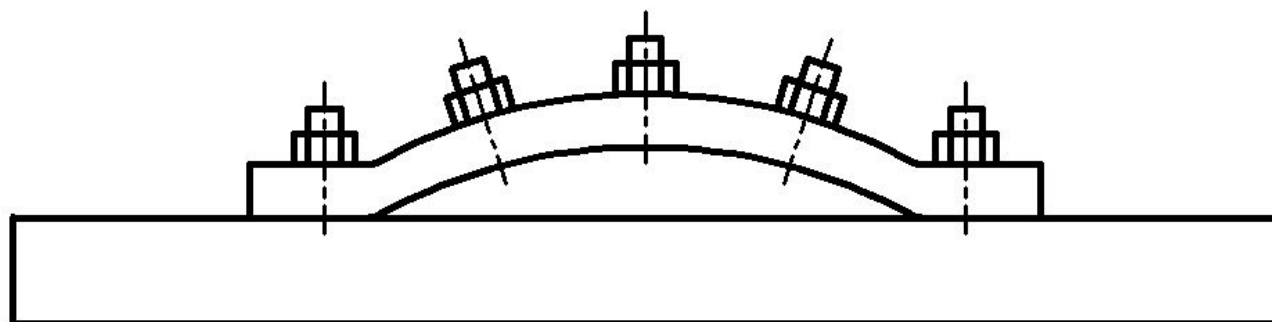
**C** – конструкторский размер, **A** – операционные размеры,  
**T** – технологическая база, **K** – конструкторская база

# Основные причины погрешности установки

## 2) Нарушение правил приложения силового замыкания

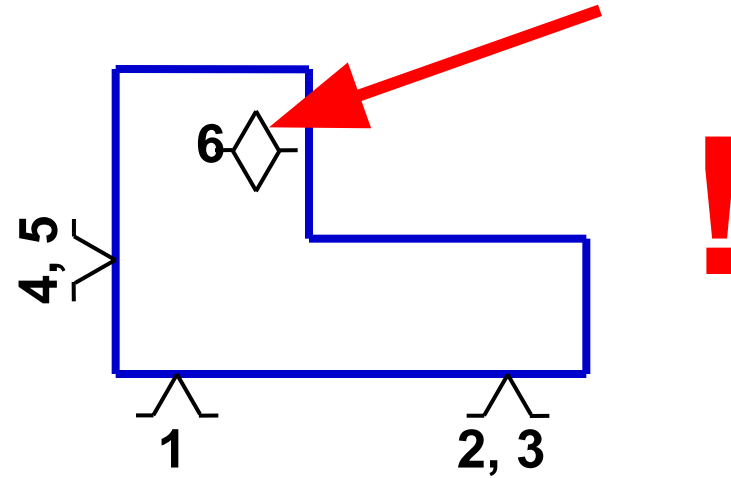
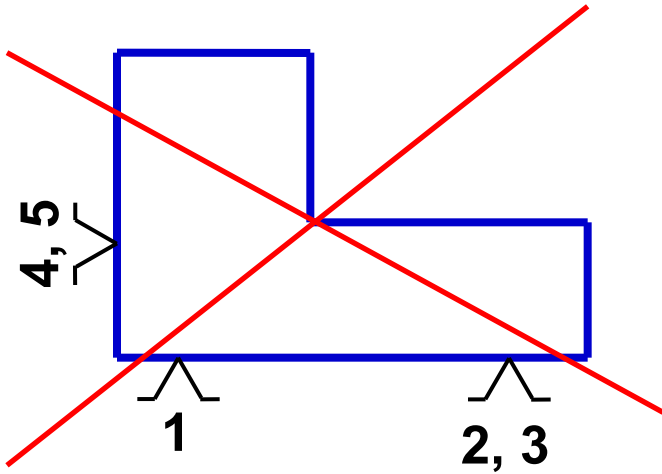


$$Q \cdot f = k \cdot P$$

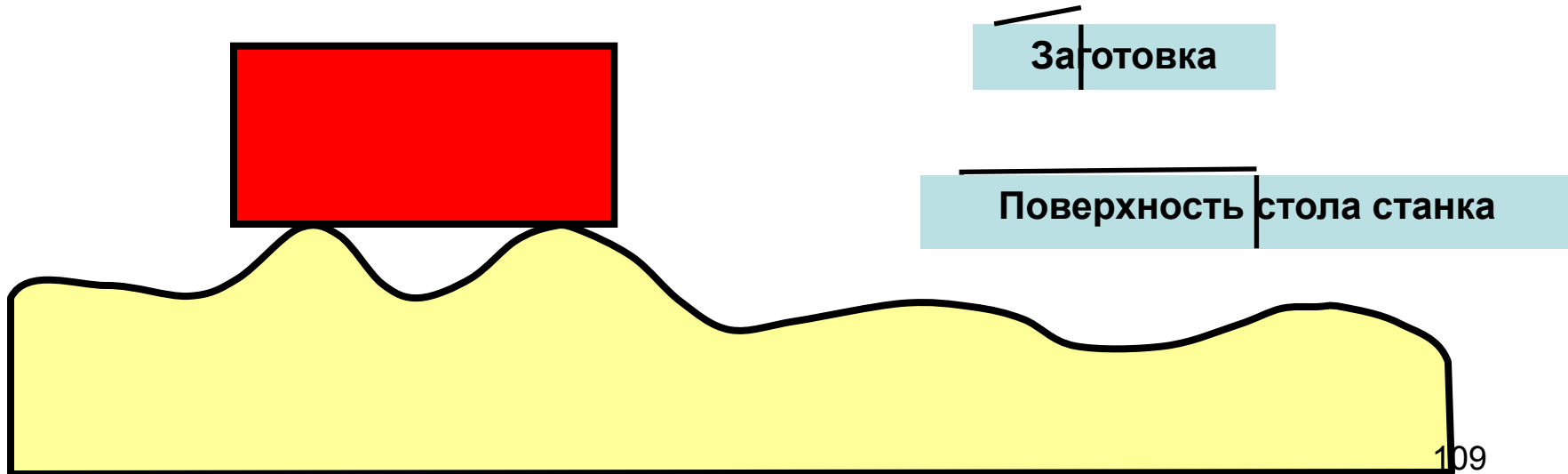


# Основные причины погрешности установки

## 3) Не выполнение правила шести точек

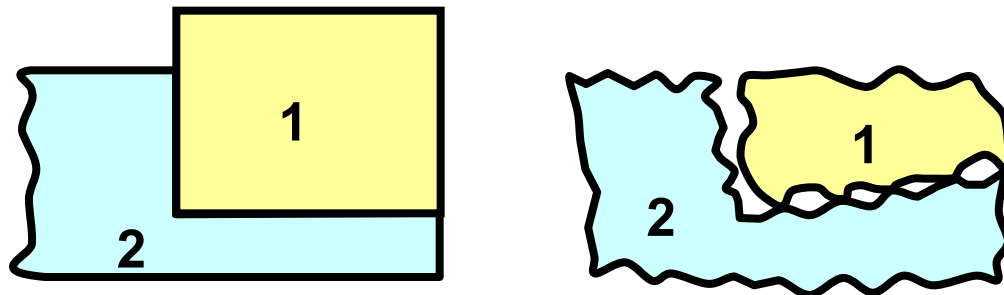


## 4) Погрешности базирующих поверхностей оборудования

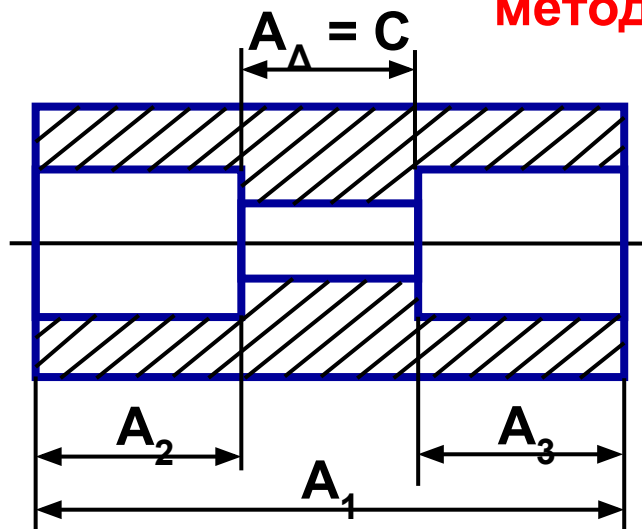


# Основные причины погрешности установки

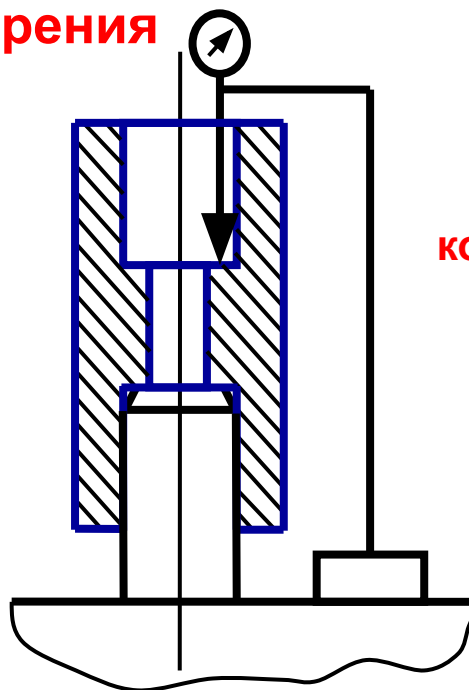
5) Качество технологических баз (точность их формы, относительных поворотов, размеров и расстояний)



6) Неправильный выбор измерительных баз, средств и методов измерения



измерительная и  
конструкторская базы  
не совпадают



измерительная и  
конструкторская базы  
совпадают

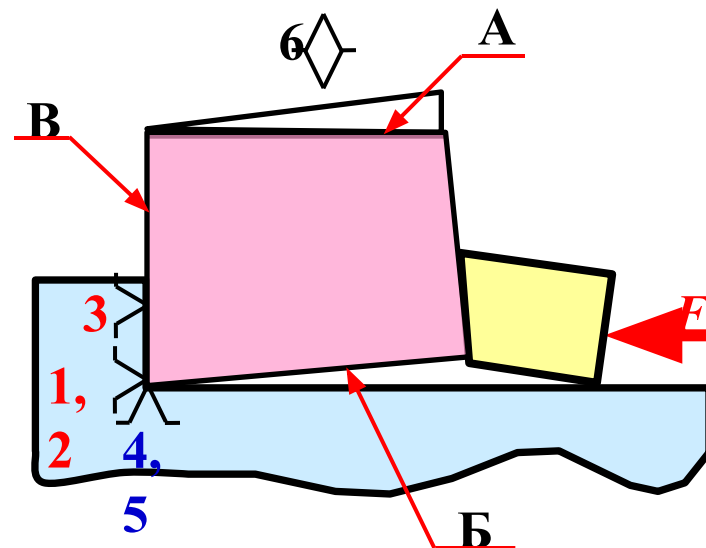
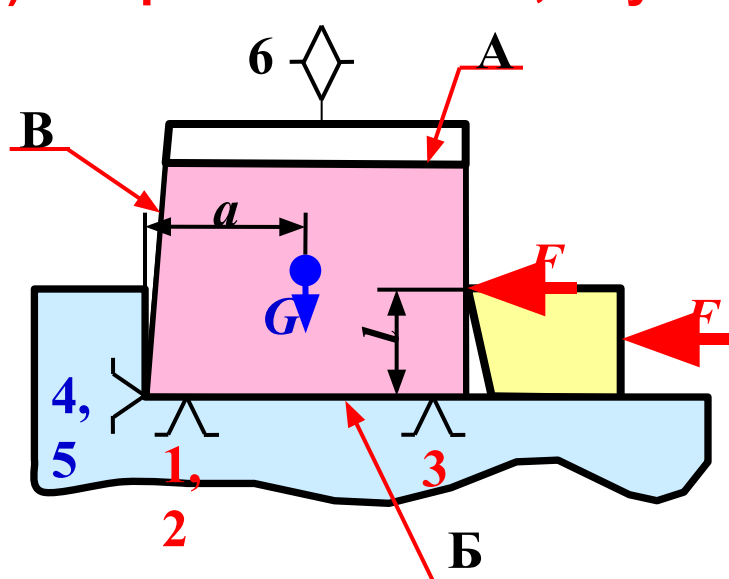
$TC = TA$

# Основные причины погрешности установки

## 7) Недостаточная квалификация рабочего



## 8) Неорганизованная, случайная смена баз



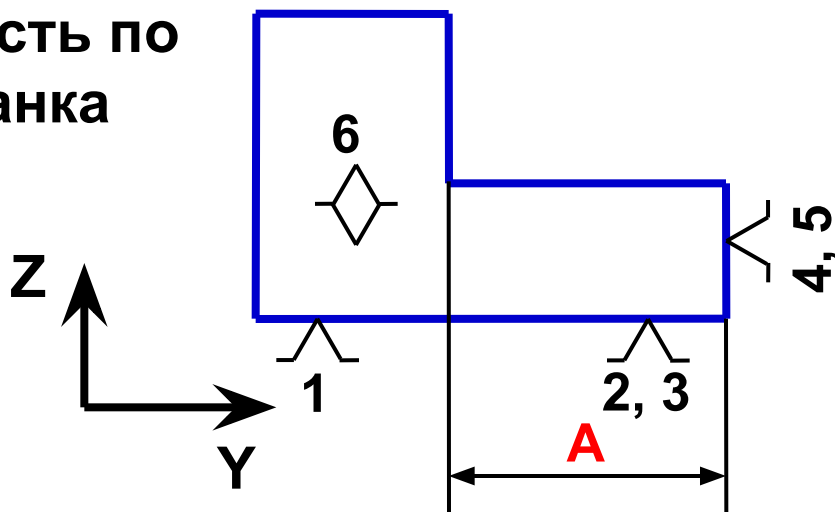
# Основные причины погрешности статической настройки

- 1) Неправильный выбор технологических и измерительных баз, методов и средств измерения
- 2) Неправильный выбор метода и средств статической настройки
- 3) Погрешность установки режущих кромок инструмента и приспособлений относительно координатных плоскостей станка
- 4) Недостаточная точность оборудования, приспособления и режущего инструмента

Дискретность по осям станка

Z: 0,05 мм

Y: 0,05 мм



~~A = 20 мм~~

~~TA = 0,01 мм~~

TA = 0,05 мм !

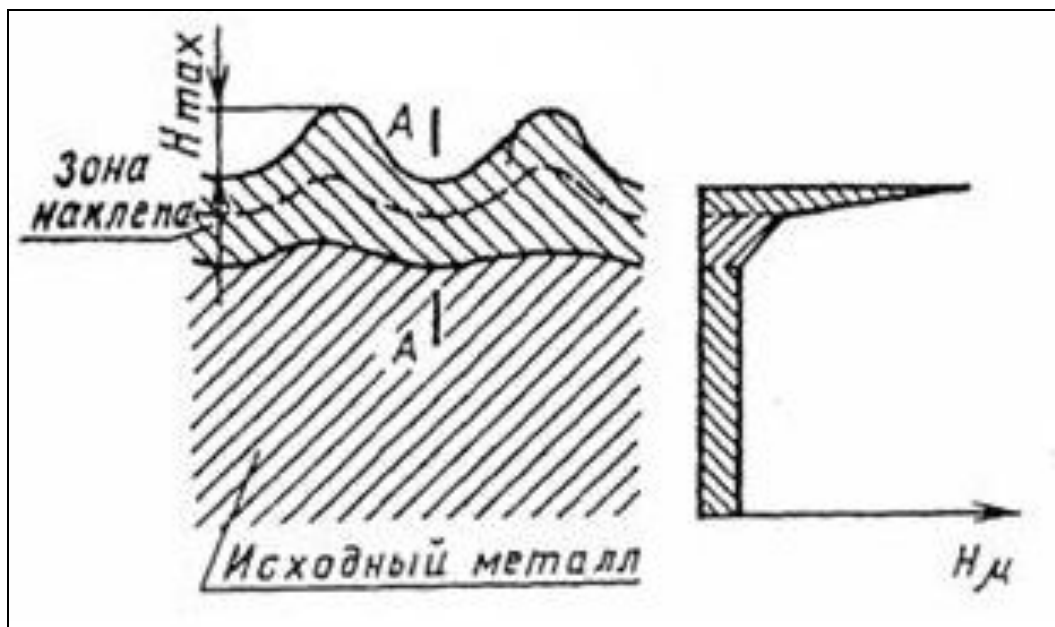
- 5) Недостаточная квалификация рабочего



# Основные причины погрешности динамической настройки

1) Неоднородность обрабатываемого материала

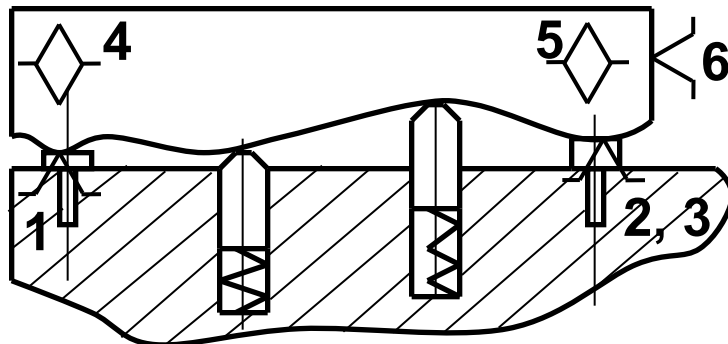
2) Колебание припусков на обработку и твердости обрабатываемого материала как в пределах одной детали, так и пределах партии деталей



3) Недостаточная, а, главное, переменная жесткость технологической системы

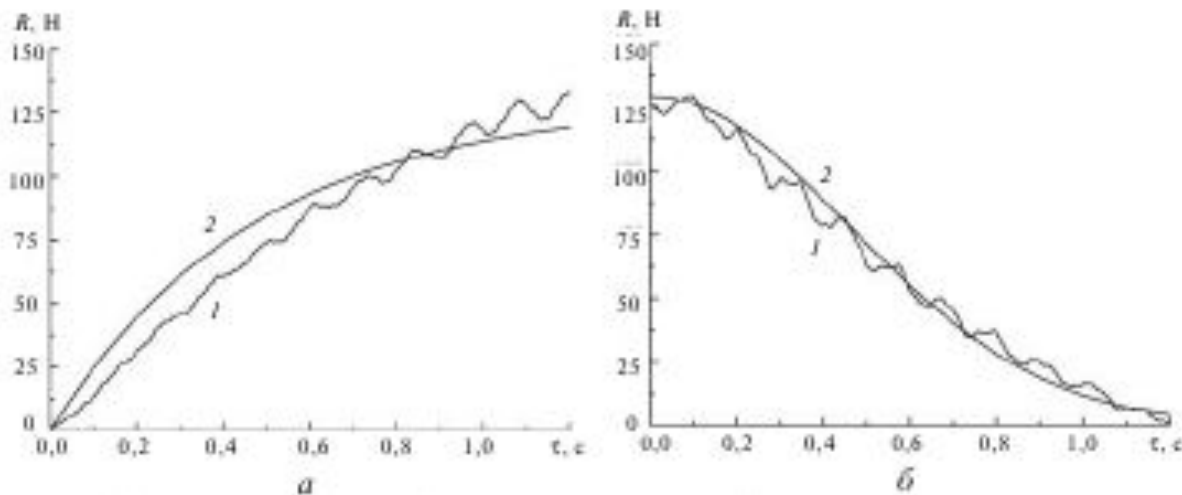
# Основные причины погрешности динамической настройки

## 3) Недостаточная, а, главное, переменная жесткость технологической системы



Повышение жесткости заготовки за счет использования дополнительных опор

## 4) Изменения сил резания на участках входа и выхода инструмента:



Экспериментальные (1) и интерполирующие (2) кривые изменения равнодействующей силы от времени обработки на участке врезания (а) и выхода (б) инструмента из зоны контакта при точении

# Основные причины погрешности динамической настройки

5) Температурные деформации технологической системы

6) Свойства и способ подачи  
СОТС

7) Упругие деформации системы

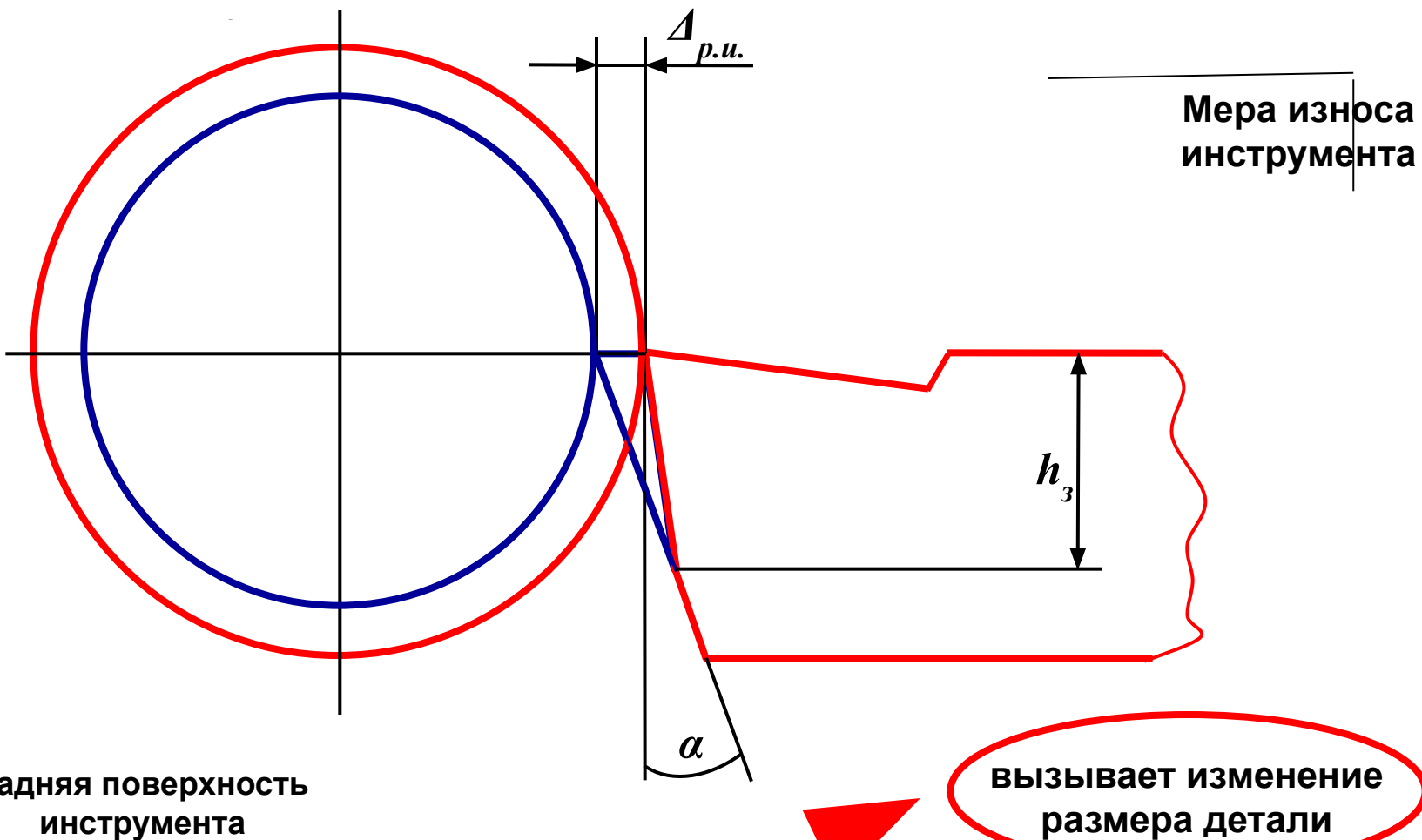
8) Недостаточная квалификация рабочего



**Интенсивность изнашивания инструмента зависит от:**

- свойств материала инструмента**
- свойств материала заготовки**
- режимов механической обработки**
- температуры нагрева**
- свойств СОТС**

# Размерный износ инструмента



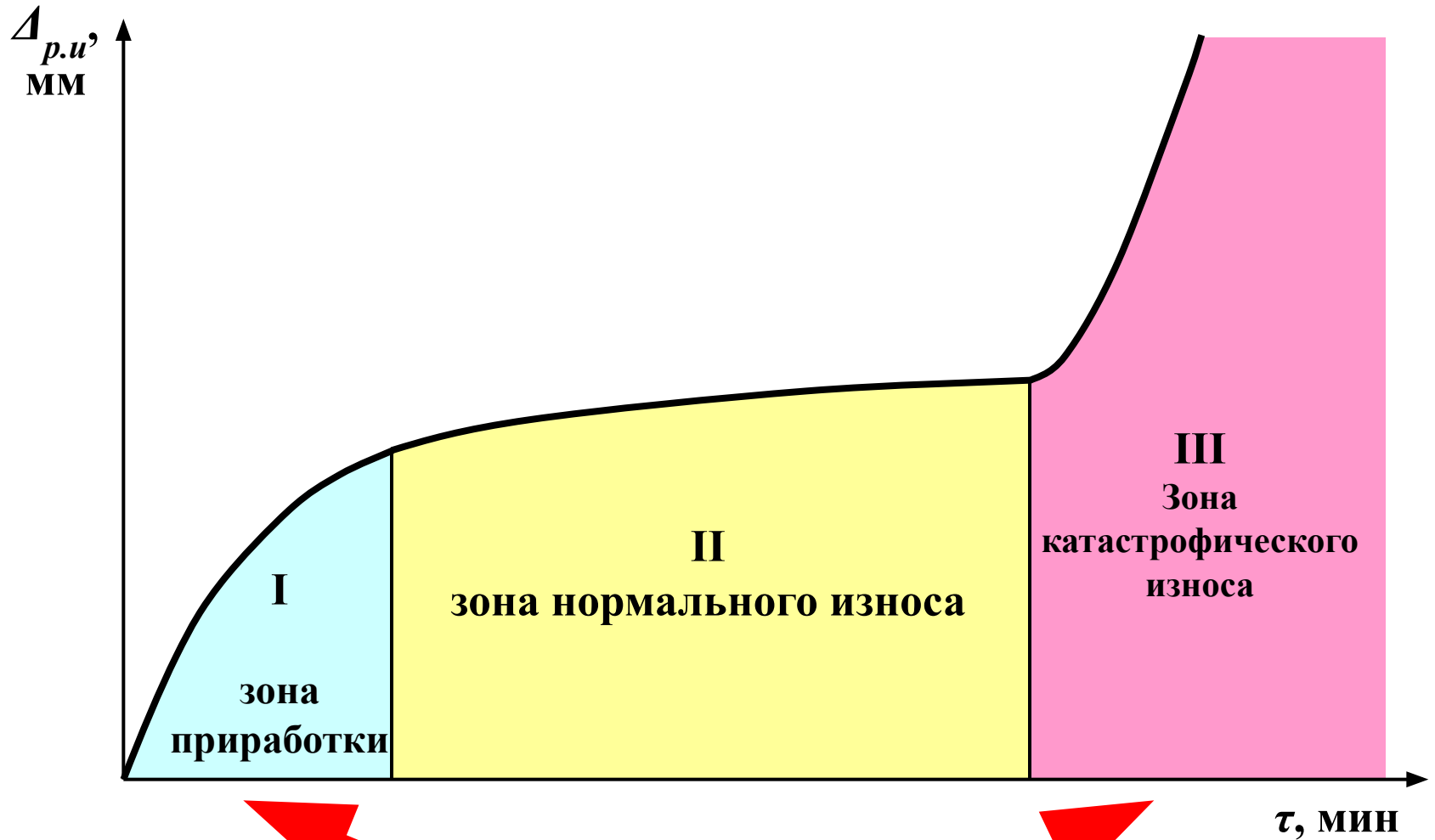
$\Delta_{p.u.}$  – величина размерного износа инструмента  
 $h_3$  – фаска износа по задней поверхности

вызывает изменение размера детали

может быть проверен только по изменению обрабатываемой поверхности

# Размерный износ инструмента

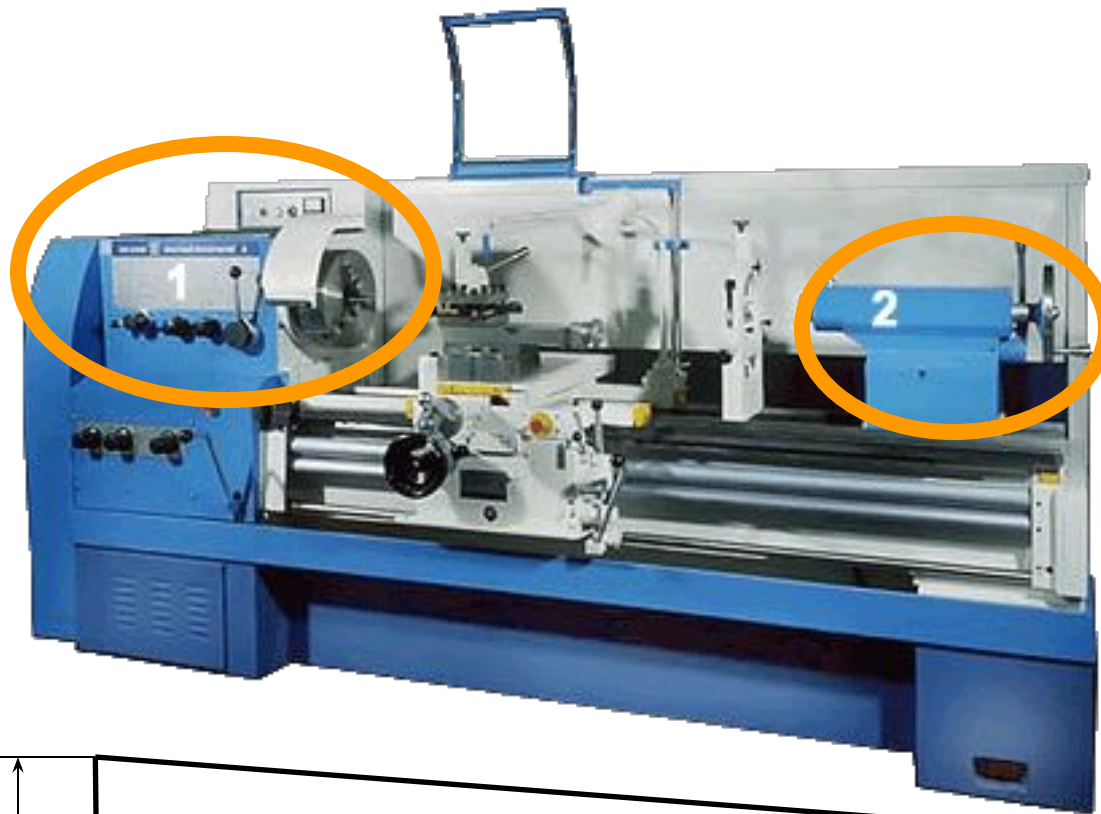
## Кривая процесса изнашивания инструмента



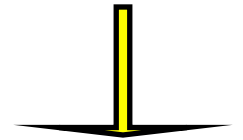
первоначальный износ

интенсивное изнашивание, затупление 118

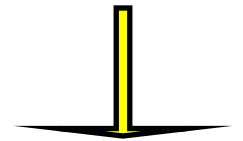
# Размерный износ инструмента



Затупление  
инструмента

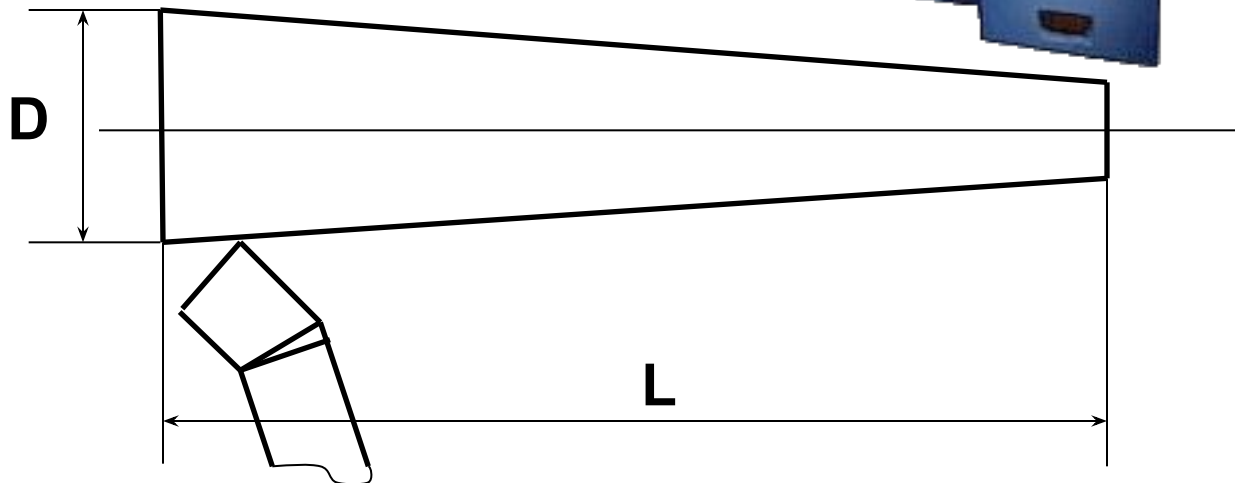


Увеличение  
силы резания



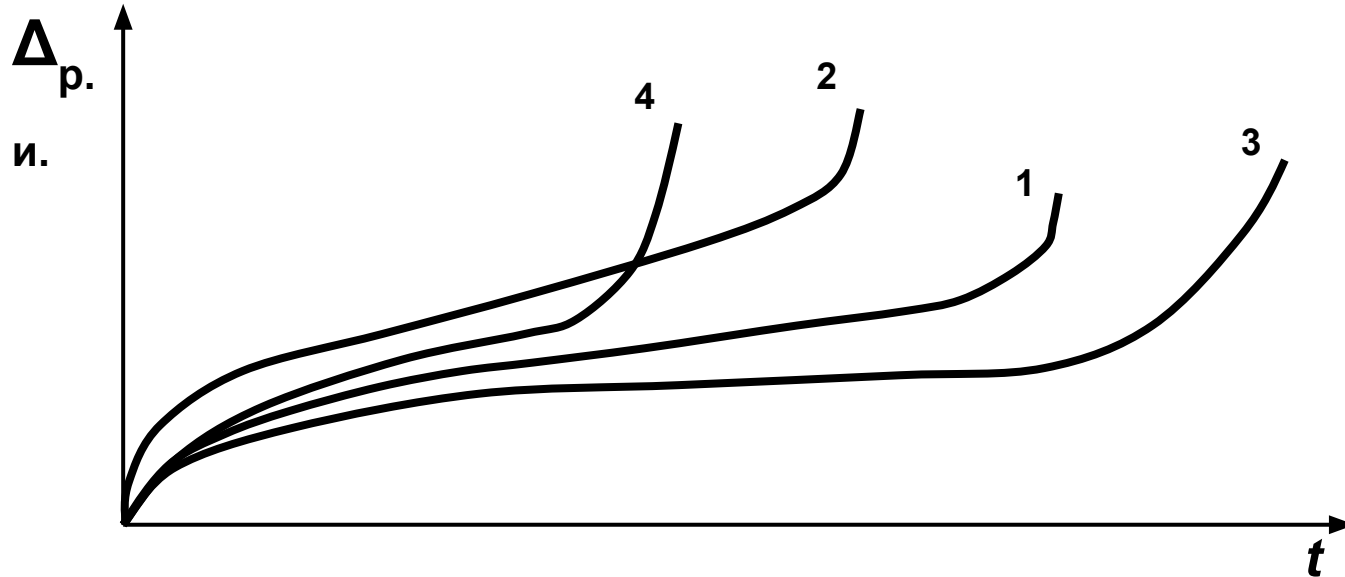
Увеличение  
среднего  
значения  
упругих  
перемещений

$L \gg D$

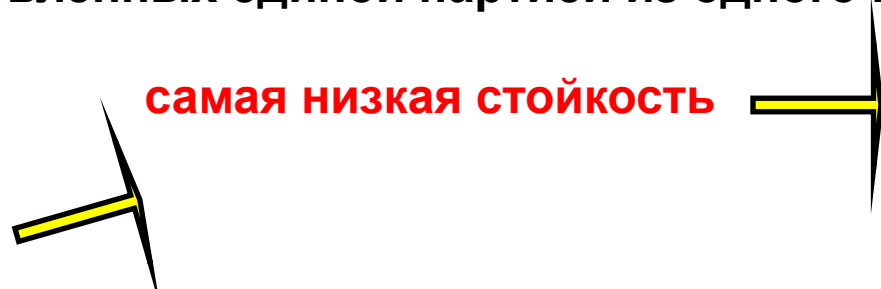


Обтачивании длинного вала большого диаметра

# Размерный износ инструмента

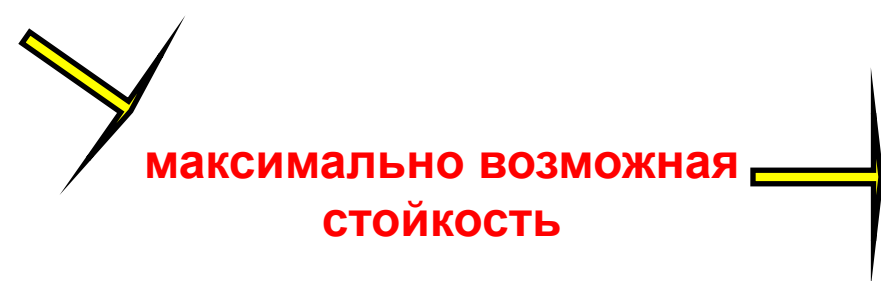


Нестабильность характеристик стойкости режущего инструмента одного типа, изготовленных единой партией из одного и того же материала



увеличение расходов на приобретение, замену и перетачивание

Замена инструмента



преждевременное разрушения инструмента, неизбежность брака изготавливаемых деталей

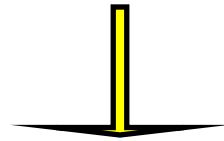


# Размерный износ инструмента

Способы автоматического выявления момента затупления конкретного инструмента

1) непрерывный контроль силы резания через крутящий момент на валу главного привода станка

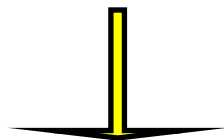
Превышение силой резания установленного порога



Сигнал для замены инструмента !

2) диагностика состояния инструмента с помощью акустических датчиков

Превышение допустимого уровня шума, возникающего в процессе резания



Сигнал для замены инструмента !


# Размерный износ инструмента

## *Мероприятия по уменьшению размерного износа инструмента*


- 1. Повышение качества и стабильности качества режущего инструмента**
- 2. Стабилизация сил резания**
- 3. Сокращение вибраций в технологической системе.**
- 4. Рациональный выбор режимов обработки**
- 5. Своевременная смена инструмента для его перетачивания**
- 6. Правильный подбор и применение СОТС**
- 7. Своевременная компенсация размерного износа инструмента поднастройкой технологической системы.**
- 8. Применение устройств диагностики состояния инструмента**

# Температурные деформации технологической системы


## Основные источники теплоты




механическая работа,  
затрачиваемая на  
резание



работа по преодолению  
сил трения движущимися  
детальями станка



неравномерные температурные деформации  
отдельных деталей технологической системы



**снижение качества выпускаемой продукции**

# Температурные деформации технологической системы

0,01...0,05 мм

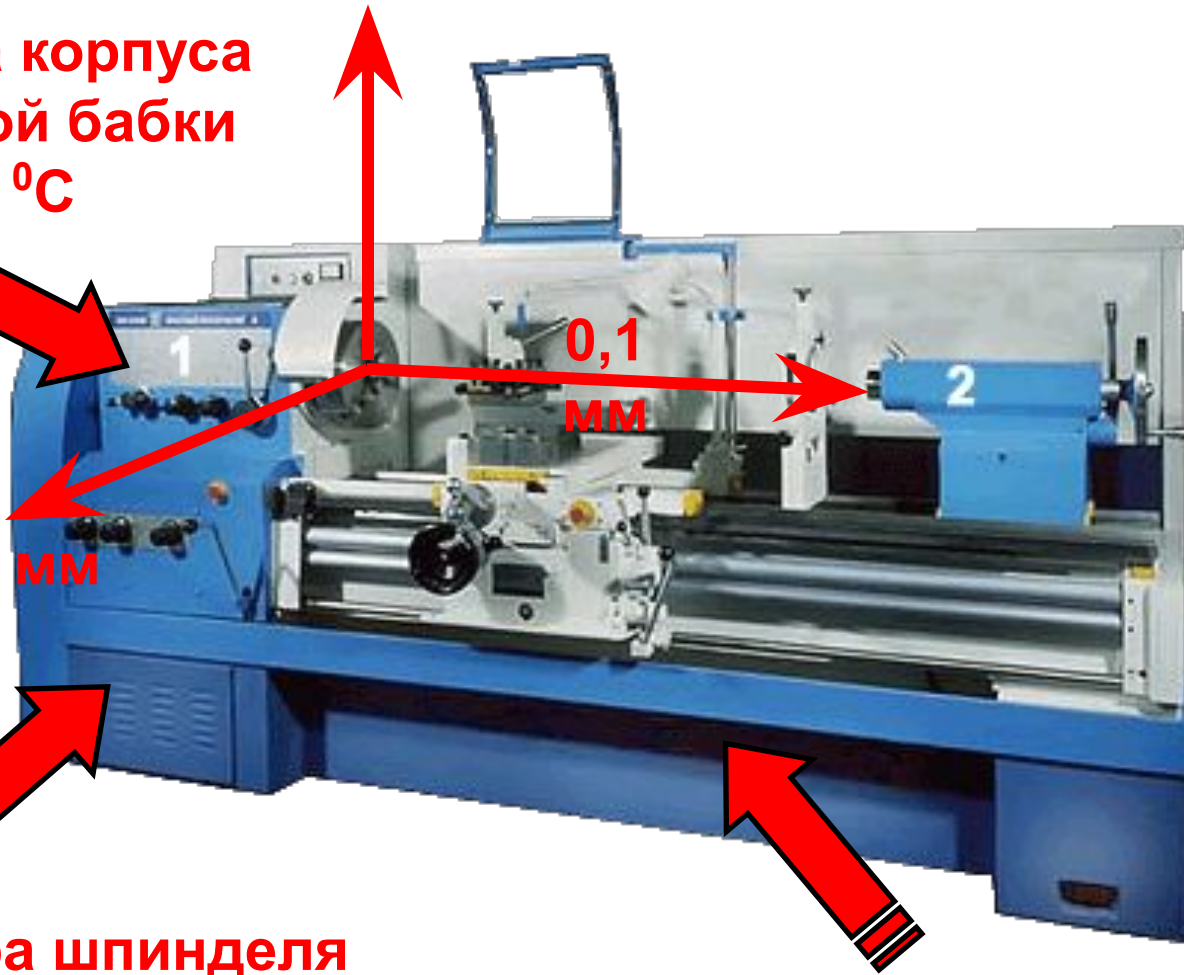
Температура корпуса  
шпиндельной бабки  
30...70 °C

0,1  
мм

0,005...0,015 мм

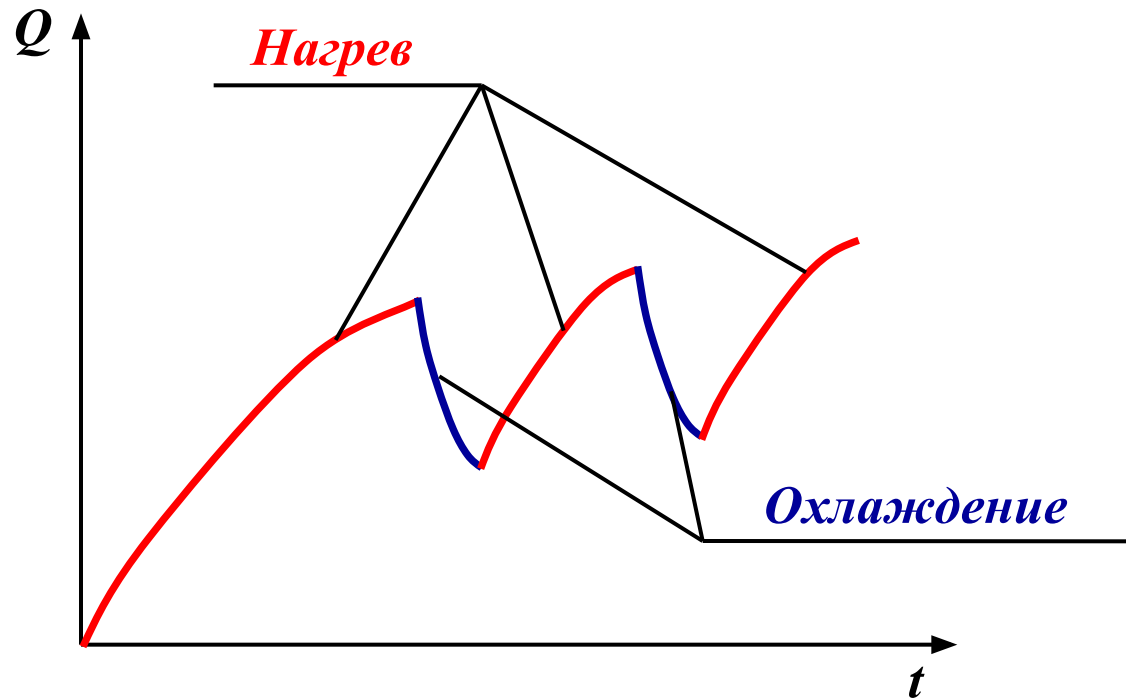
Температура шпинделя  
и валов — до 40...100 °C

разность температур различных  
частей станины может  
составлять 10 °C и больше



# Температурные деформации технологической системы

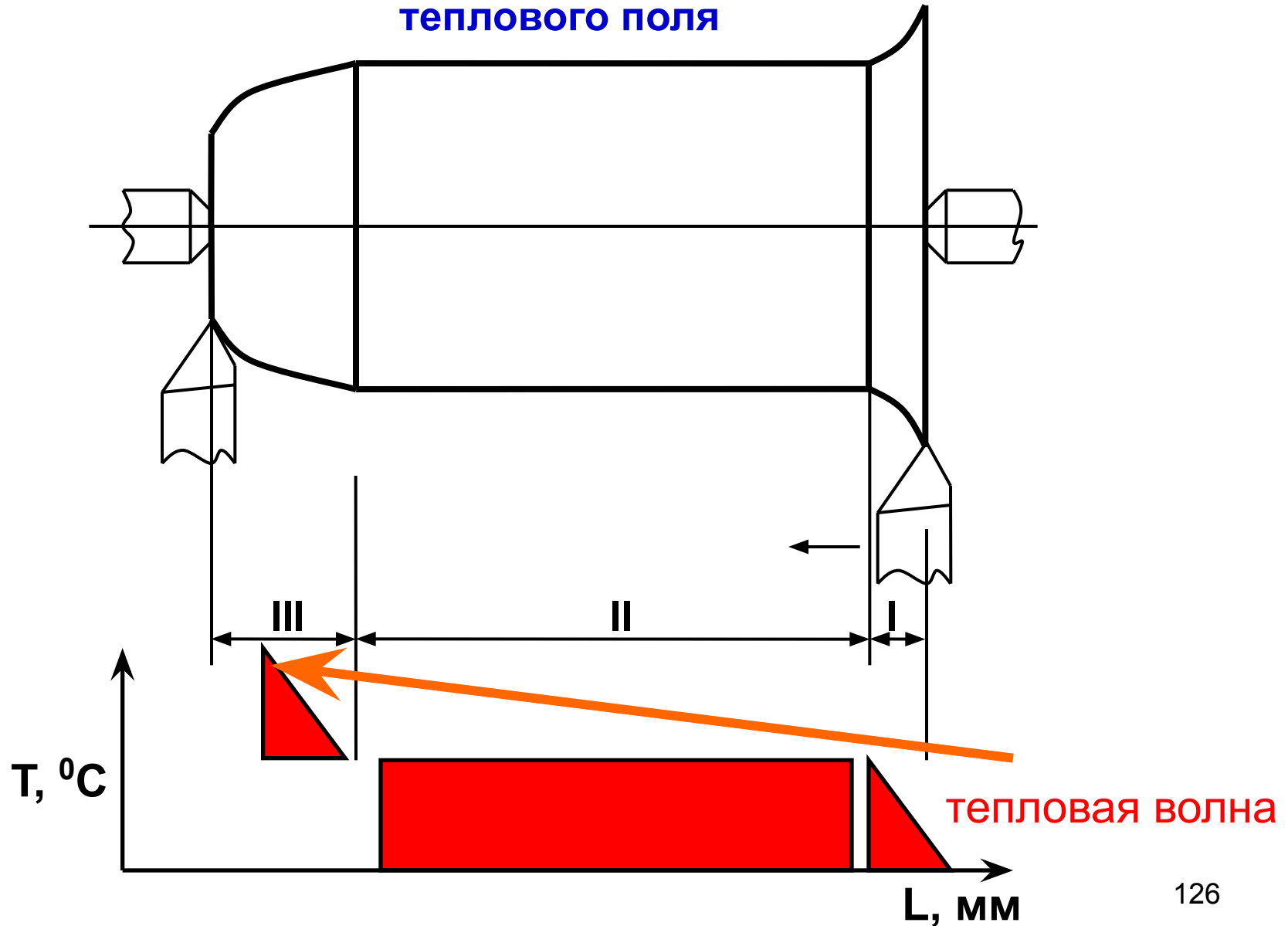
## Тепловые деформации резца при работе с перерывами



**тепловые деформации режущего инструмента**

# Температурные деформации технологической системы

Искажение формы поверхности детали под воздействием  
теплового поля



# Температурные деформации технологической системы

## *Мероприятия по уменьшению тепловых деформаций*

- 1. Стабилизация температуры в цехе**
- 2. Прогревание станков на холостом ходу до начала работы**
- 3. Применение искусственного охлаждения режущего инструмента и заготовки**
- 4. Введение в конструкцию станков дополнительных устройств, стабилизирующих температуру станин, стоек и корпусных деталей**
- 5. Сокращение перерывов в работе технологической системы до минимума**
- 6. Введение корректирующих устройств для компенсации температурных деформаций**

# Жесткость технологической системы

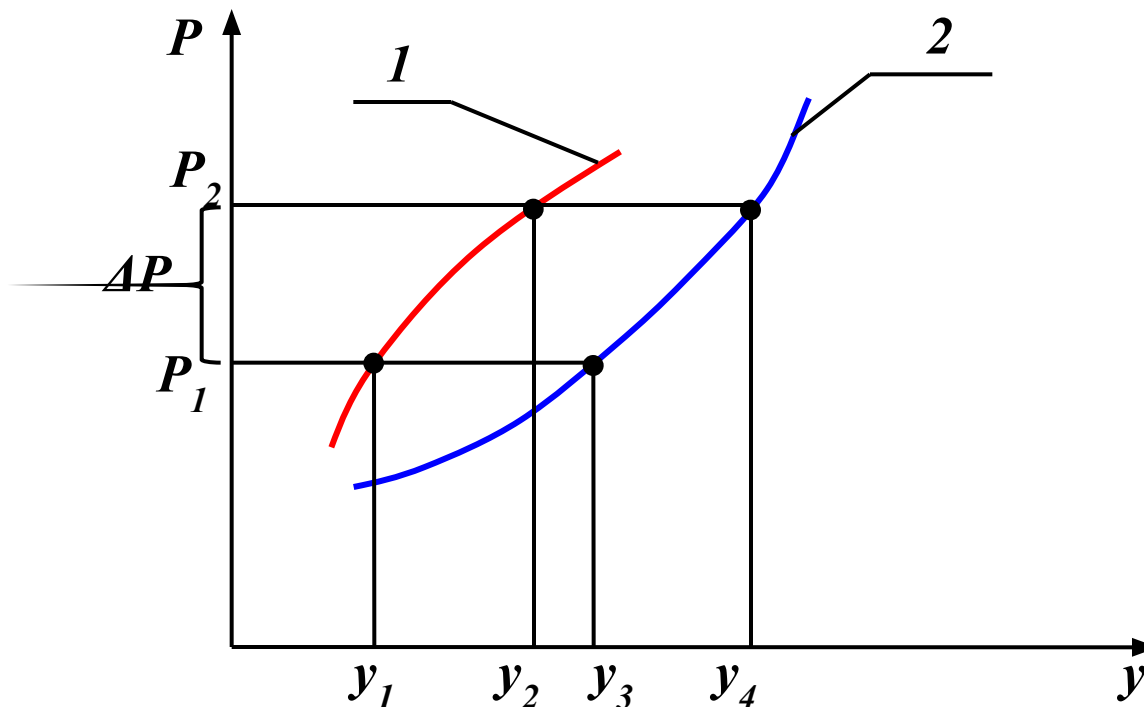
$$j = \frac{P}{y} \quad (\text{Н/мм})$$

$P$  – сила, действующей на деталь, сборочную единицу или технологическую систему;  
 $y$  – перемещения выбранной точки рассматриваемого объекта под действием этой силы

**податливост  
ть:**

$$\omega = \frac{1}{j} = \frac{y}{P} \quad (\text{мм/Н})$$

**Сравнение 2 технологических систем с разной жесткостью**





# Температурные деформации технологической системы

## *Мероприятия по повышению жесткости технологической системы*

1. Сокращение количества звеньев в размерной цепи (уменьшение числа стыков)
2. Повышение контактной жесткости деталей
3. Обеспечение большей определенности базирования за счет создания предварительного натяга в системе
4. Стабилизация температуры при обработке детали
5. Управление жесткостью системы с целью ее стабилизации за счет изменения жесткости одного из звеньев
6. Повышение жесткости заготовки путем применения дополнительных опор, в частности, люнетов
7. Правильные условия и режимы эксплуатации технологической системы

# РАСЧЕТ И НАЗНАЧЕНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

# Критерии расчета (назначения) режимов резания

- 1. МАКСИМАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ.** Максимальный съём металла в единицу времени. Применяется при предварительной черновой обработке на мощном или на дорогом оборудовании.
- 2. МАКСИМАЛЬНАЯ СТОЙКОСТЬ ИНСТРУМЕНТА.** Применяется там, где стойкость является лимитирующей, при дорогом инструменте, при обработке дисков авиадвигателей и т.д.
- 3. МИНИМАЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ОДНОЙ СТАНКОМИНУТЫ.** Наиболее универсальный критерий, так как учитывает все приведённые затраты.
- 4. ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КРИТЕРИЙ.** Применяется в крупносерийном и массовом производстве на поточных линиях при принудительной смене инструмента для переточки вне зависимости от степени износа каждого из инструментов

# **ВЛИЯНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО И СЕБЕСТОИМОСТЬ ПРОДУКЦИИ**

# Коэффициенты, характеризующие уровень организации труда

$$\begin{aligned} & \text{Коэффициент} \\ & \text{трудовой дисциплины} \\ & = \frac{\text{число прогулов}}{\text{общая численность работающих} \\ & \quad \text{в данном подразделении}} \\ \\ & \text{Коэффициент} \\ & \text{безопасности труда} \\ & = \frac{\text{число несчастных случаев} \\ & \quad \text{различной тяжести}}{\text{общая численность работающих} \\ & \quad \text{в данном подразделении}} \\ \\ & \text{Коэффициент} \\ & \text{сверхурочных работ} \\ & = \frac{\text{число часов сверхурочных работ}}{\text{действительный фонд времени}} \end{aligned}$$

**ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ  
РАЗРАБОТКИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИНЫ**

# **ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ**

- **описание служебного назначения машины**
- **технические требования и нормы точности, вытекающие из служебного назначения машины**
- **рабочие чертежи машины**
- **число машин, намечаемых к выпуску в единицу времени по неизменным чертежам**
- **условия, в которых предполагается организовать и осуществлять изготовление машины**
- **плановые сроки подготовки производства и выпуска машины**

# Последовательность разработки технологического процесса

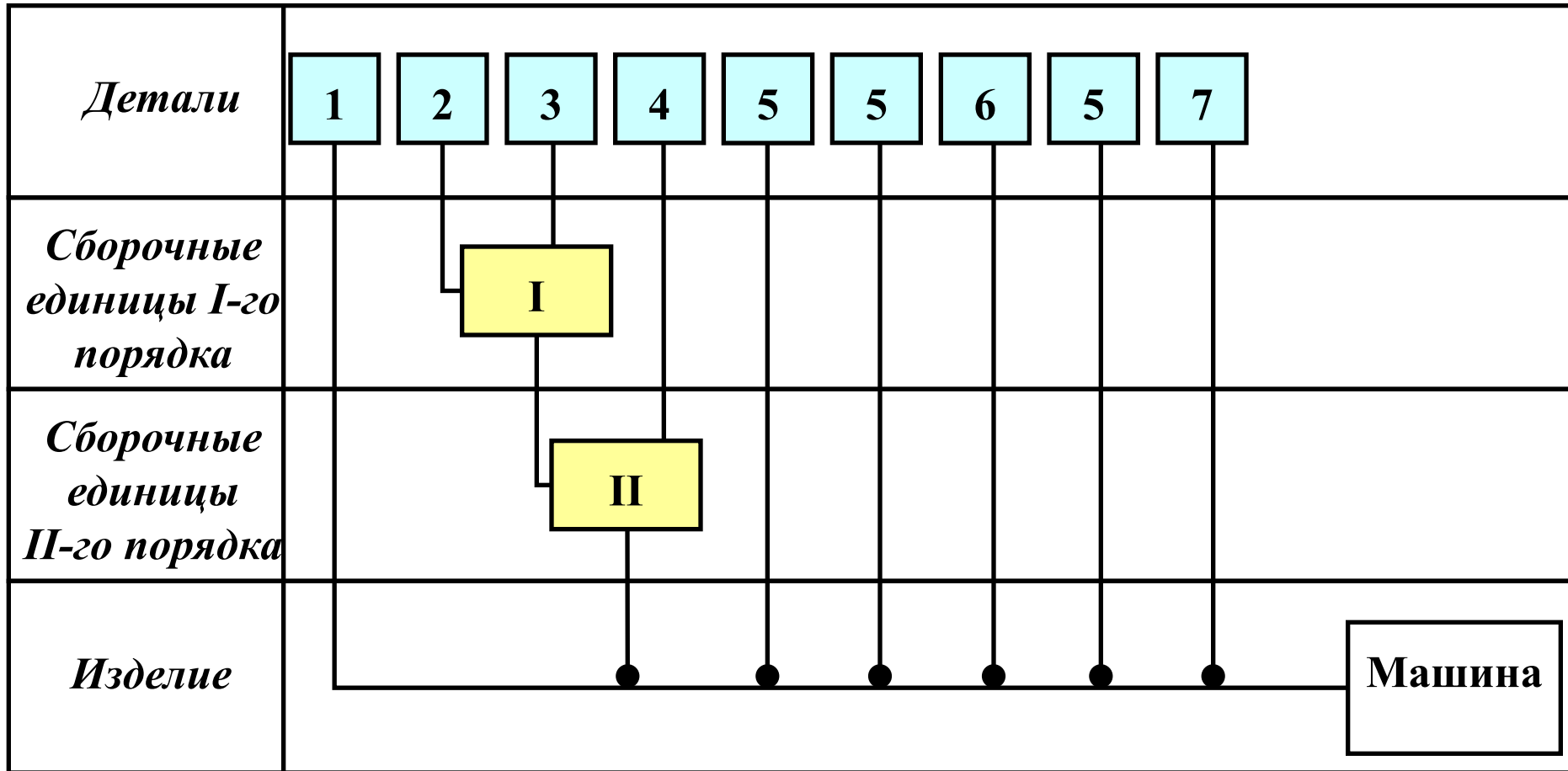
- 1. Изучение служебного назначения машины, технических требований и норм точности**
- 2. Ознакомление с намечаемым количественным выпуском машин в единицу времени и по неизменным чертежам**
- 3. Изучение рабочих чертежей машины, выявление конструкторских ошибок**
- 4. Разработка технологического процесса общей сборки изделия и сборки ее сборочных единиц, исходя из служебного назначения и программы выпуска**
- 5. Изучение служебного назначения деталей, анализ технических условий и норм точности**
- 6. Разработка технологических процессов изготовления деталей**
- 7. Планировка рабочих мест**
- 8. Проектирование и изготовление инструмента и оснастки**
- 9. Корректировка разработанных технологических процессов**



# **ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ**

- 1) Деление машины на сборочные единицы***
- 2) Определение основной базирующей детали***
- 3) Разработка технологического процесса общей сборки***
- 4) Разработка технологического процесса сборки отдельных сборочных единиц***
- 5) Составление схемы сборки***

# СХЕМА СБОРКИ



# **ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ**

- 1) Деление машины на сборочные единицы**
- 2) Определение основной базирующей детали**
- 3) Разработка технологического процесса общей сборки**
- 4) Разработка технологического процесса сборки отдельных сборочных единиц**
- 5) Составление схемы сборки**
- 6) Комплектование сборочных переходов**
- 7) Предварительное комплектование сборочных операций**
- 8) Нормирование сборочных операций**
- 9) Разработка циклограммы сборки и корректировка технологического сборочного процесса**

# ЦИКЛОГРАММА СБОРКИ

№ операций	
1	<input data-bbox="459 305 602 382" type="text"/>
2	<input data-bbox="510 439 687 516" type="text"/>
3	<input data-bbox="683 574 834 651" type="text"/>
4	<input data-bbox="556 714 834 791" type="text"/>
5	<input data-bbox="738 845 1445 922" type="text"/>
...	...
<i>N</i>	<input data-bbox="687 1119 1769 1196" type="text"/>
<i>Общая</i>	<input data-bbox="459 1268 1769 1345" type="text"/>

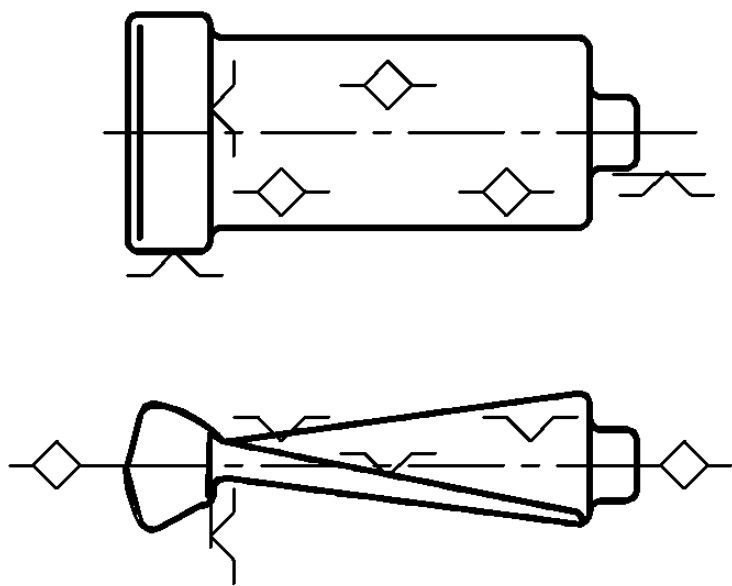
# **РАЗРАБОТКА ТЕХПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

- 1. Изучение по чертежам служебного назначения детали и анализ технических требований и норм точности***
- 2. Выявление объёма выпуска деталей, определение формы организации производства***
- 3. Выбор полуфабриката, из которого должна быть изготовлена деталь***
- 4. Выбор метод получения заготовки, если неэкономично или физически невозможно изготавливать деталь непосредственно из полуфабриката***
- 5. Выбор методов обработки поверхностей заготовки и установление числа переходов по обработке каждой поверхности***
- 6. Обоснование выбора технологических баз***
- 7. Определение числа этапов обработки и установление последовательности обработки поверхностей заготовки***

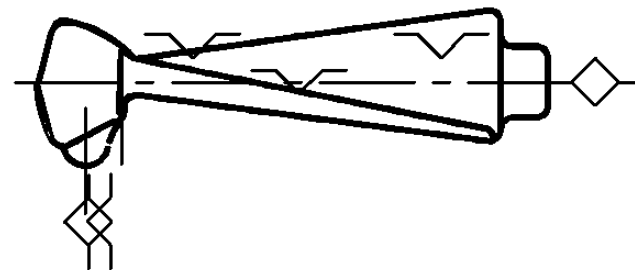
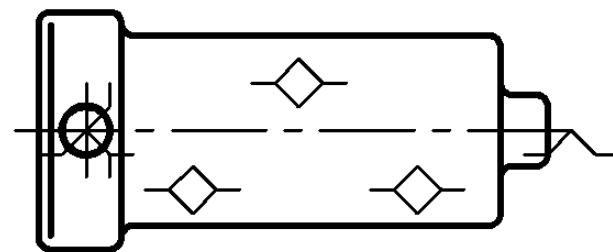
# **РАЗРАБОТКА ТЕХПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ**

- 8. *Формирование технологических операций***
- 9. *Выбор оборудования***
- 0. *Расчёт операционных размеров и припусков***
- 1. *Оформление чертежа заготовки***
- 2. *Выявление необходимой технологической оснастки и разработка требований, предъявляемых к ней***
- 3. *Назначение режимов обработки***
- 4. *Нормирование операций***
- 5. *Проработка других вариантов технологического процесса изготовления детали, расчет их себестоимости и выбор наиболее экономичного варианта***
- 6. *Оформление технологической документации***
- 7. *Разработка технических заданий на конструирование нестандартного оборудования, приспособлений, режущего и измерительного инструмента***

# Варианты базирования штампованных заготовок лопаток компрессора на первой операции технологического процесса

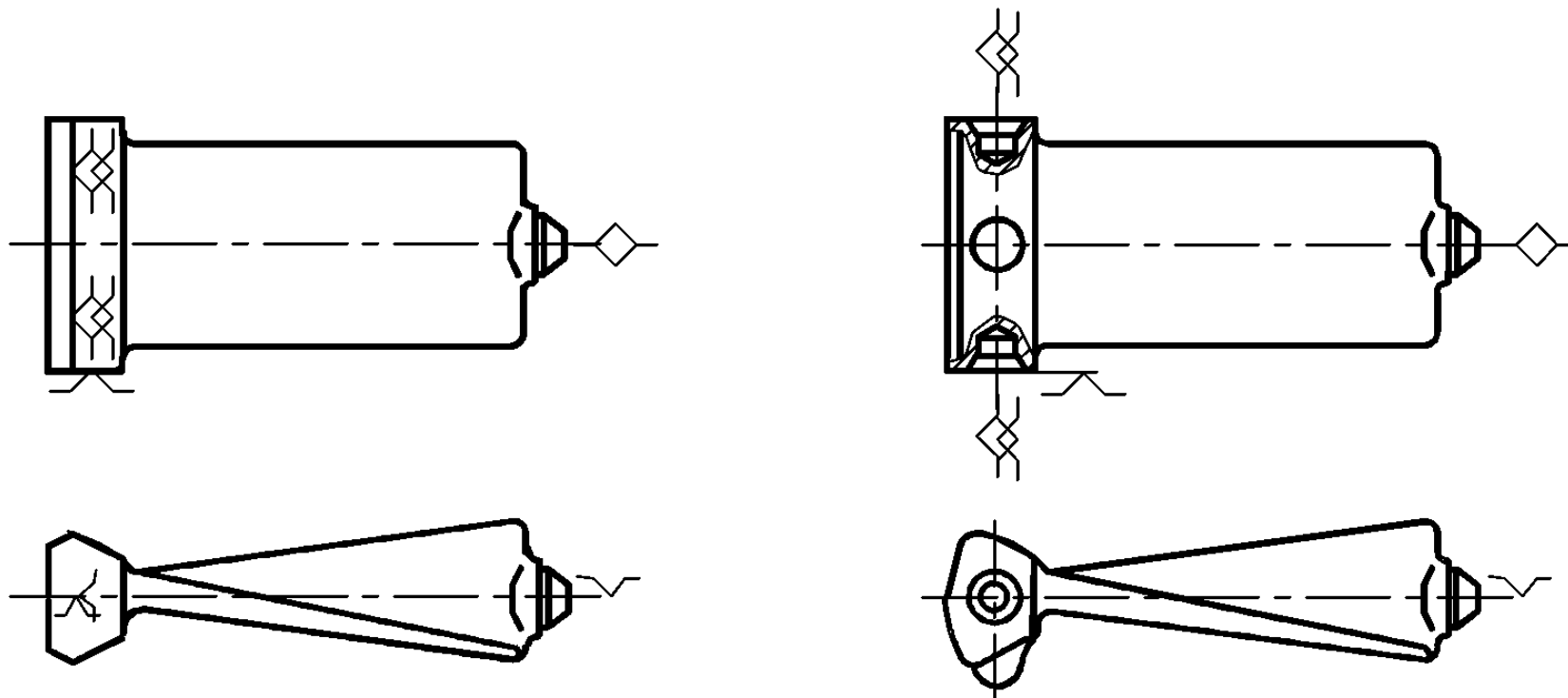


а)



б)

# Варианты базирования заготовок лопаток компрессора при последующей обработке

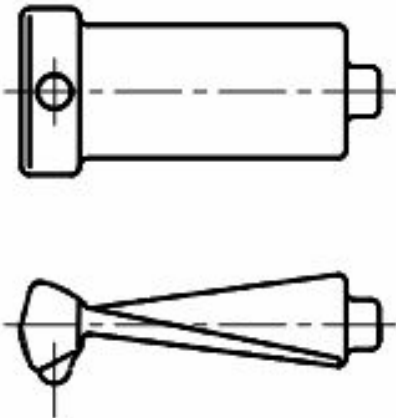
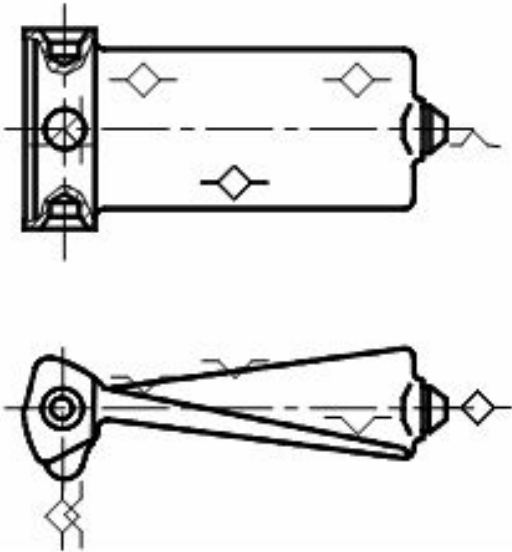


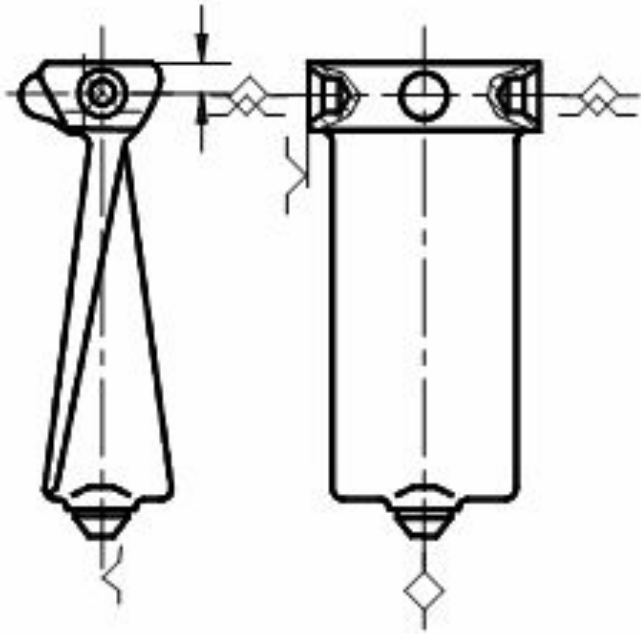
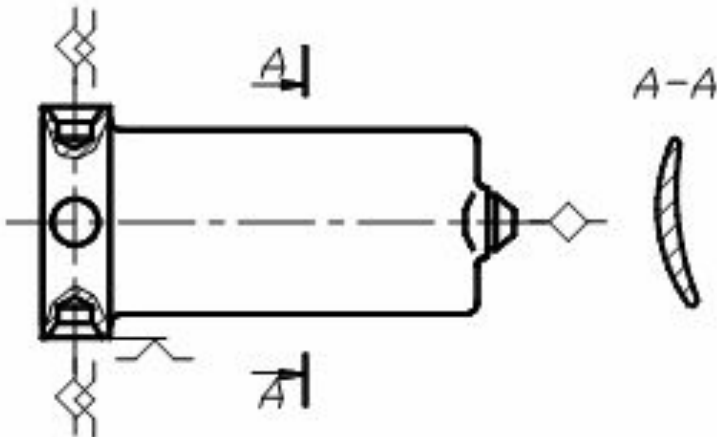
а

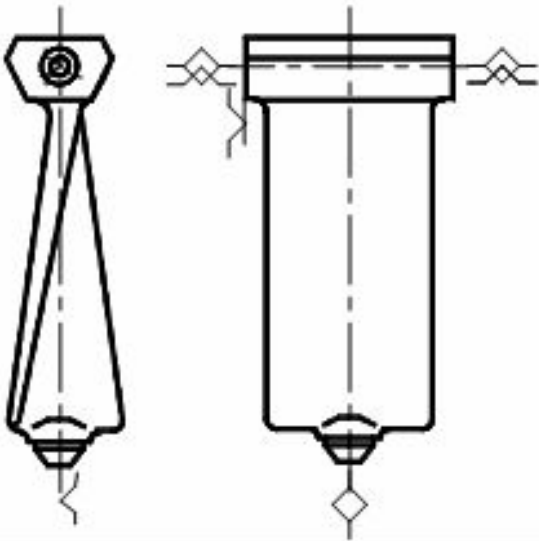

б



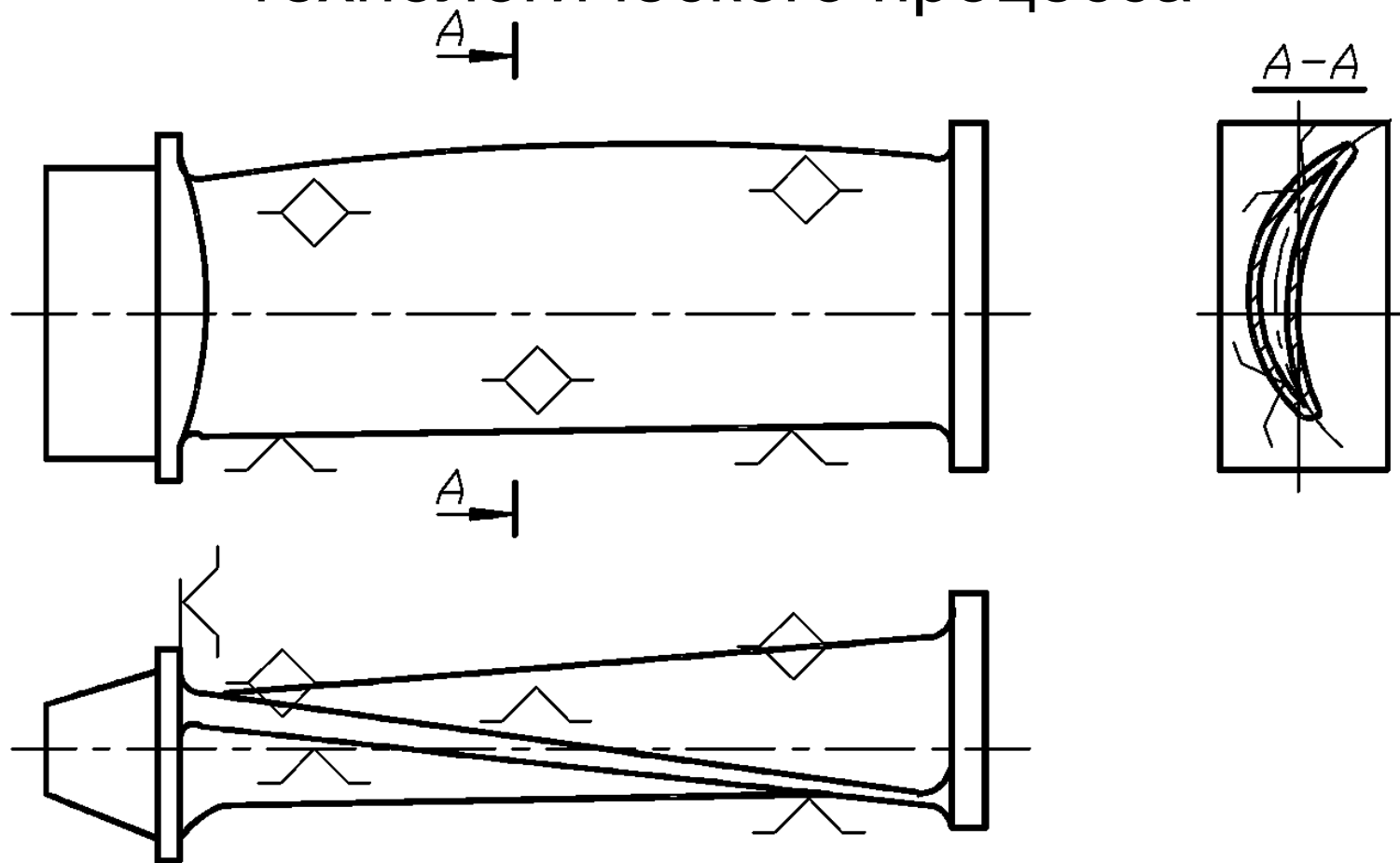
# План построения технологического процесса изготовления лопатки компрессора

№ опер.	Содержание операции	Эскиз обработки	Тип, модель оборудования
	Калиброванная штамповка		
5	Обработка центровых отверстий на торцах замка и конуса на технологической бобышке		Специальный агрегатный станок

<p>10</p>	<p>Обработка подошвы замка под токоподвод (если перо обрабатывается методом размерной ЭХО)</p>		<p>Фрезерные или протяжные станки</p>
<p>15</p>	<p>Обработка элементов проточной части лопатки</p>		<p>Специальное оборудование</p>

20	Обработка поверхностей замка		Фрезерные станки с поворотным приспособлением или протяжные станки
25	Обработка торцев и подошвы замка		Фрезерные или протяжные станки
30	Контроль геометрических параметров лопатки		
35	Отрезка технологической прибыли и заправка торца пера		
40	Упрочняющая и отделочная обработка		

# Схема базирования заготовки лопатки турбины на первой операции технологического процесса



# Схема базирования заготовки лопатки турбины при обработке

