

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА  
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

**Проничев Н.Д., Смирнов Г.В., Шулепов А.П.**

## **СБОРКА АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Инновационный курс лекций

Работа выполнена по мероприятию блока 1 «Совершенствование образовательной деятельности» Программы развития СГАУ на 2009 – 2018 годы по проекту «Разработка образовательных стандартов СГАУ по специальности 160700.65 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей и направлению подготовки бакалавров 160700.62 – Двигатели летательных аппаратов со сквозной документацией и создание исследовательских лабораторных работ и прогрессивных технологий лекционных заданий»

Соглашение № 1/4 от 03.06 2013 г.

САМАРА  
2013

УДК621.431.75(075)

ББК39.55я7

П 815

Авторы: **Проничев Николай Дмитриевич**  
**Смирнов Геннадий Владиславович**  
**Шулепов Александр Павлович**

Рецензент: Скуратов Д.Л., д-р техн. наук, профессор

Редакторская обработка: Н.В. Николаева

Компьютерная верстка: Н.В. Николаева

Проничев, Н.Д. Сборка авиационных газотурбинных двигателей [Электронный ресурс]: инновац. курс лекций / Н.Д. Проничев, Г.В. Смирнов, А.П. Шулепов; М-во образования и науки РФ, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). - Электрон. текстовые и граф. дан. (2,96 Мбайт). - Самара, 2013. - 1 эл. опт. диск (CD-ROM).

Инновационный курс лекций предназначен для студентов факультета «Двигатели летательных аппаратов»: бакалавров специальности 160700.62 – Двигатели летательных аппаратов (ФГОС-3), изучающих дисциплины: «Разработка оптимальных технологических процессов с использованием CAE/CAD/CAM/PDM систем» в 6 и 8 семестрах, и специалистов направления 160700.65 – Проектирование авиационных и ракетных двигателей (ФГОС–3), изучающих дисциплины: «Инновационные технологии производства АД и ЭУ» в 9 и А семестрах, «Виртуальная сборка АД и ЭУ» в А семестре.

Подготовлено на кафедре ПДЛА.

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2013

# Основные понятия и определения технологии сборки ДЛА

**Деталь** – это часть изделия, изготавливаемая из однородного по составу и свойствам материала, т.е. из заготовки, без применения сборочных операций.

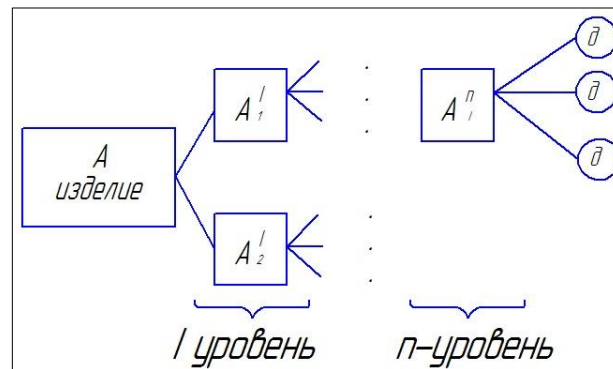
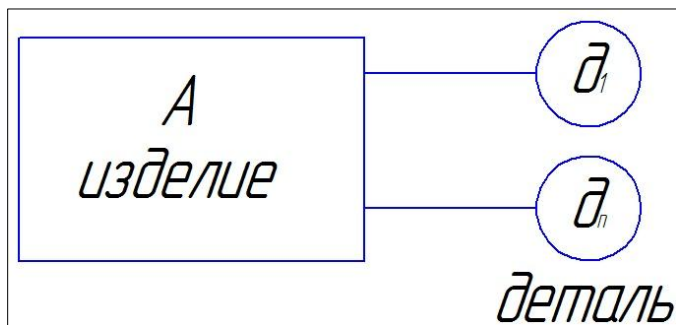
**Сборочная единица** – часть изделия, состоящая из 2х или более деталей, соединяемых посредством сборочных операций.

Одной из основных характеристик сборочных единиц является способность изделия к расчленению на составные части.

Имеет место две схемы членения:

одноуровневая

многоуровневая



# Основные понятия и определения технологии сборки ДЛА

**Технологический процесс сборки (ТПСб)** – совокупность операций по соединению взаимноориентированных составных частей изделия, осуществляемая в определенной последовательности различными способами: свинчивание, сварка, склеивание, клепка, запрессовка.

**Операция** – часть ТПСб, выполняемая на одном рабочем месте над определенным объектом одним или несколькими рабочими.

**Переход** – законченная часть операции, выполняемая над одним соединением без смены инструмента или оборудования.

**Элемент** – это узел, подузел деталь.

**Узел** – сборочная единица, состоящая из двух или более деталей, которое идет на сборку изделия непосредственно.

**Подузел** – сборочная единица, входящая составной частью в узел.

Различают следующие узлы:

- Конструктивная сборочная единица (КСЕ);
- Технологическая сборочная единица (ТСЕ);
- Конструктивно-технологическая сборочная единица (КТСЕ).

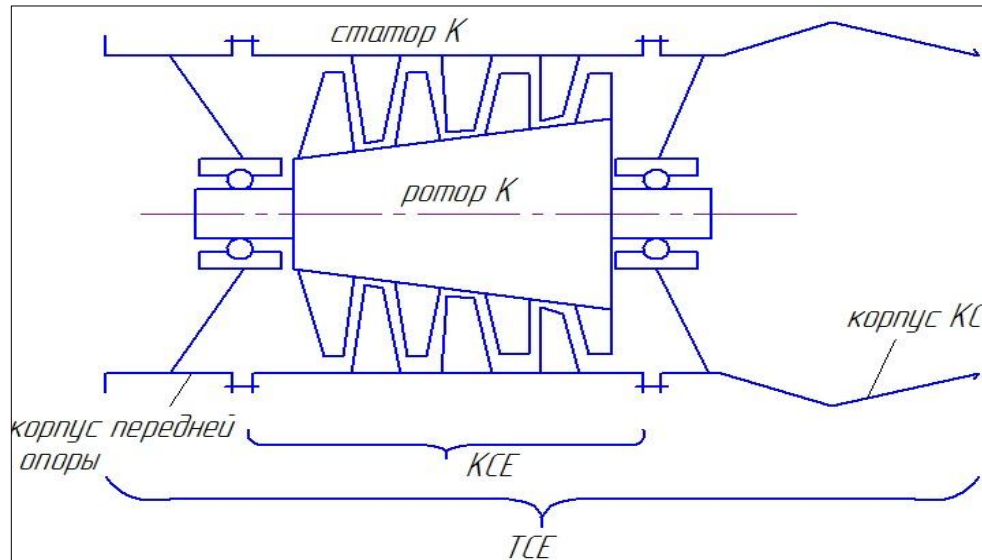
# Основные понятия и определения технологии сборки ДЛА

**КСЕ** – такой узел, который характеризуется самостоятельностью функций, выполняемых в изделии.

**ТСЕ** – такой узел, который характеризуется независимостью и самостоятельностью сборки.

**КТСЕ** – такой узел, который отвечает двум вышеуказанным условиям.

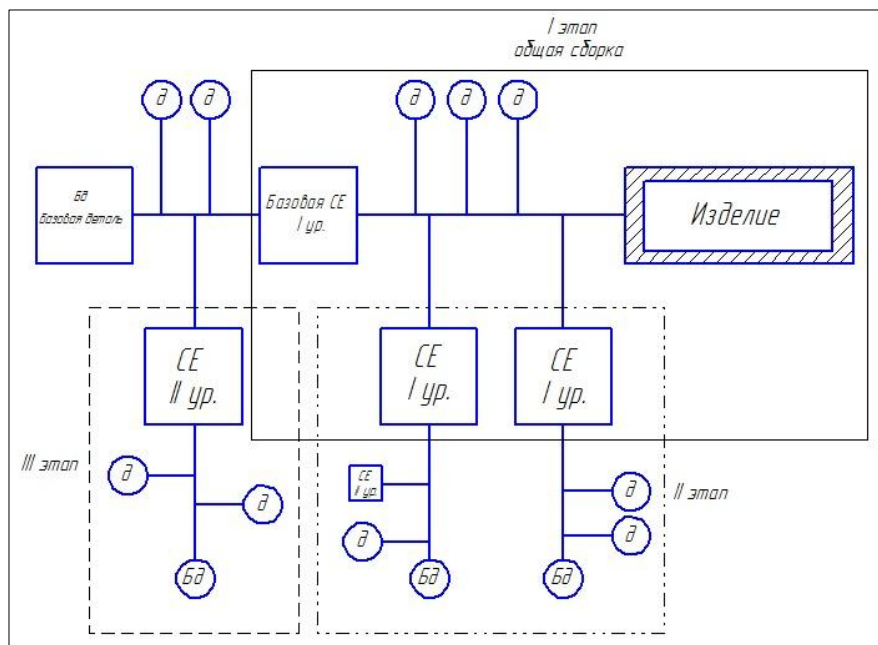
Типичный пример КТСЕ – это насос горючего турбонасосного агрегата ракетного двигателя.



# Основные понятия и определения технологии сборки ДЛА

## Схема конструктивно-сборочных элементов

Эта такая схема, в которой представлены узлы, подузлы и детали, входящие в состав изделия в порядке их введения в ТПСб.



Достоинства схемы:

1. Обеспечение наглядности и установление последовательности компоновки;
2. Позволяет проектировать ТПСб широким фронтом несколькими технологами.

# Основные понятия и определения технологии сборки ДЛА

## *Последовательность проектирования ТПСб*

Исходными данными для проектирования являются:

1. Сборочный чертеж и спецификации изделия, узлов и деталей;
2. Тех. Требования на приемку готовых изделий;
3. Годовая программа выпуска.

Работа по проектированию осуществляется в следующем порядке:

- 1) Изучение чертежа собираемого изделия и ТТ на него;
- 2) Выбор типа производства;
- 3) Составление схемы КСб элементов;
- 4) Составление маршрута сборки;
- 5) Выбор оборудования, оснастки и подъемно-транспортного средства;
- 6) Установка ТТ на операции сборки;
- 7) Выбор метода и средств контроля качества сборки;
- 8) Нормирование операций ТПСб;
- 9) Оформление ТП на операционных картах;
- 10) Расчет потребного количества оборудования;
- 11) Технологическая планировка сборочного цеха.

# Методы организаций сборочных работ

Существуют две формы организации сборочных работ:

- Бригадная (без расчленения ТП на операции);
- Операционная (с расчленением ТП на операции).

## *Бригадный метод*

Весь комплекс работ по сборке выполняется одной бригадой сборщиков.

*Особенности:*

- Все сборщики должны быть высокой квалификации;
- Большое количество сборочных площадей;
- Отсутствие необходимости в выпуске сборочной документации.

## *Операционный метод*

Весь процесс сборки разбивается на операции, которые выполняют отдельные рабочие.

*Особенности:*

- Сравнительно низкая квалификация рабочего;
- Меньшее количество производственных площадей;
- Меньший цикл сборки.



# Методы организаций сборочных работ

Высшей стадией операционной сборки является *поточный метод сборки*, когда каждую операцию производит один отдельный сборщик.

## *Характеристики поточной сборки*

1. Закрепление за каждым рабочим местом определенной сборочной операции;
2. Немедленная передача собираемого объекта на следующую операцию, по окончании предыдущей;
3. Ритмичность работы на всех рабочих местах;
4. Механизация, при передвижении узлов и деталей от одного рабочего места к другому;
5. Слаженность работы всех сменных участков производства.

**Такт (темп) сборки**- это промежуток времени м/у выходом с поточной линии двух готовых изделий.

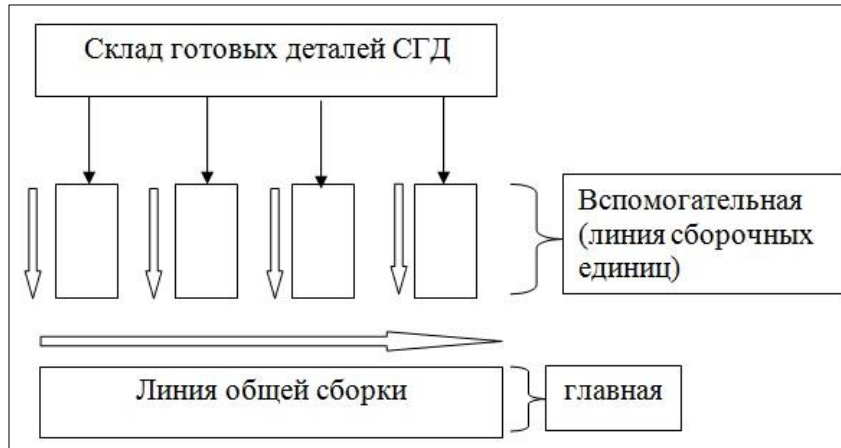
$$\tau = \frac{\Phi \cdot \eta}{N}$$

или

$$\tau = \frac{60 \cdot (T_{см} \cdot \eta_p \cdot \eta_c - T_{об} - T_{п}) \cdot D \cdot C}{N}$$

# Методы организаций сборочных работ

Имеется несколько линий, в которых одна линия общей сборки называется *главной*, а остальные – *вспомогательные*.



В производстве АД поточная сборка не применяется по следующим причинам:

- Большая номенклатура деталей и узлов;
- Необходимость предварительного испытания основных узлов;
- Малая программа выпуска.

В производстве АД наиболее эффективен *метод предметно-узловой сборки*, когда отдельные узлы и агрегаты полностью изготавливают в специализированных механосборочных цехах.

Метод предметно-узловой сборки наиболее эффективен при небольших программах выпуска.

# Точность сборки

**Точность** – это степень соответствия действительных значений параметров, полученных при сборке, значениям, заданным сборочными чертежами и ТТ.

На изделия обычно до 1000 сборочных параметров, которые можно разбить на две группы:



# Точность сборки

Все вышеуказанные параметры задаются двумя предельными значениями, разность которых является *допуском*:

$$T_x = X_{max} - X_{min}$$

При расчете допусков основным является допустимое отклонение эксплуатационных характеристик: тяга, расход топлива и т.д.

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$Y + \omega_y = f(x_1 + \omega_{x1}, x_2 + \omega_{x2}, \dots, x_n + \omega_{xn})$$

Допуск на сборочный параметр обычно состоит из двух частей:

$$T_{сб.п} = T_{констр.} + T_{экспл.}$$

Конструкторская часть допуска идет на компенсацию погрешностей изготовления и сборки, а эксплуатационная часть гарантирует нормальную работу соединения при эксплуатации.

Отклонение величины сборочных параметров в изделии получается в результате совместного влияния погрешности размеров деталей, погрешности сборки и испытания:

$$T_{\Sigma} = \varphi(T_x, T_y, T_z)$$

# Точность сборки по геометрическим параметрам

Точность сборки по геометрическим параметрам определяется путем решения сборочных размерных цепей.

**Сборочная размерная цепь** – это замкнутая цепь взаимосвязанных размеров, относящимся к двум и более деталям и координирующая взаимное положение деталей в сборочной единице.

В зависимости от вида звеньев размерные цепи могут быть:

- линейными;
- векторными;
- смешанными.

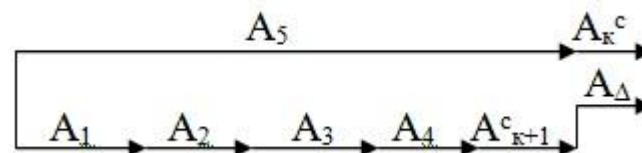
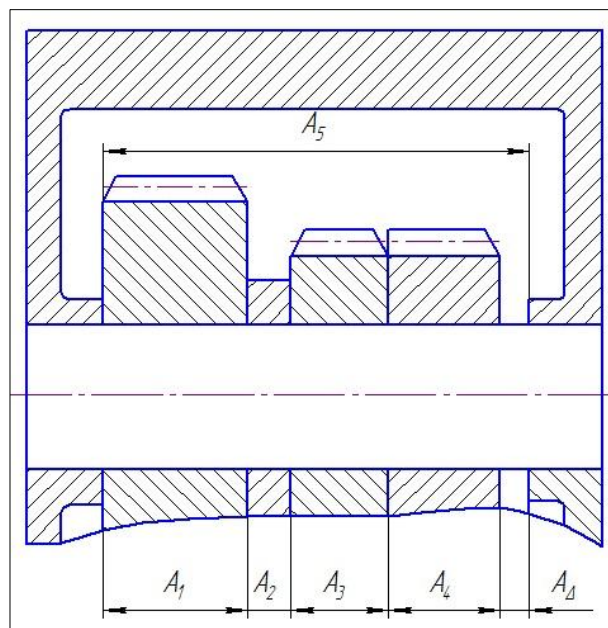
## *Применение размерных цепей с линейными звеньями*

Такие цепи используют при расчете точности:

- линейных и диаметральных зазоров;
- натягов;
- установлении длин и координат.

Составляющие звеньев являются размеры деталей, входящие в сборочную единицу два звена:  $A_K^c$  (звено, выражающее суммарное изменение всех увеличивающих звеньев в процессе сборки изделия) и  $A_{K+1}^c$  (звено, выражающее суммарное изменение для уменьшающих звеньев).

# Точность сборки по геометрическим параметрам



Причиной образования этих двух звеньев являются упругие или пластические деформации в процессе сборки.

Расчет точности сборки может выполняться:

- при проектировании ТП;
- для расчета уже действующего ТП,

когда известны поля рассеивания и координаты.

При проектном расчете за поле рассеивания принимается величина допуска.

При расчете точности определяется величины и предельные отклонения замыкающих звеньев:  $A_Δ$ ,  $\Delta\omega_{A_Δ}$ ,  $\omega_{A_Δ}$ .

# Точность сборки по геометрическим параметрам

1. При определении  $A_{\Delta}$  используется следующее правило: 
$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon_{Ai} \cdot A_i$$

а) в цепях с параллельными звеньями  $\varepsilon_{Ai} = +1$  и  $\varepsilon_{Ai} = -1$

б) в цепях с угловым расположением звеньев  $\varepsilon_{Ai} = +\cos \varphi_i$  и  $\varepsilon_{Ai} = -\cos \varphi_i$

2. 
$$\Delta \omega_{A\Delta} = \sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon_{Ai} \cdot \Delta \omega_i$$
 Соблюдаются те же правила, что и при  $A_{\Delta}$ .

3. При определении  $\omega_{A\Delta}$  могут быть использованы два метода:

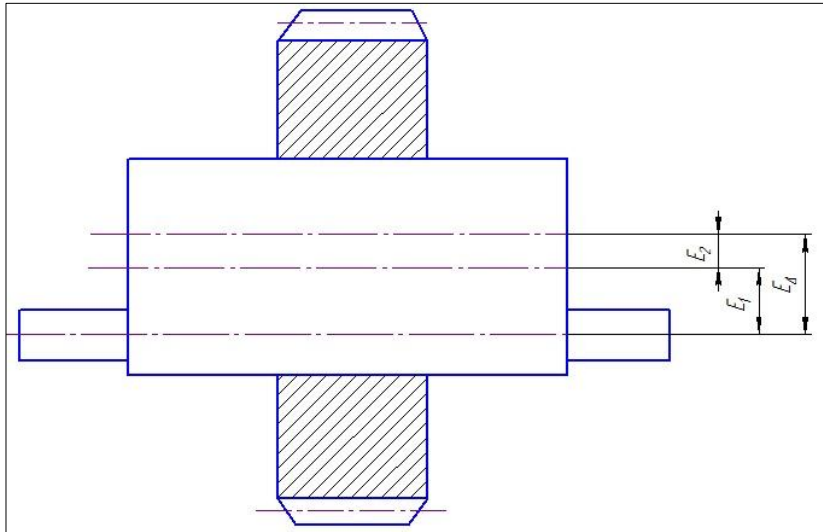
а) метод «max-min», где 
$$\Delta \omega_{A\Delta(max-min)} = \sum_{i=1}^{n-1} |\varepsilon_{Ai}| \cdot \omega_{Ai}$$

б) вероятностный метод, где 
$$\omega_{A\Delta(вероятн.)} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \varepsilon_{Ai}^2 \cdot \lambda_{Ai}^2 \cdot \omega_{Ai}^2} \quad \lambda_{Ai} = \left( \frac{\sigma_{Ai}}{\frac{\omega_{Ai}}{2}} \right)^2$$

# Точность сборки по геометрическим параметрам

## Применение размерных цепей с векторными звеньями

Такие цепи используются при определении точности радиального расположения поверхности вращения в сборочной единице.



Частные случаи:

1. Погрешности совпадают по направлению  $\epsilon_{\Delta max} = \epsilon_1 + \epsilon_2$
2. Погрешности противоположны по направлению  $\epsilon_{\Delta min} = \epsilon_1 - \epsilon_2$
3. Погрешности расположены под углом и изменение угла равновероятно .

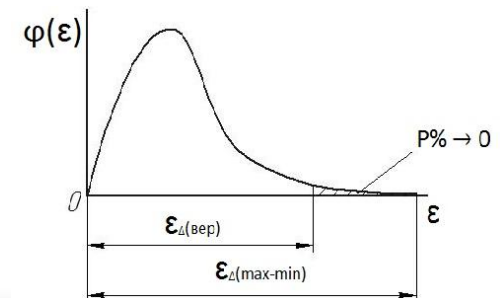
При проектных расчетах используют два метода определения поля рассеяния.

1. Метод «max-min», где

$$\epsilon_{\Delta(max-min)} = \sum_{i=1}^{n-1} \epsilon_i$$

2. Вероятностный метод , где

$$\epsilon_{\Delta(вероятн.)} = t_{\Delta i} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \epsilon_i^2 \cdot \lambda_i^2 \cdot \xi_i^2}$$





# Расчет точности физического сборочного параметра

Расчет точности физического сборочного параметра выполняется в следующей последовательности:

1. Выявляется функциональная зависимость искомого сборочного параметра от других физических и геометрических величин:

$$x = f(z_1, z_2, \dots, z_n)$$

2. Определяются поля рассеяния:

$$\omega_{z1}, \omega_{z2}, \dots, \omega_{zn}$$

$$T_{z1}, T_{z2}, \dots, T_{zn}$$

3. Поле рассеяния искомого сборочного параметра:

$$\omega_x^{max-min} = \left| \frac{\partial f}{\partial z_1} \right| \omega_{z1} + \left| \frac{\partial f}{\partial z_2} \right| \omega_{z2} + \dots + \left| \frac{\partial f}{\partial z_n} \right| \omega_{zn}$$

$$\omega_x^{\text{вероятн.}} = t \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial z_i} \right)^2 \cdot \varepsilon_i^2 \cdot \lambda_i^2 \cdot \omega_{zi}^2}$$

# Методы обеспечения заданной точности сборочного параметра

Существует пять методов обеспечения заданной точности сборочного параметра:

1. метод полной взаимозаменяемости  $\omega_{A\Delta(max-min)} \leq T_{\Delta}$  ;
2. метод неполной взаимозаменяемости  $\omega_{A\Delta(max-min)} \gg T_{\Delta}$  ,  $\omega_{A\Delta(max-min)} > T_{\Delta}$
3. метод групповой взаимозаменяемости  $\omega_{A\Delta(вероятн.)} \leq T_{\Delta}$ ;
4. метод пригонки  $\omega_{A\Delta(max-min)} \gg T_{\Delta}$  ;
5. метод регулирования компенсатором  $\omega_{A\Delta(max-min)} \gg T_{\Delta}$  .

## *Метод полной взаимозаменяемости*

При сборке по данному методу все детали, влияющие на сборочный параметр, изготавливаются с такой точностью, при которой, во всех без исключения случаях, обеспечивается заданный допуск на сборочный параметр.

### *Достоинства:*

- Простота сборки и наименьшая трудоемкость при этом;
- Возможность ремонта;
- Легко осуществляется поточное производство.

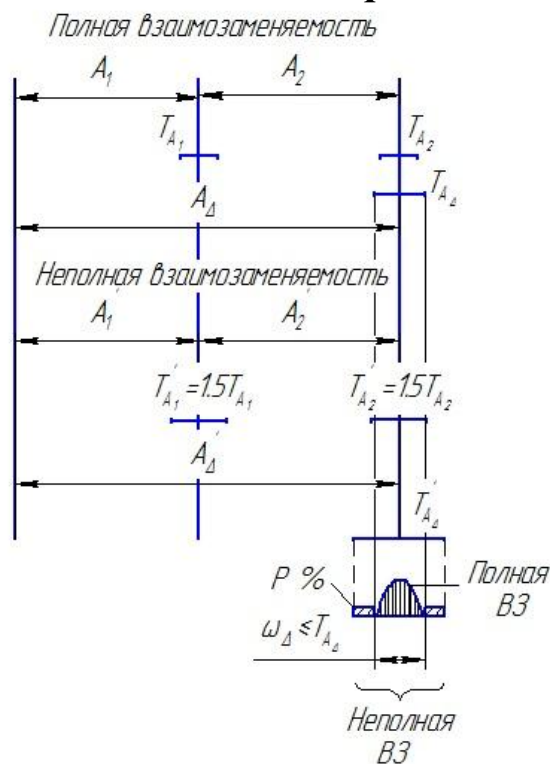
*Недостаток:* при большом числе звеньев размерной цепи требуется жесткий допуск на размер составляющих, т.е. резко возрастает стоимость изготовления деталей.

# Методы обеспечения заданной точности сборочного параметра

## Метод неполной взаимозаменяемости

Сборка производится аналогично предыдущему случаю, т.е. без сортировки и подбора деталей, но при этом допуски на изготовление составляющих деталей расширяют на 30...50%. Имеется риск выхода сборочной величины за пределы поля допуска, т.е. часть изделий становится дефектными. Эти дефекты устраняются путем переборки и перекомплектовке составляющих деталей.

### Сравнительные схемы первого и второго метода.



Сумма экономии труда:

$$\Xi_{\Sigma} = N \cdot \sum_{i=1}^{n-1} \Xi_i$$

Потери в сборочном цехе:

$$\Pi = \Pi_{сбi} \cdot \frac{P\%}{100} \cdot N$$

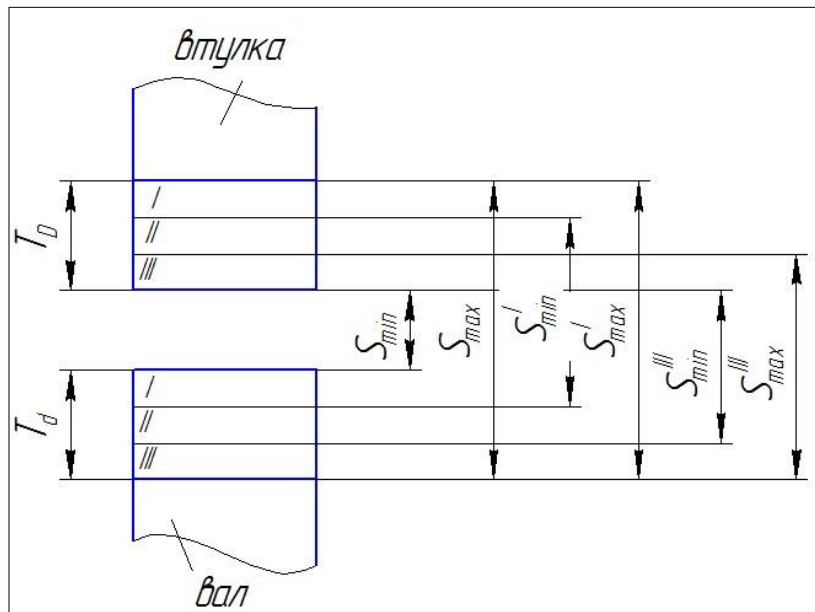
Допустимый % риска:

$$P\% = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \Xi_i}{\Pi_{сб}} \cdot 100\%$$

# Методы обеспечения заданной точности сборочного параметра

## Метод групповой взаимозаменяемости

Этот метод используется при необходимости получения сборочных параметров высокой точности без назначения на размеры составляющих деталей жестких допусков. Но, после изготовления детали, они сортируются на несколько групп в пределах более жестких допусков и при сборке узлов в комплект входят только детали одноименных групп.



**Достоинства:** широкие допуски на изготовление деталей.

**Недостатки:**

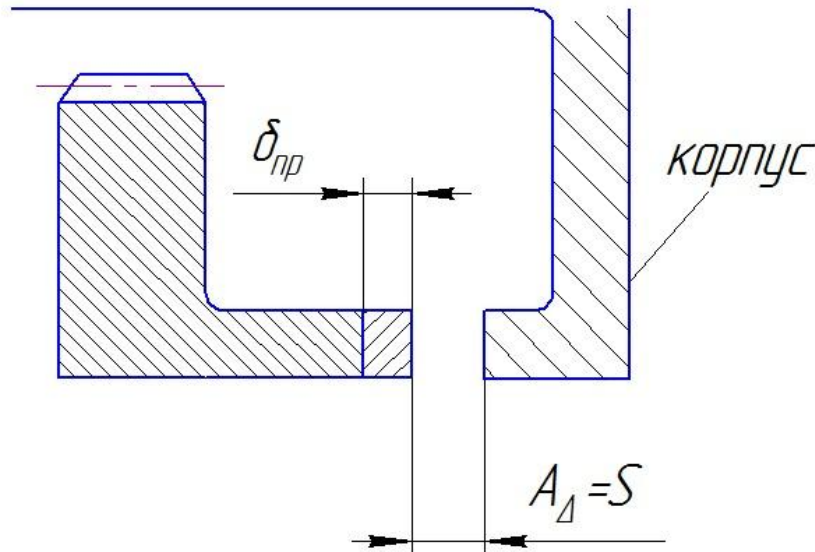
1. Ограниченная ВЗ при ремонте;
2. Необходимость создания запасов деталей в сборочном цехе;
3. Увеличение трудоемкости на сортировку;
4. При значительной разнице в допусках на вал и отверстие метод теряет свою эффективность.

# Методы обеспечения заданной точности сборочного параметра

## Метод пригонки

Применяется в многозвенных размерных цепях, когда детали изготавливаются с широким полем допуска, а необходимая точность достигается путем изменения размера только одного звена слесарной или механической обработкой. При этом методе необходимо предусмотреть величину снимаемого припуска.

Величина приработки:  $\delta_{пр} = \omega_{A\Delta} - T_{\Delta}$



### Недостатки:

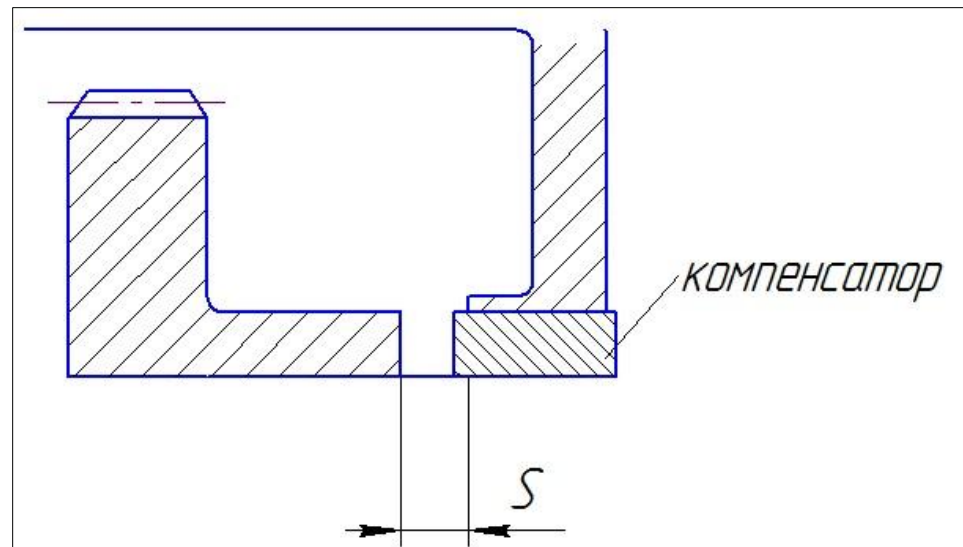
1. Увеличивается трудоемкость сборки;
2. Необходимы рабочие высокой квалификации;
3. В результате пригонки появляется стружка, которая может попасть в сборочный узел.

# Методы обеспечения заданной точности сборочного параметра

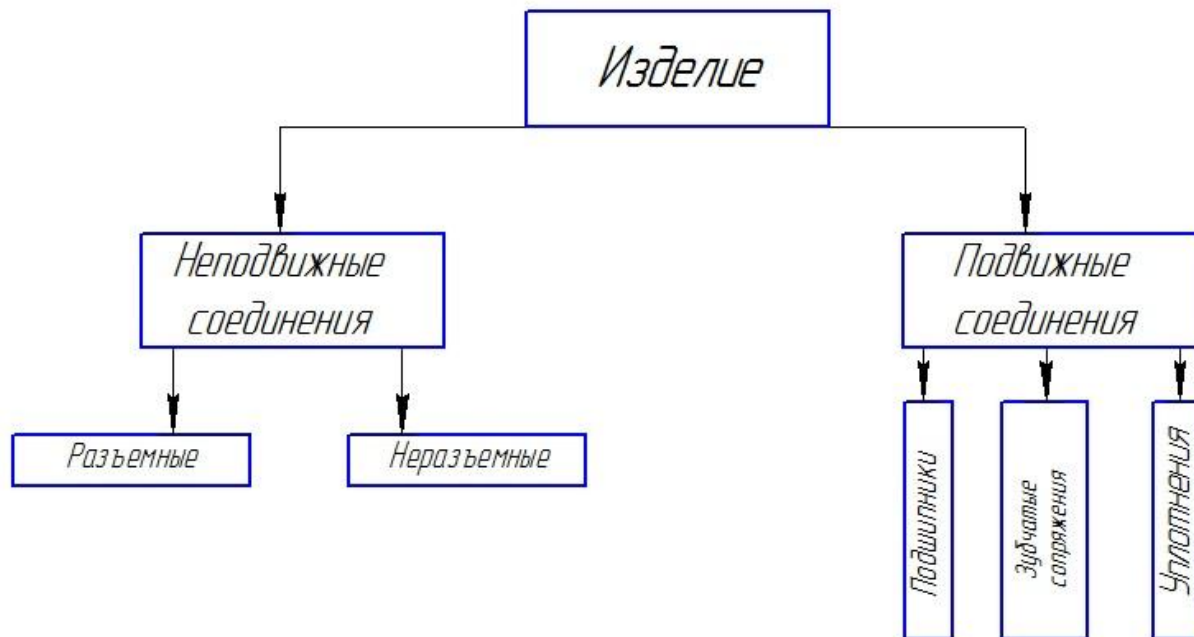
## *Метод регулирования компенсатором*

Аналогичен методу пригонки, только точность достигается за счет изменения размера или положения специальной детали.

Широко применяется в производстве для регулировки осевых зазоров.



# Типы соединений и сопряжений и методы их осуществления



# 1. Сборка гладких неподвижных соединений с гарантированными натягом

Такие соединения имеют место при установке:

1. стальных и бронзовых втулок подшипников скольжения;
2. наружных и внутренних колец шарико- и роликоподшипников;
3. при установке осей штифов и различных пальцев.

Перед запрессовкой между втулками имеет место натяг  $N = d_B - d_0 > 0$

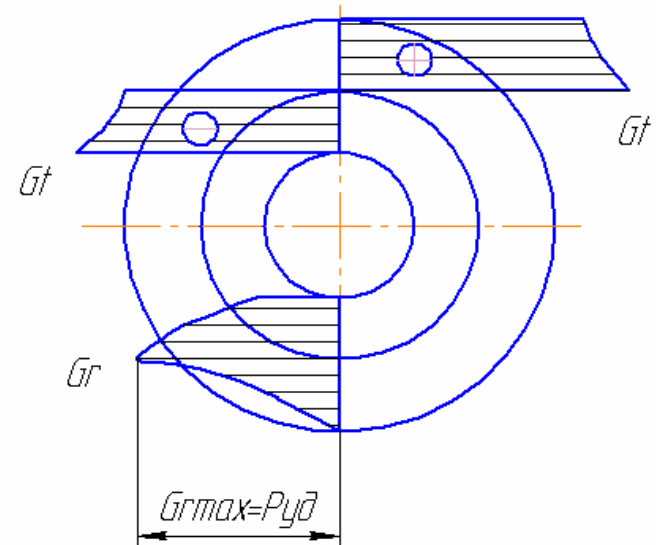
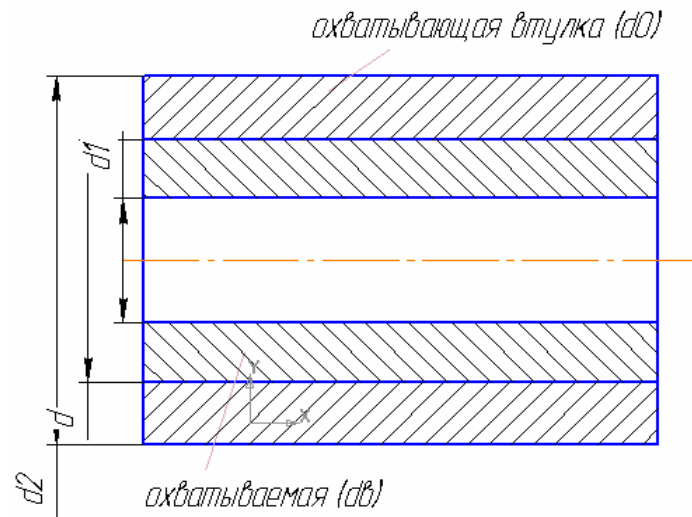
После запрессовки возникают напряжения:

- окружные: для охватывающей втулки — растягивающие  
для охватываемой — сжимающие
- радиальные

Величина этих напряжений является максимальной на контактной поверхности и эти напряжения обеспечивают прочность соединения.



# 1. Сборка гладких неподвижных соединений с гарантированными натягом



$$P_{уд} = \frac{N}{d} \frac{1}{\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2}};$$

$$C_1 = \frac{1 + \left(\frac{d_1}{d}\right)^2}{1 - \left(\frac{d_1}{d}\right)^2} - \mu_1$$

$$C_2 = \frac{1 + \left(\frac{d}{d_2}\right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2}\right)^2} + \mu_2$$

# 1. Сборка гладких неподвижных соединений с гарантированными натягом

Требования к прессовым соединениям:

1. Соблюдение условий

$$F_{\text{тр}} \geq P_{\text{ос}}, M_{\text{тр}} \geq M_{\text{кр}}$$

Достигается выбором оптимального способа сборки соединения

2. Обеспечение прочности материала деталей  $\sigma_t < [\sigma_t]$

$$\begin{array}{l} P_{1\text{УД}} \\ P_{2\text{УД}} \end{array} < \begin{array}{l} \max P_{1\text{УД}} \\ \max P_{2\text{УД}} \end{array} \quad \begin{array}{l} \max P_{1\text{УД}} = 0,58\sigma_{1r} [1 - (d_1/d)^2] \\ \max P_{2\text{УД}} = 0,58\sigma_{2r} [1 - (d/d_2)^2] \end{array}$$

Достигается за счет ограничения  $N_{\text{max}}$  - максимальный натяг

В производстве используются 2 способа соединения деталей:

1. Механическая сборка

2. Тепловая сборка

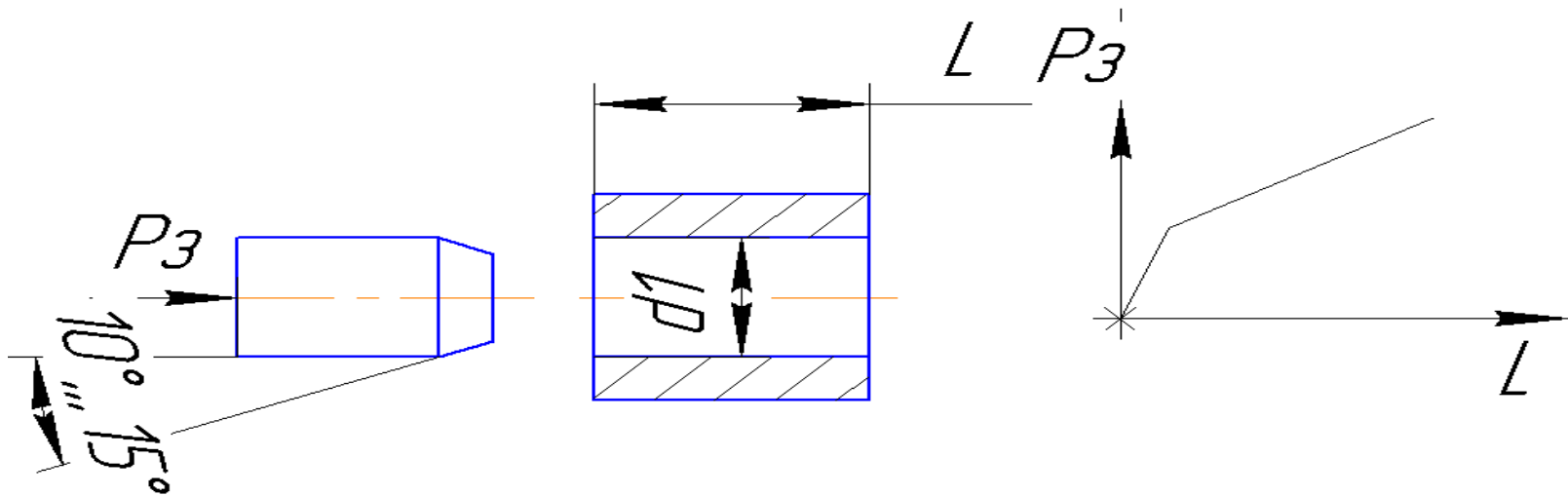
# 1. Сборка гладких неподвижных соединений с гарантированными натягом

Механическая сборка (силовая запрессовка)

$$P_3 = F_{тр} = f_3 \pi d \alpha P_{уд}$$

Параметры, которые оказывают влияние на  $P_3$

1. Угол заходного конуса  $\varphi$
2. Скорость запрессовки



# 1. Сборка гладких неподвижных соединений с гарантированными натягом

3. Схема приложения усилия:

При одинаковых геометрических параметрах толкающее усилие больше, чем тянущее.

В процессе механической обработки различают 2 вида натяга:

1. Измеренный  $N_{\text{изм}}$
2. Действительный  $N_{\text{д}}$

$$N_{\text{д}} = N_{\text{изм}} - 1,2(R_{z1} + R_{z2})$$

# 1. Сборка гладких неподвижных соединений с гарантированными натягом

Тепловая сборка

Применяется при больших  $d$  и  $N$ , в случае необходимости получения более качественного соединения.

Достоинства:

1. Прочность соединения в 2-3 раза больше, чем при силовой запрессовке, из-за сцепления, а не сглаживания шероховатости.
2. Отсутствие прессового оборудования

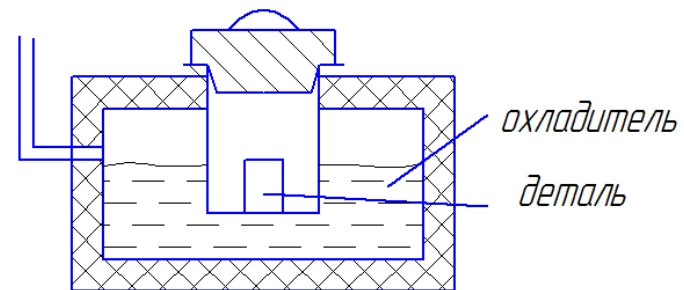
**Сущность:** в момент соединения нагревается охватывающая деталь или охлаждается охватываемая, при этом между деталями образуется зазор и они свободно соединяются. Шероховатость соединения поверхностей не играет роли.

**!** Важным технологическим параметром является температура нагрева или охлаждения.

$$T_{\text{расч}} = T_0 \pm (N_{\text{max}} + S) / \alpha d$$

$$T_{\phi} = (1,15 \div 1,3) T_p$$

Дренажная трубка (-145°)



## 2. Сборка резьбовых соединений

$$P_3 = ? \quad P_{CT} = P_3 - P \quad \begin{matrix} P = 0 \\ P > 0 \end{matrix} \quad \begin{matrix} P_{CT} = P_3 \\ P_{\delta} = P_3 + XP \end{matrix}$$

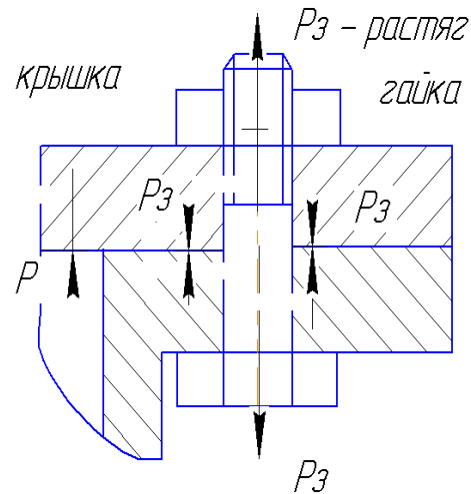
$$X = \frac{\lambda_g}{\lambda_d + \lambda_{\delta}} \quad \lambda_g = \frac{L_g}{E_g F_g}; \quad \lambda_{\delta} = \frac{L_{\delta}}{E_{\delta} F_{\delta}}$$

$$P_{CT} = P_3 - P(1 - X)$$

$$P_{CT} \Rightarrow P_{CT(\min)}$$

$$P_{CT(\min)} = (0,8 \dots 1,8)P$$

$$P_3 = P_{CT(\min)} + P(1 - X)$$



## 2. Сборка резьбовых соединений

Все эти требования достигаются благодаря конструкторно- технологическим мероприятиям, главным из которых является обеспечения усилия предварительной затяжки, т.е. создание растягивающих напряжений в болте и сжимающих напряжений в сопрягаемых деталях при отсутствии внешней нагрузки.

$$P_3 = P_0 + PC_d / (C_b + C_d); \quad P_0 = KP = (0,8 \dots 1,8)P; \quad C_d = P / \Delta l_d;$$

$$C_b = P / \Delta l_b$$

Усилие играет определяющую роль в работоспособности резьбовых соединений.

! При создании резьбовые соединения будут работать бесконечно долго среди косвенных методов контроля.

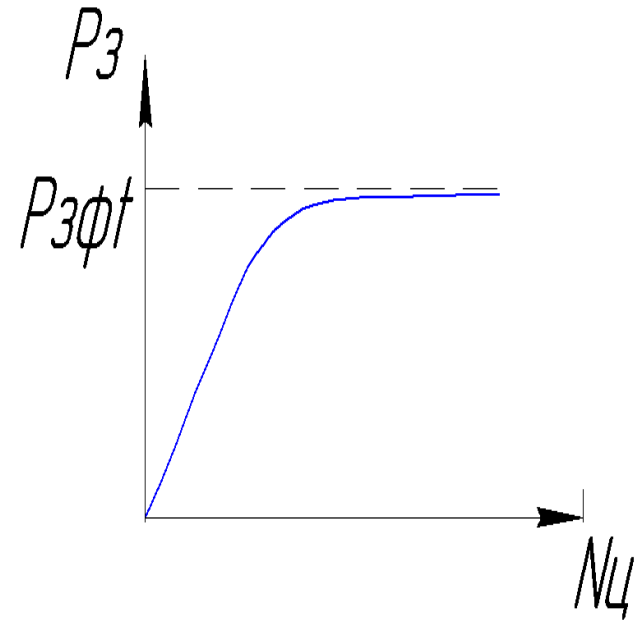
Наибольшее применение получили:

а) Контроль по величине крутящего момента  $M_{кр} = f_1 P_3$ ,

б) По углу поворота гайки  $\varphi = f_2 P_3$ ,

в) По удлинению болта или шпильки

$$\Delta l_b = f_3 P_3.$$



## 2. Сборка резьбовых соединений

I. Контроль по  $M_{кр}$   $M_{кр} = f_1(P_3)$

Осуществляется с помощью предельных или динамометрических ключей, обеспечивающих заданный момент затяжки.

$$M_{кл} = M(P_3) + M_{тр}(P) + M_{тр}(T)$$

Основную долю погрешностей этого метода составляет коэффициент трения и которые могут колебаться от 0,05 — 0,5 и величина их зависит от :

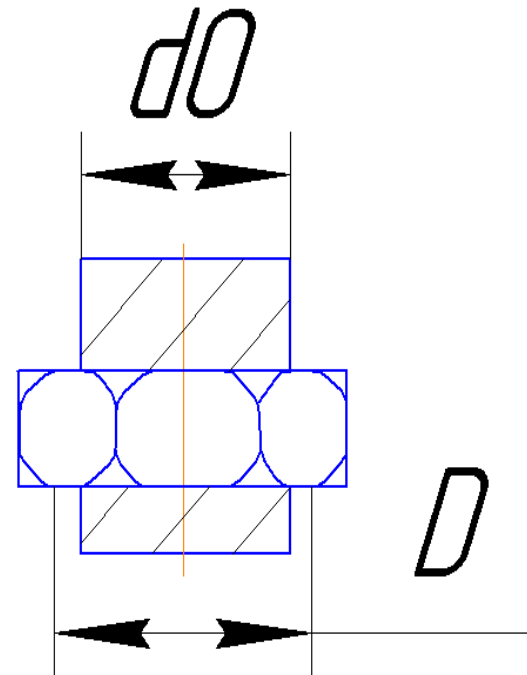
- а) рода материала;
- б) смазки;
- в) рода покрытия;
- г) шероховатости

Достоинства:

- 1. Простота исполнения
- 2. Высокая производительность

Недостатки:

- 1. Невысокая точность





## 2. Сборка резьбовых соединений

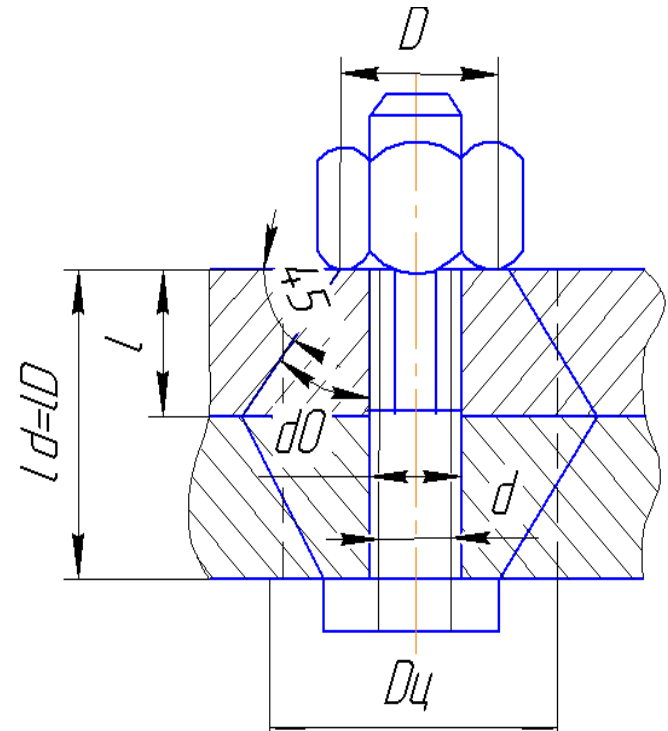
II. контроль по  $\varphi$   $\varphi_{зат} = f_2(P_3)$

Сущность: гайку заворачивают от руки до упора во фланец, затем затягивают ключом, с целью обмятия шероховатости, затем гайку отворачивают и вновь заворачивают до упора, а после этого заворачивают специальным ключом, снабженным указательной стрелкой. В плоскости детали устанавливается специальный лимб с делением в градусах.

$$\varphi_{расч} = 360P_3(\lambda_б + \lambda_д) / S$$

$$\lambda_б = 1 / (EбFб); \quad \lambda_д = 1 / (EдFд)$$

! Сложность метода состоит в определении  $F_д$ . Принято считать, что при стягивании 2 фланцев деформация от усилия затяжки захватывает конус давления, образующее который составляет с основанием, и при расчете конус условно заменяют цилиндром.  $D_y = D + 1$   
 $F_д = \pi (D + 1)^2 - d_0^2 / 4$



## 2. Сборка резьбовых соединений

При увеличении толщины сопрягаемых деталей погрешность расчета получается большая, поэтому рекомендуется рассчитывать исходя из теории упру-

гости: 
$$\lambda_g = \frac{2 * 2,3}{E_g * \pi * d * tgy} * lg \frac{(D + d_0) * (D + l * tgy - d_0)}{(D - d_0)(D + l * tgy + d_0)}$$

На точность метода оказывает влияние следующие погрешности:

1. Субъективные ошибки рабочего в определение начального угла отсчета
2. Нелинейная зависимость от угла поворота в начальный момент, связанная с деформацией микронеровностей
3. Трудности расчета податливостей сопрягаемых деталей

### III. Контроль по $\Delta l_6$

В процессе затяжки контролировать удлинение болта и рассчитывать по следующей зависимости  $\Delta l_6 = P_3 \lambda_6 = P_3 l_6 / E_6 F_6$

Метод является наиболее точным.

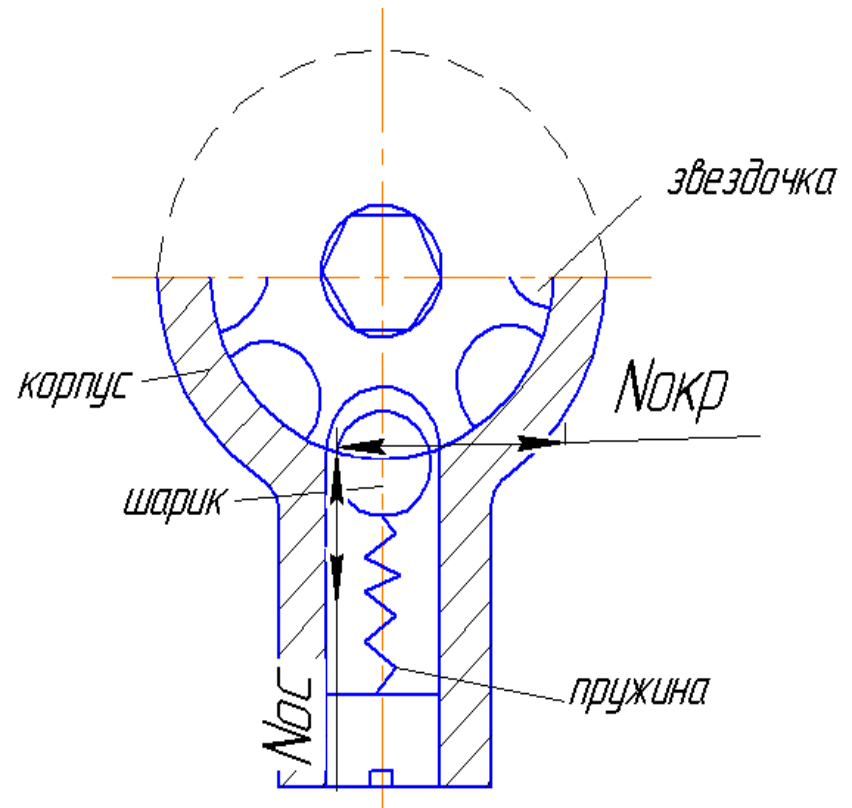
Недостатки:

1. Метод не всегда применим, т.к. требует создания измерительной базы и возможность доступа к исходной базе
2. При затяжке коротких болтов метод дает значительные погрешности, т.к. удлинение происходит не только на длине, занятой гайкой, но и за счет прогиба головки болта.

# Типы специальных ключей, используемые для контроля затяжки по $M_{кр}$ .

1. Предельные — автоматически выключающиеся при достижении заданного  $M_{кр}$ .

$N$  - нормальное усилие звездочки на шарик. При вращении  $N_{окр}$  создает момент, а звездочка от вращения удерживается шариком. Когда  $N_{ос}$  станет больше сил затяжки пружина сожмется и звездочка перескочит на одну выемку. Ключ настраивается таким образом, чтобы он сработывал при заданном моменте  $M_{кр}$ .



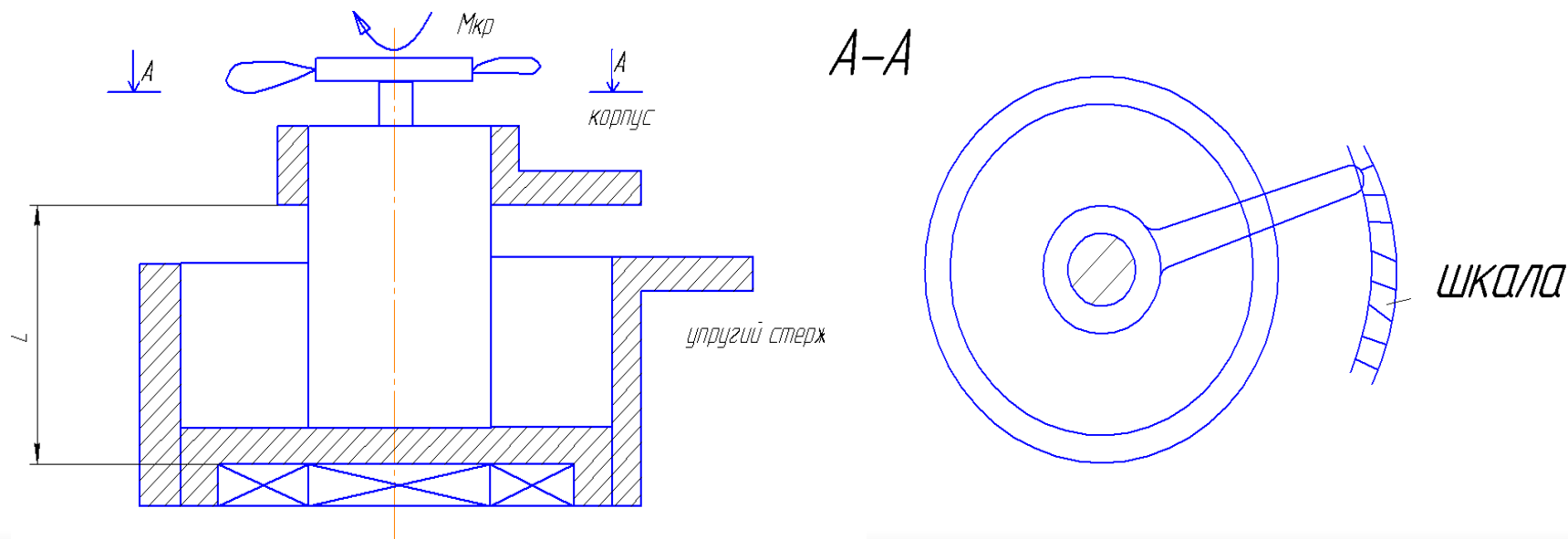
## Типы специальных ключей, используемые для контроля затяжки по $M_{кр}$ .

2. Динамометрические — непрерывно показывают величину  $M_{кр}$ .  
В этих конструкциях участвуют упругий стержень, который испытывает либо деформацию кручения, либо деформацию изгиба.

**Динамометрический ключ торцевого типа** в котором упругий стержень испытывает деформацию кручения.

При прикладывании упругий стержень будет скручиваться и угол закручивания определяется:  $\varphi_{упр} = 180LM_{кр}/\pi GI_p = K_1 M_{кр}$

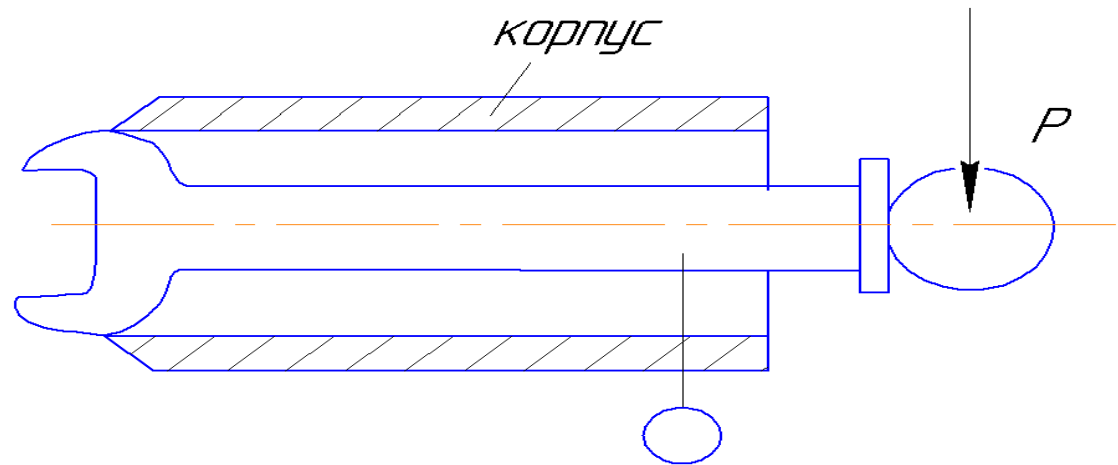
Сложность заключается в определении фактического коэффициента  $K_1$ .



# Типы специальных ключей, используемые для контроля затяжки по моменту на ключе

## Плоский динамометрический ключ

Динамометрические ключи более точные по сравнению с предельными, но менее производительные.  $f = K_r M_{кр}$



# Установка резьбовых шпилек

Требования:

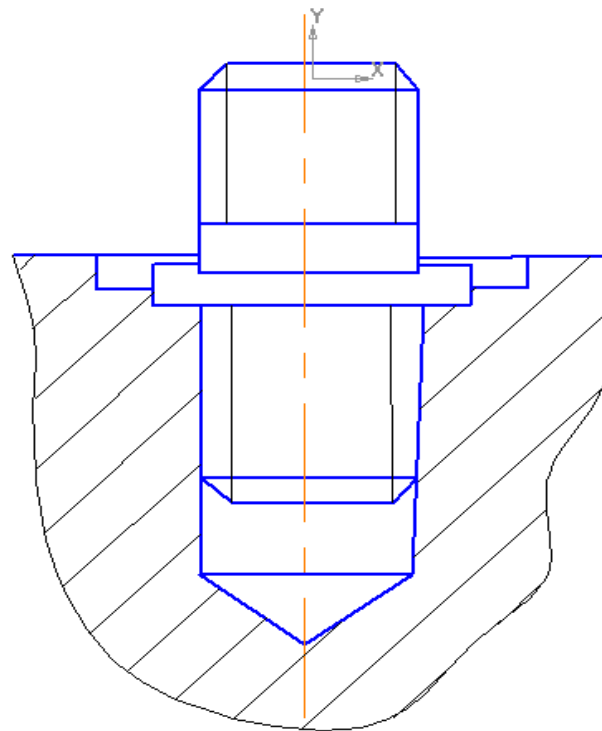
1. Необходимо обеспечить плотность установки в отверстие корпуса;  
2. Обеспечение перпендикулярности оси шпильки к плоскости стыка соединения, не  $\perp \pm \approx (0,01-0,03)$  мм  
на длине 50-125мм.

3. Высота выступающей части должна  
быть в пределах допуска  
 $\pm(0,03-0,05)$ мм - допуск по высоте

Требование 1: достигается за счет  
натяга, который может быть:

а) осевым

За счет буртика при дополнительном  
завинчивании шпильки создается  
осевой натяг, который распределяется  
по всем виткам резьбы.



# Установка резьбовых шпилек

б) радиальным

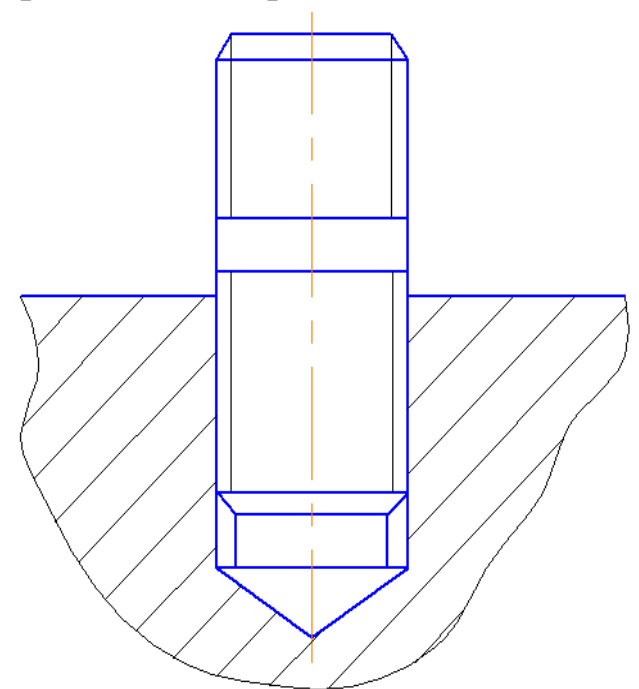
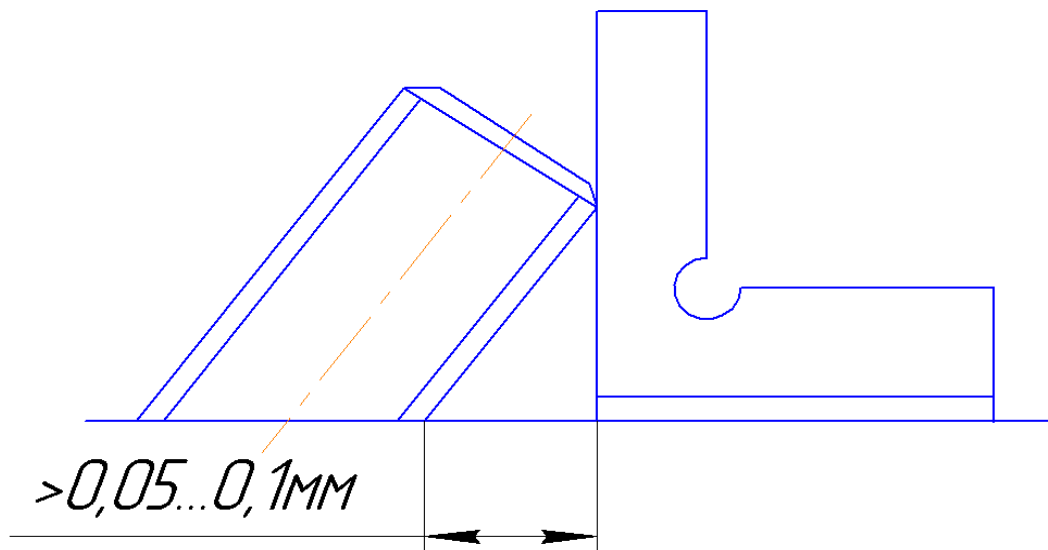
Натяг обеспечивается за счет того, что средний диаметр резьбы шпильки больше среднего диаметра резьбы отверстия, т. е. На 0,03-0,04мм.

$$N = D_{\text{ср.рез.шп.}} - D_{\text{ср.раз.отв.}} = 0,03 \dots 0,04 \text{ мм}$$

Требование 2:

Его обеспечение зависит от точности изготовления резьбы в отверстии.

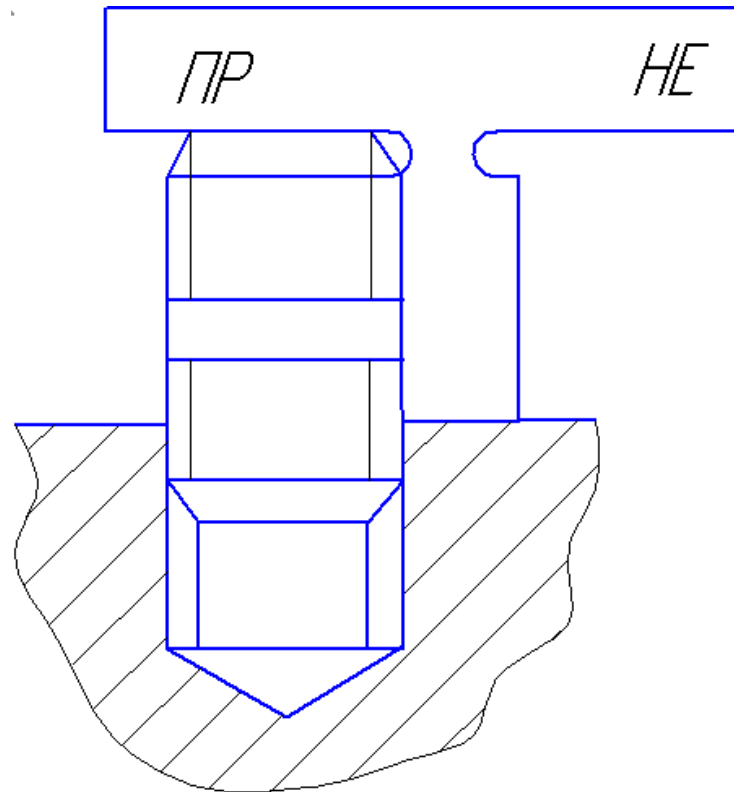
Контроль осуществляется с помощью специальных лекальных угольников



# Установка резьбовых шпилек

Требование 3:

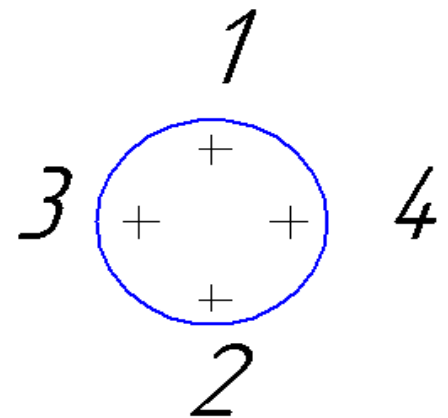
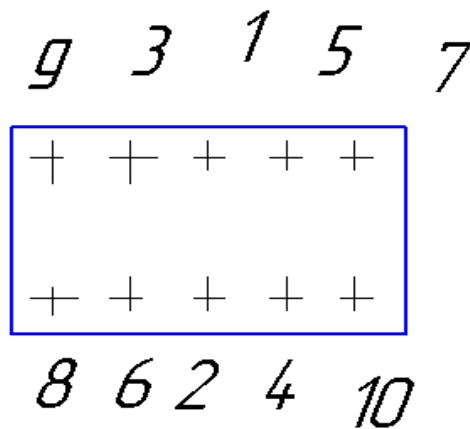
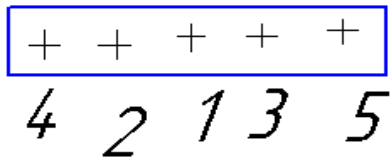
Высота шпильки достигается при установке, а контролируется с помощью специальных шаблонов.





# Схема затяжки групповых резьбовых соединений

Для обеспечения равномерности затяжки и исключения коробления деталей затягивание гаек следует производить в определенной последовательности Согласно схемам:



### 3. Сборка узлов с подшипниками качения

Качество многих узлов характеризуется качеством работы подшипника, а последние определяется качеством установки подшипников в узел.

Дефекты:

1. Выкрашивание металла в телах качения — перекос колец и малый радиальный зазор;
  2. Форсированный износ подшипников — из-за попадания стружки и твердых частиц;
  3. Коррозия — из-за попадания влаги;
  4. Риски, вмятины на валу и дорожках — из-за ударов при монтаже;
  5. Трещины на телах вращения (кольца, подшипники, ролики) — из-за перекоса колец, ударов при монтаже, увеличение натяга, малого радиального зазора;
  6. Перегрев и заклинивание — из-за нарушения технологии сборки.
- 5 и 6 — аварийные дефекты, разрушение подшипника.

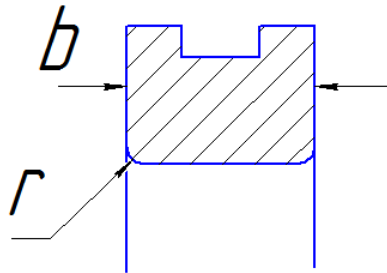
### 3. Сборка узлов с подшипниками качения

Факторы, определяющие посадку подшипника.

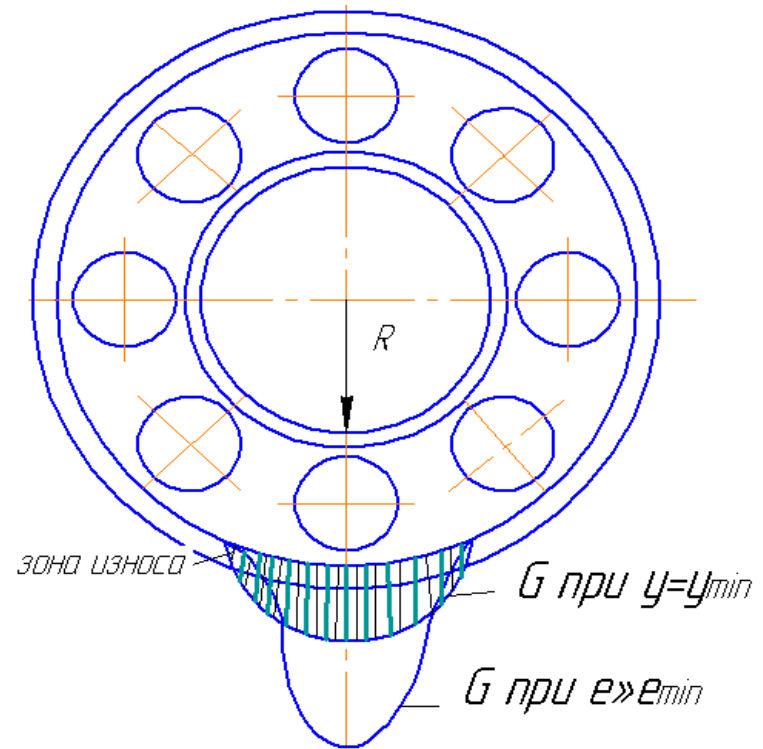
Посадку колец подшипников определяет характер нагружения. Если  $f = \text{const}$ , то внутреннее кольцо будет изнашиваться равномерно, а наружные — на определенном участке — зона износа.

Различают 3 вида нагруженных колец:

- а) местное
- б) циркуляционное
- в) колебательное.



$$N_{\min} = \frac{13RX}{10^5(b-2r)}$$



### 3. Сборка узлов с подшипниками качения

Факторы, определяющие посадку подшипника.

Для нашего случая внутреннее кольцо имеет циркуляционное нагружение, поэтому оно должно иметь гарантированный натяг на вал. Наружное кольцо имеет местное нагружение, поэтому между наружным кольцом и корпусом должен быть небольшой зазор, который позволит при работе кольцу несколько проворачиваться вокруг оси и менять изнашиваемый участок на новый, также облегчается монтаж и демонтаж.

Если кольца подшипника испытывают колебательный характер нагружения (меняется величина и направление силы), то внутренние и наружные кольца устанавливаются с натягом.

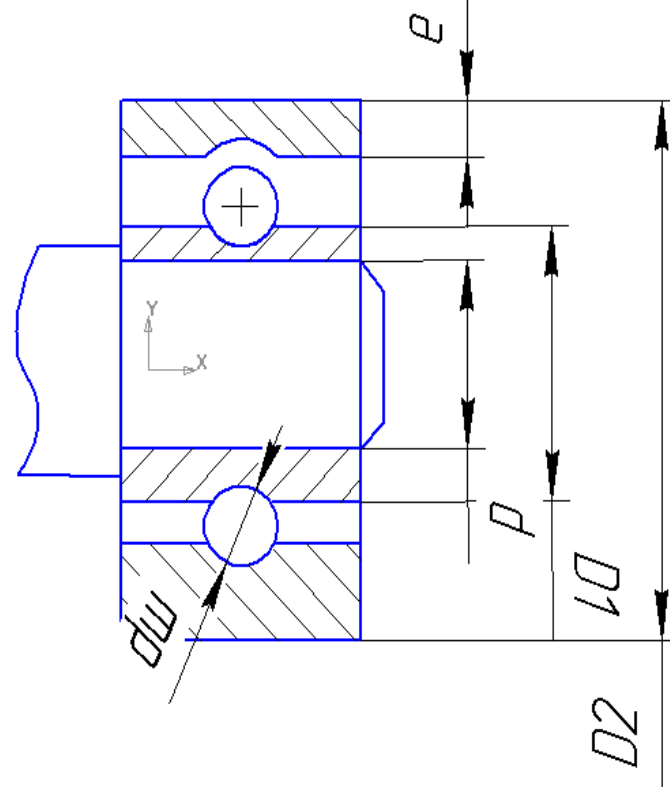
### 3. Сборка узлов с подшипниками качения

#### Радиальный зазор подшипника, причины его изменения и способы контроля.

Радиальный зазор — полное радиальное перемещение одного кольца относительно другого. Это важнейший параметр, определяющий работоспособность подшипника.  $e_{\min} \leq e \leq e_{\max}$

$E_{\min}$  ограничивается из следующих условий:

1. Размещение слоя смазки между телами качения и кольцами;
2. Обеспечение возможности перемещения относительно колец;
3. Необходимость компенсации погрешностей сборки и изготовления.



### 3. Сборка узлов с подшипниками качения

$E_{\max}$  ограничивается следующими условиями:

1. уменьшение вибраций от неуравновешенности ротора
2. снижении шума
3. чем больше зазор, тем меньше участвует в работе, а это приводит к увеличению контактного напряжения, следовательно увеличение износа.

Различают 3 вида радиальных зазоров:

1. начальный
2. посадочный
3. рабочий

Начальный — это радиальный зазор в свободном состоянии подшипника.

$$e_{\text{нач}} = D_2 - (D_1 + 2d_{\text{ш}})$$

Посадочный — зазор после установки подшипника в узел.

$$e_{\text{пос}} = e_{\text{нач}} - (\Delta D_1 + \Delta D_2), \Delta D_1 = (0,55 - 0,6)N, \Delta D_2 = (0,65 - 0,7)N$$

При больших натягах сумма  $D$  и  $D$  может равна и посадочный зазор становится  $=0$ . Отсюда следует заклинивание подшипника. Поэтому необходимо всегда величину радиального зазора контролировать, либо расчетным путем, либо замерить.

Рабочий — зазор, который получается непосредственно при работе подшипника.

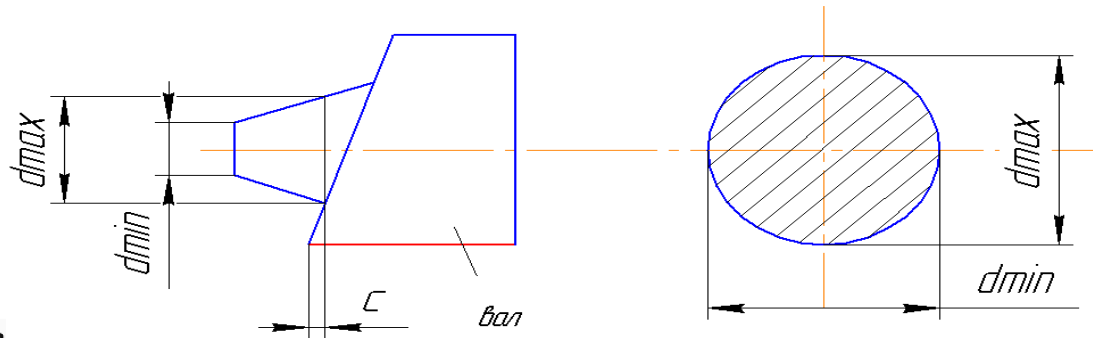
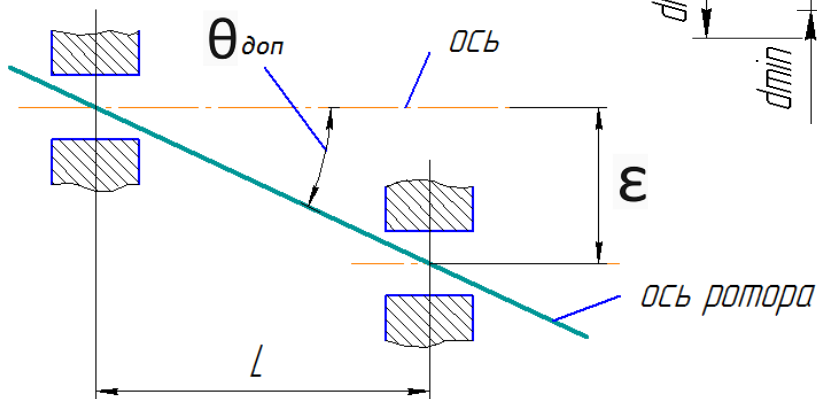
$$e_{\text{раб}} = e_{\text{пос}} + \Delta e_{\text{к}} + \Delta e_{\text{т}}$$

# Допустимые погрешности формы и расположения поверхностей при монтаже подшипника в узел

1. Погрешность формы посадочной поверхности (конусообразность и овальность)  $(d_{\max} - d_{\min}) + (d'_{\max} - d'_{\min}) \leq 0.5T$
2. Не перпендикулярность к оси посадочной поверхности
3. Несоосность опор подшипника  $\varepsilon = L \operatorname{tg} \theta_{\text{доп}}$

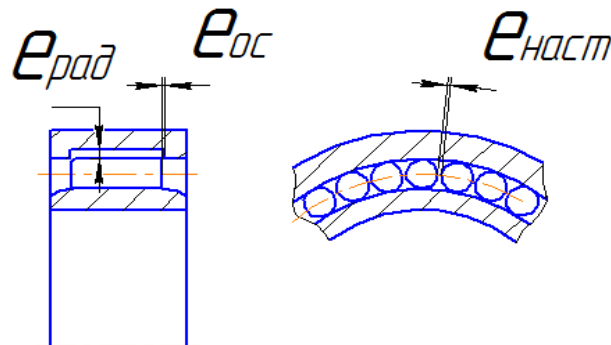
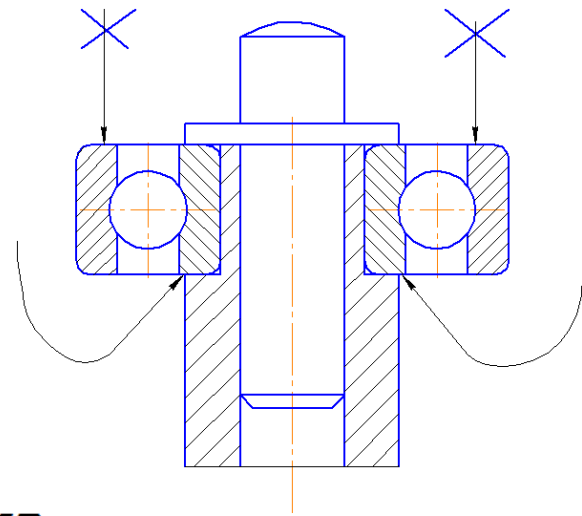
ТП сборки опоры

Имеют место следующие операции: 1. Расконсервация подшипника – удаление смазки, путем погружения в горячее минеральное масло.



# Технология установки подшипника в узел

1. Расконсервация подшипника
2. Промывка подшипника
3. Время рас консервации подшипника
4. Установка подшипника на вал и корпус
5. Контроль качества сборки опор



При сборке игольчатых подшипников контролируются три параметра зазоров:  $e_{рад}$ ,  $e_{ос}$ ,  $e_{наст}$



## 4. Сборка зубчатых передач

### Технические требования:

1. Обеспечение плавности и безударности работы;
2. Обеспечение равномерности расположения нагрузки по всей активной поверхности зуба;
3. Величина «мертвого» хода зацепления при реверсировании д.б. минимальной;
4. Исключение заклинивания зубчатой передачи при всех изменениях температурного режима работы;
5. Величина износа поверхности зубьев д.б. минимальной.

все эти требования достигаются за счет точности изготовления колес и точности сборки зубчатых передач.

Ввиду сложности решения задачи о взаимозаменяемости зубчатых колес в производстве это осуществляется путем индивидуального подбора колес. Подбор осуществляется по 3 комплексным параметрам, зависящим от погрешности изготовления и сборки.

- а) Подбор по разности основных шагов
- б) По величине бокового зазора
- в) По величине и расположению пятна контакта на профильных поверхностях

## 4. Сборка зубчатых передач

### 1. Подбор по разности основных шагов

$t_0$  – шаг по общей нормали, определяет характер нагружения на зуб.

Если  $\Delta t_0 = t_{01} - t_{02} = 0$ , то ударные нагрузки (динамич.)  $P_{дин} = 0$

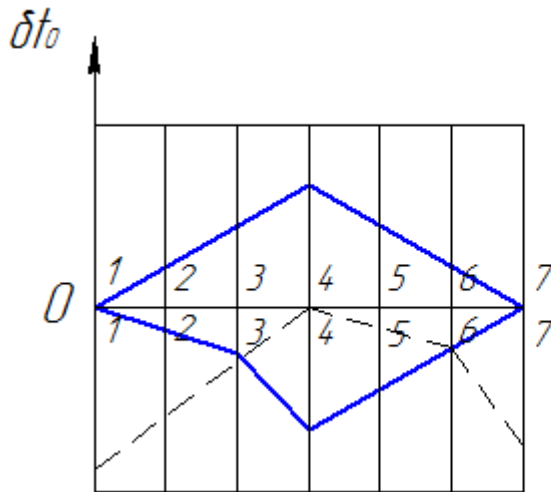
Если  $\Delta t_0 > 0$ , следовательно  $P_{дин} > 0$

Обычно:

$\Delta t_0 = 0,005 \dots 0,01$  мм

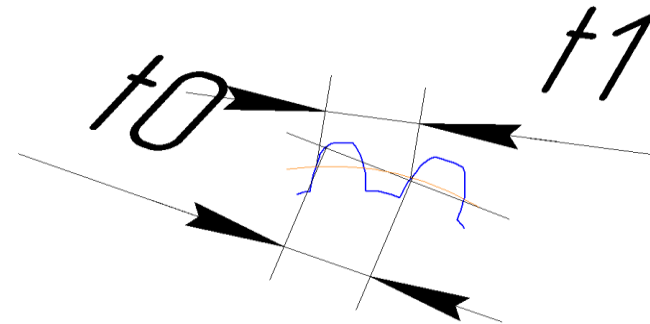
После изготовления зубчатых колес шаг  $t_0$  измеряется и записывается в сопроводительной документации в виде пред. значений шага для каждой шестерни, либо в форме таблицы по каждому зубу колеса.

! Этот метод применим при равном или кратном числе зубьев зацепления.



$Z_1$  ведущее

$Z_2$  ведомое



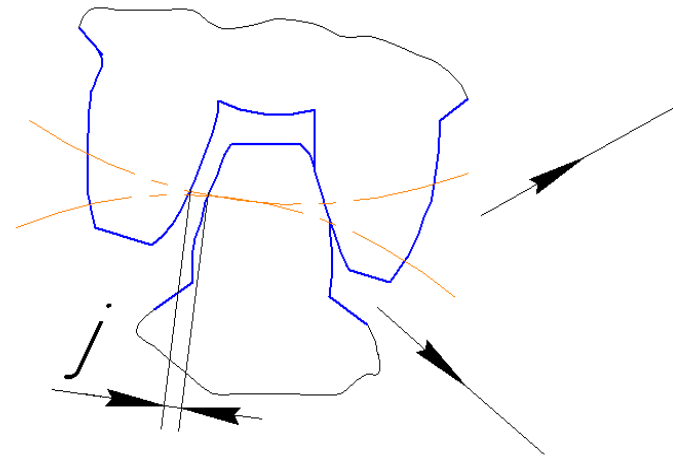
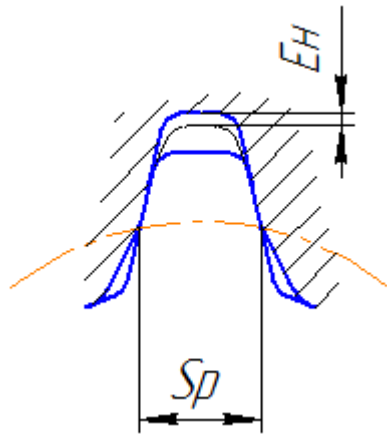
## 4. Сборка зубчатых передач

### 2. Подбор по боковому зазору

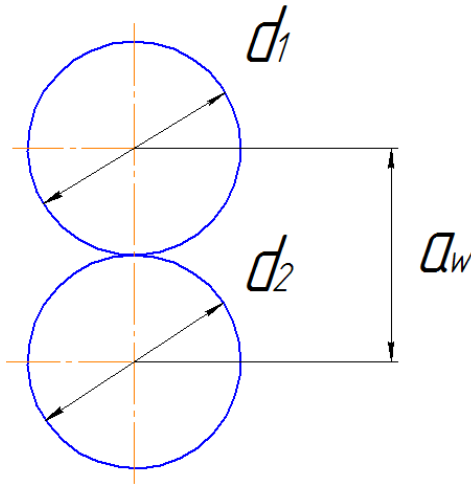
$j$  – Боковой зазор – минимальное расстояние между нерабочими поверхностями 2 соседних зубьев, когда рабочие поверхности находятся в контакте.

$j_{\min}$  необходим для:

1. Размещения смазки в зацеплении
2. Компенсации теплового расширения зубчатых колес
3. Компенсации увеличения  $d$  от центробежных сил
4. Компенсации погрешности изготовления и сборки зубчатых передач



# Расчет изменения бокового зазора от тепловых факторов



$$a_{w_{3K}} = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad a_{w_k} - \text{расстояние между осями подшипника}$$

$$a_{w_{3K}} = a_{w_k} = a_{w_0}$$

$T = T_0$  - температура цеха

Если при работе зубчатой передачи:  $T \neq T_0$ , то:

$$a_{w_{3K}} = a_{w_0} (1 + \alpha_{3K} \Delta T_{3K})$$

$\alpha_{3K}$  - коэффициент линейного расширения для материала

$\Delta T$  - разность температур между рабочим и цехом

$$a_{w_k} = a_{w_0} (1 + \alpha_k \Delta T_k) \quad \text{Появляется разность в } a_w$$

$$\Delta a_w = a_{w_{3K}} - a_{w_k} = a_{w_0} (\alpha_{3K} \Delta T_{3K} - \alpha_k \Delta T_k)$$

$$\Delta \gamma_T = \Delta a_w 2 \sin \alpha$$

## Расчет величины поля рассеивания бокового зазора ( $\omega_\gamma$ )

$$\gamma = f(a_w, s_1, s_2, \Delta x, \Delta y)$$

$$\omega_\gamma = f(\omega_{a_w}, \omega_{s_1}, \omega_{s_2}, \omega_x, \omega_y)$$

$$\omega_\gamma = \left| \frac{\partial f}{\partial a_w} \right| \omega_{a_w} + \left| \frac{\partial f}{\partial S} \right| (\omega_{s_1} + \omega_{s_2}) + \left| \frac{\partial f}{\partial x} \right| \omega_x + \left| \frac{\partial f}{\partial y} \right| \omega_y$$

$$\frac{\partial f}{\partial a_w} = \frac{\partial f}{\partial x}; \frac{\partial f}{\partial S} = \frac{\partial f}{\partial y} \quad (\text{т.к. расположены в одной плоскости})$$

$$\omega_\gamma = \left| \frac{\partial f}{\partial a_w} \right| (\omega_{a_w} + \omega_x) + \left| \frac{\partial f}{\partial S} \right| (\omega_{s_1} + \omega_{s_2} + \omega_y) - \text{поля рассеивания БЗ}$$

Если зацепление эвольвентное, то

$$\frac{\partial f}{\partial a_w} = 2 \sin \alpha \quad \frac{\partial f}{\partial S} = \cos \alpha \quad \alpha - \text{угол зацепления}$$

$\omega_{s_1}$  и  $\omega_{s_2}$  – в чертеже ЗК

$\omega_x$  и  $\omega_y$  – в сборочном чертеже

$\omega_{a_w}$  – находится с помощью расчета РЦ

$$\omega_{A_\Delta} = \sum \left| \xi_{A_i} \right| \omega_{A_i}$$

# Определение поля рассеивания межцентрового расстояния

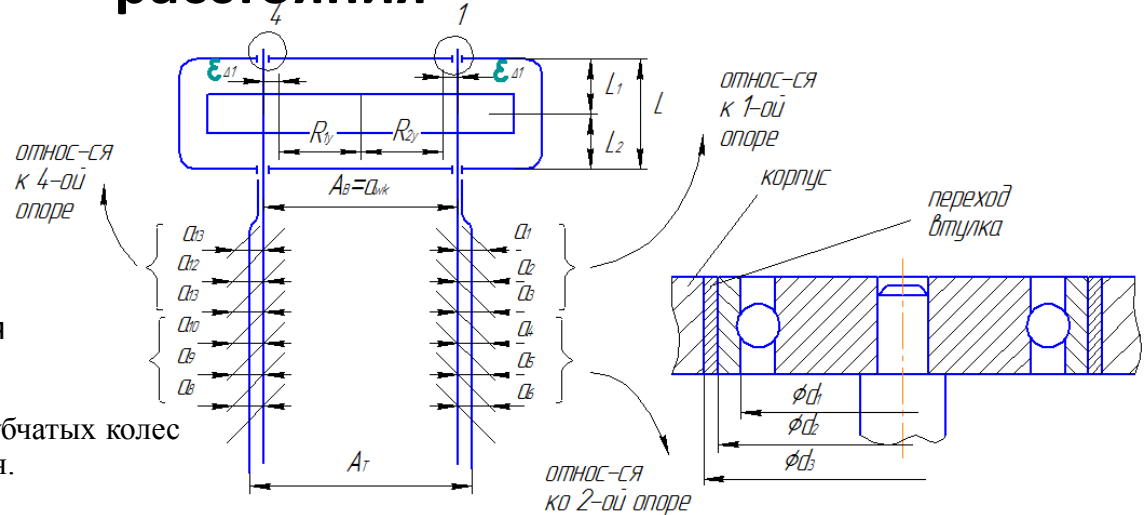
$$\omega_a = ?$$

$$\omega_{a_w} = \omega_{a_w}^k + (\varepsilon_{\Delta 1} + \varepsilon_{\Delta 2})$$

$\omega_{a_w}^k$  — межцентровое расстояние для корпусных неподвижных деталей

$\varepsilon_{\Delta 1} + \varepsilon_{\Delta 2}$  — смещение осей вращения

$\varepsilon_{\Delta 1}$  и  $\varepsilon_{\Delta 2}$  — суммарное смещение осей длительных окружностей зубчатых колес относительно осей вращения.



**A1** — смещение оси дорожки качения наружного кольца подшипника относительно посадочной поверхности наружного кольца  $\varnothing d_2$ .

**A2** — смещение осей внутренней поверхности (диаметр  $\varnothing d_2$ ) относительно оси наружной поверхности ( $\varnothing d_3$ ) для втулки.

**A3** — половина величины радиального зазора в шарикоподшипнике.

Эти три звена располагаются в опоре I, но и есть они в опорах II, III, IV.

**A7** — расстояние между осями отверстий в корпусе.

Звено  $A_{\Delta}$  - замыкающее звено.

$$(A_1 + A_2 + A_3 + A_{11} + A_{12} + A_{13}) \frac{L_2}{L} + (A_4 + A_5 + A_6 + A_8 + A_9 + A_{10}) \frac{L_1}{L} + A_7 - A_{\Delta} = 0$$

$$\omega_{a_{\Delta}} = \omega_{a_{wk}}^k$$

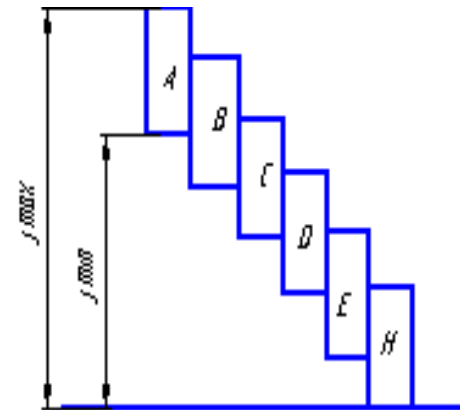
## 4. Сборка зубчатых передач

При  $j_{\max}$  имеет место:

1. Ударная нагрузка
2. Увеличение вибрации
3. Возрастание износа зуба
4. Увеличение « мертвого » хода

В зависимости от условий работы зубчатых передач предусмотрены 6 видов сопряжений по боковому зазору:

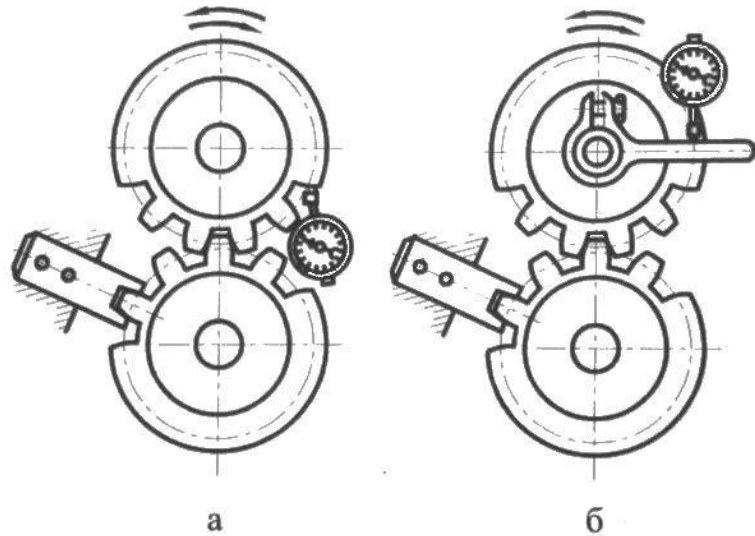
- Н - с «0» боковым зазором
- Е - с весьма малым боковым зазором
- Д - с малым боковым зазором
- С - с уменьшенным боковым зазором
- В - с нормальным боковым зазором
- А - с увеличенным боковым зазором



## 4. Сборка зубчатых передач

### *Способы контроля бокового зазора*

1. С помощью пластин наборного щупа, если имеет место доступ к зубчатому зацеплению
2. С помощью индикаторных часов
3. На колесо устанавливается рычаг с хомутом и индикаторными часами, на радиусе делительной окружности контролируется боковой зазор при колебании.



Измерение бокового зазора в зубьях  
а – индикатором; б – с помощью выносного рычага



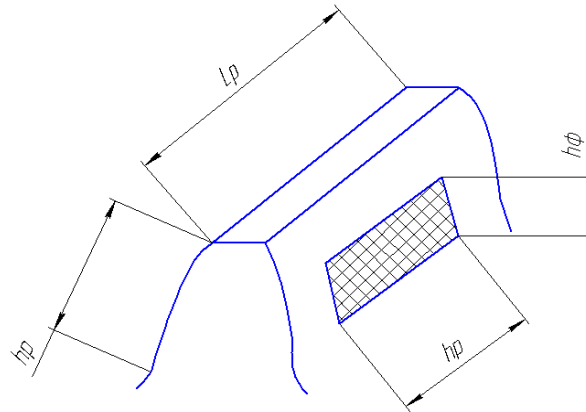
## 4. Сборка зубчатых передач

*Подбор по пятну контакта зацепления*

Ведущее колесо смазывающееся краской, ведомое притормаживающаяся и прокручивающаяся несколько раз. Отпечаток контролируется на ведомом колесе.

$$\frac{L_{\phi}}{L_p} \cdot 100 = (70..80)$$

$$\frac{L_{\phi}}{h_p} \cdot 100 = (70..80)$$

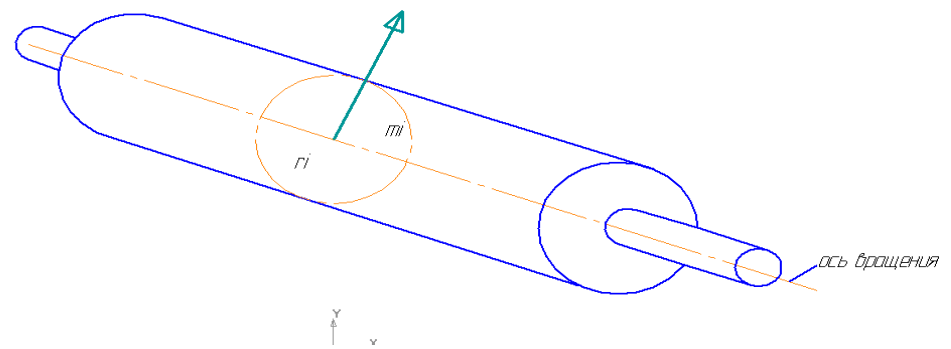


# Балансировка роторов

Эффективная и обязательная операция по устранению вибраций вращающихся деталей авиационного двигателя. Если в роторе есть хотя бы 1 несимметричная масса  $m_i$ , то в нем при вращении появляется дисбаланс  $D_i$ , в котором есть векторная величина, равная произведению неравномерной массы ( $m_i$ ) на радиус вектора.

*Причины возникновения  $D_i$*

- 1) Погрешность получения заготовок – неодинаковая плотность материала в объеме детали
- 2) Погрешность при механической обработке детали
- 3) Погрешность сборки – перекосы детали, связанные с запрессовкой, неравномерностью затяжки



# Условие уравниваемости роторов произвольной формы

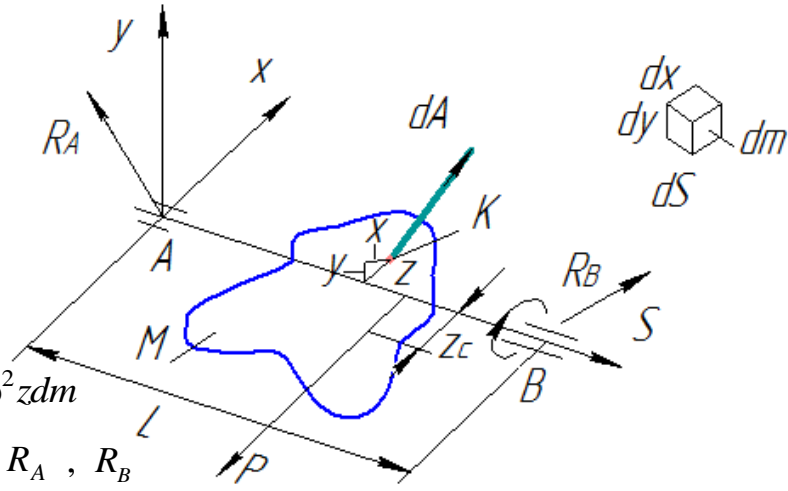
Ротор  $M$  вращается относительно точек  $A$  и  $B$ .

В т.  $K$  – элементарный кубический элемент массой  $dm$

$$(dm = \rho dx dy dz)$$

На нее будет действовать эл-ная центр. сила  $dP = \omega^2 z dm$

При появлении силы  $dr$  в опорах возникает реакция,  $R_A$ ,  $R_B$



$$R_b = \frac{\omega^2}{L} \int z S dm = \frac{\omega^2}{L} \left( \int_M x S dm + \int_M y S dm \right) = 0$$

$$J_{xS} = \int_M x S dm, \quad J_{yS} = \int_M y S dm$$

Если  $R_B = 0$ , то  $J_{xS} = 0, J_{yS} = 0, AB \rightarrow \text{ГОИ}$

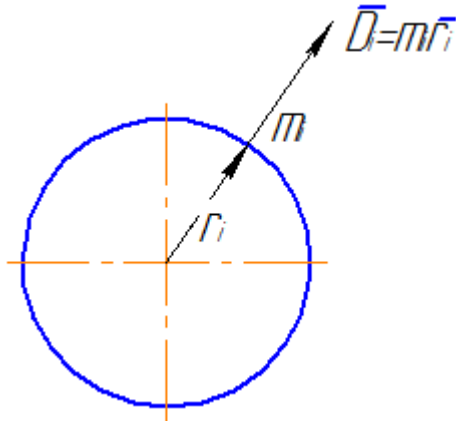
$R_A = 0$ , то  $J_{xS} = 0, z_c = 0, AB = \text{ГЦОИ}$

$$R_A = 0 \quad R_B = 0 \quad P = 0$$

$P$  – равнодействующая всех сил инерции

$$P = \omega^2 \int_M z dm = 0 \rightarrow \int_M z dm = 0 \rightarrow z_c = 0$$

## Дисбаланс ротора. Причины возникновения дисбаланса.



Дисбаланс – это векторная величина, равная произведению неуравновешенной массы на радиус вектор.

$$\bar{D}_z = \sum_{i=1}^n \bar{D}_i = \sum_{i=1}^n m_i \bar{r}_i$$

### Причины возникновения дисбаланса:

- 1) погрешности получения заготовок, неодинаковая плотность металлов в объеме детали
- 2) погрешности механической обработки детали вызывают несимметричность радиального и торцового биения, непараллельность торцов, разнотолщинность буртов
- 3) погрешность сборки, перекосы детали при неравномерной затяжки, перекосы при запрессовке детали.

# Балансировка роторов

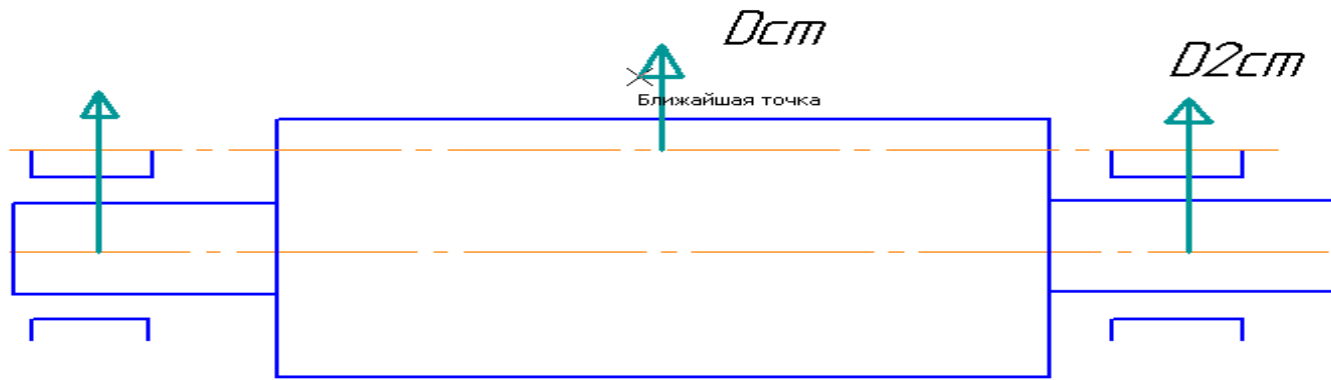
В авиации двигатели имеют место несколько десятков дисбалансов наличие множеств дисбалансов в собранном роторе приводит к тому, что главная центральная ось инерции не совпадает с осью вращения.

В зависимости от характера несовпадения этих осей различают:

- Статическую
- Моментную
- Динамическую

## Статическая неуравновешенность

Составляющие дисбаланса равны по величине и совпадают по направлению.



# Балансировка роторов

## Моментная неуравновешенность

Главная центральная ось инерции и ось вращения пересекаются в центре масс ротора

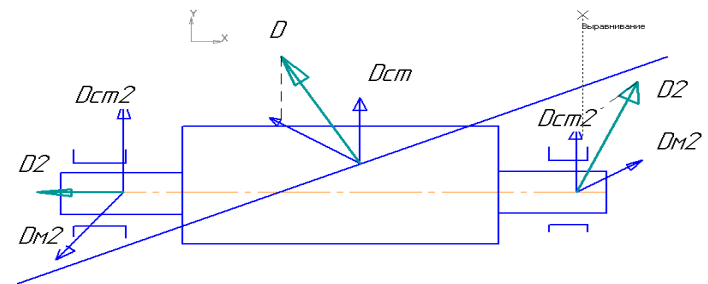
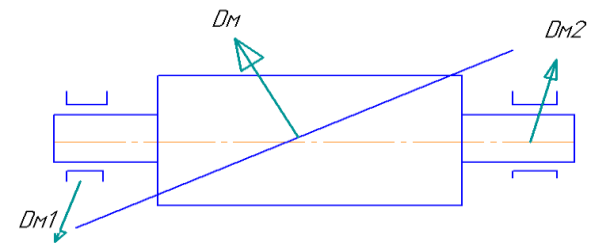
$\bar{D}_M$  – главный момент  
Дисбаланса

$$D_{1M} = D_{2M}$$

$$\alpha_1 = (\alpha_2 + 180)$$

## Динамическая неуравновешенность

Главная центральная ось инерции и ось вращения располагаются как перекрещивающиеся прямые. Совокупность стат. и момент. неуравновешенности.



# Балансировка роторов

Для устранения неуравновешенности роторов производится балансировка. *Балансировка* – процесс определения величины и углового положения вектора дисбаланса с последующим уменьшением этого  $D$  до допустимых норм за счет корректировки масс ротора.

В соответствии с видами неуравновешенности различают балансировки:

- Статическую
- Моментную
- Динамическую

Чаще всего применяют статические и динамические.

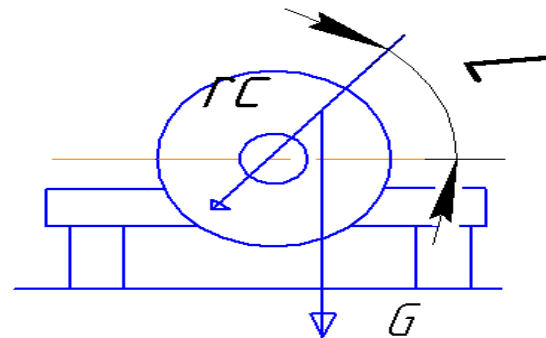
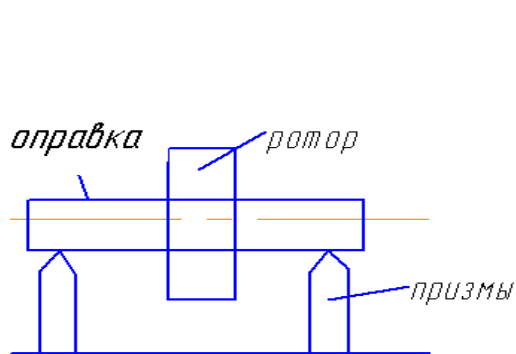
# Балансировка роторов

## Статическая балансировка

**Цель:** проведение центра масс к оси вращения

- а) С использованием гравитационных сил;
  - б) С использованием центробежных сил – статическая балансировка в динамическом режиме
- а) Эта балансировка осуществляется на станках типа «ПРИЗМ» ( на ножах)

Оправка и ножи выполнены из твердой закаленной стали с  $R_a = 0.16$  мкм не горизонтальность  $\leq 0,02$  мм на 1 м.





# Балансировка роторов

## *Статическая балансировка*

1. Постепенно, наклепывая пластилин, делаем ротор уравновешенным
2. Взвешиваем массу пластилина
3. Определяем радиус  $r_c$

Следовательно  $D = r_c * m$  – величина дисбаланса.

Если  $D > D_{\text{доп}}$ , то:

1. Приваривают специальную пластину ( в противоположном месте);
2. Высверливают отверстие ( в месте центра масс);
3. Выфрезеровываются выемки

# Балансировка роторов

*Точность балансировки*

$$M_{вр} = G * r_c * \cos\alpha$$

$M_{сопр} = G * K$ , где  $K$  - коэффициент трения качения

Ротор будет казаться уравновешенным, когда  $M_{вр} = M_{сопр}$

$$r_c \cos\alpha = K$$

при  $\alpha = 0$   $r_c = K$  – условие определения точности статической балансировки

Условие: если смещение центра масс не превышает плеча трения качения ( $K$ ), то ротор кажется уравновешенным.

Остаточный дисбаланс:  $D_{ост} = m_p * K$

$K = (0,003 \dots 0,005)$  см – для твердой закалки сталей

В реальном случае:  $m_p = 100$  кг,  $K = 0,003$  см следовательно  $D_{ост} = 300$  г\*см

По чертежу  $D_{ост, доп} \leq 30$  г\*см

**Вывод:** Балансировка на призмах имеет невысокую точность, поэтому она используется как предварительная.

# Балансировка роторов

б) схема балансирующего станка

Деталь раскручивается до рабочих оборотов. При этом ротор будет раскачиваться пропорционально дисбалансу.

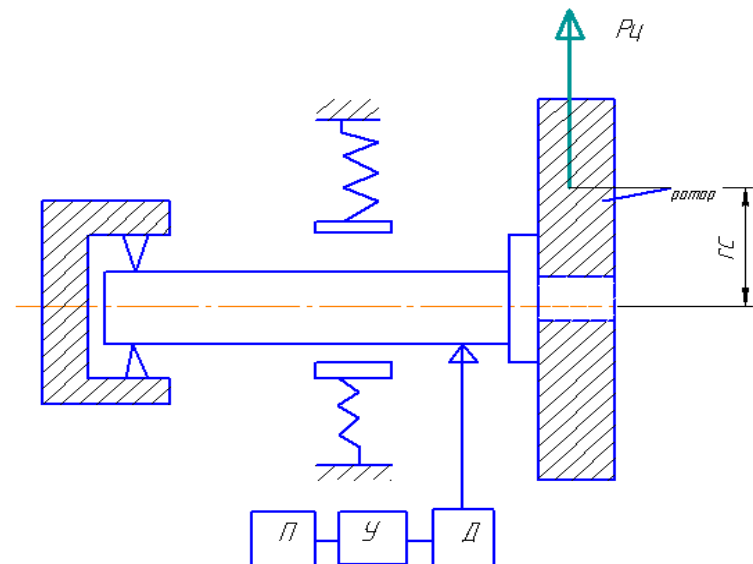
Величина силы записывается по прибору, а угловое положение тяжелого места определяется с помощью стробоскопического эффекта.

$$P_{ц} = \omega^2 * m_p * r_c$$

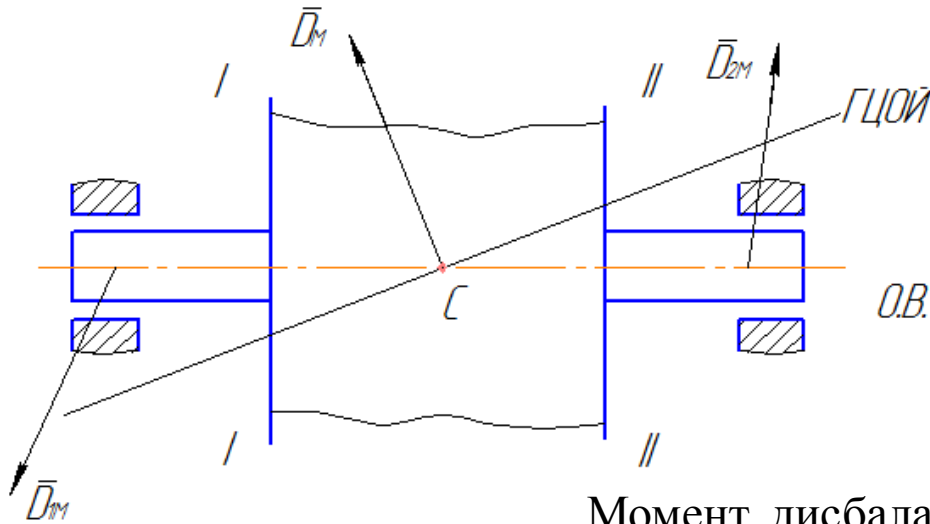
**Вывод:** Область применения ротора небольшой длины с  $\frac{L_{\text{ротора}}}{\Phi_{\text{ротора}}} = 0,1 \dots 0,3$

В остальных случаях проводится динамическая балансировка, имеющая следующие особенности:

Коррекцию масс производят в 2 плоскостях. Процесс балансировки осуществляется в несколько итераций (шагов)



# Моментная балансировка



Момент. дисбаланс нельзя устранить за счет одной корректирующей массы. В этом случае нужны две корректирующие массы расположенных в двух плоскостях коррекции.

Эти плоскости назначает конструктор.

Чтобы выявить момент дисбаланса необходим станок способный измерять составляющие дисбаланса в каждой опоре.

# Сборка типовых СЕ

## Сборка РК К

Технические требования на сборку

1. Обеспечить равенство масс (статических моментов) для каждой пары диаметрально–противоположных лопаток.

Разброс по массе  $\Delta m = 0.05 \dots 0.1$

2. Обеспечить посадку хвостовика в паз диска:

Натяг  $N = 0.02 \dots 0.03$  мм

3. Обеспечить заданную точность радиального расположения поверхностей 1,2,3 относительно конструкторской базы

Биение  $B \leq 0.05$  мм

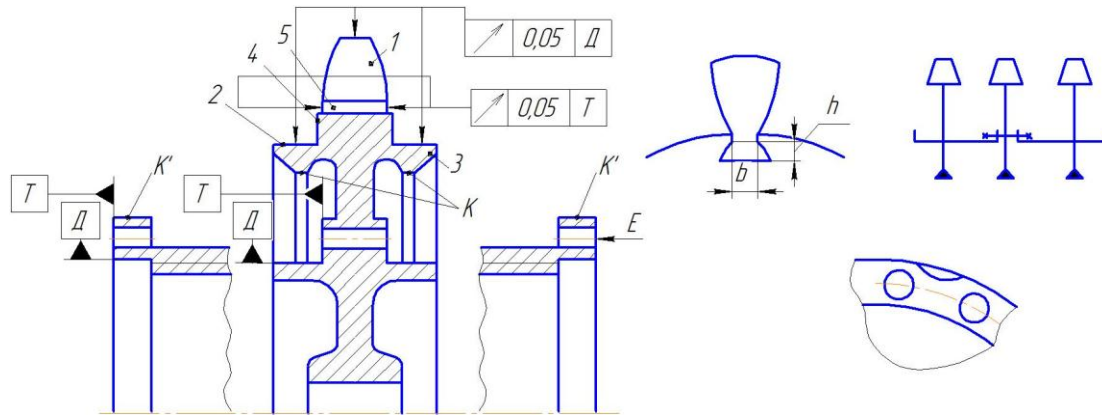
4. Обеспечить заданную точность расположения 4 и 5 относительно конструкторской базы.

5. Произвести статическую балансировку для узких или динамичных, для широких колес с заданной точностью:

$D_{ост} = 20$  г\*см

# Сборка типовых СЕ

## Сборка рабочих колес компрессора



$$N_B = 0,02...0,03$$

$$\Delta m = (0,5...1,0)G$$

$$D_{ост} = \frac{\approx 20гсм}{m = 100кг}$$

### Технические требования на сборку:

1. Обеспечить равенство масс (или статических моментов) для каждой пары диаметр-о противоположных лопаток.
2. Обеспечить зазорный натяг в соединении хвостика лопатки с пазом.
3. Обеспечить заданную точность радиального расположения поверхности 1, 2, 3 относительно констр-х баз колеса.
4. Обеспечить заданную точность расположения торцов 4, 5 относительно констр-х бах колеса.
5. Произвести статическую балансировку для узких РК или динамическую балансировку для широких РК с заданной точностью.

# Сборка рабочих колес компрессора

## Основные сборочные операции

### Оп. 1 распределение лопаток по весу или статическому моменту

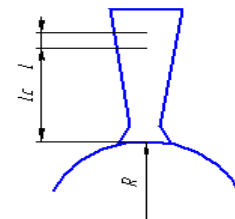
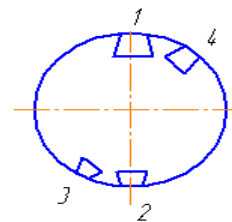
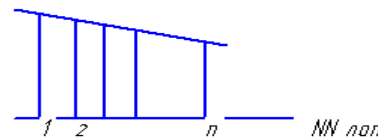
Лопатки взвешиваются и делается гистограмма по весу. Раскладывают лопатки по пазам в соответствии с №. Для длинных лопаток (I ступени компрессора) имеет место значительное колебание центра масс по длине, следовательно, подбор лопаток осуществляется не по весу, а по статическому моменту.

$$\Delta L = 10 \dots 15 \text{ мм} \quad S = m(R + L_c)$$

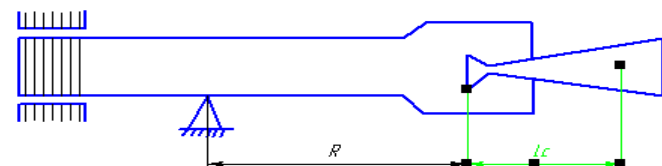
– статический момент

$L_c$  – расстояние до центра масс

Вес



груз



# Сборка типовых СЕ

## Основные сборочные операции

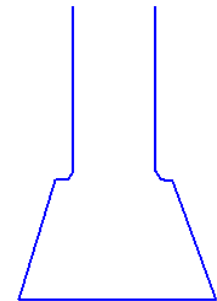
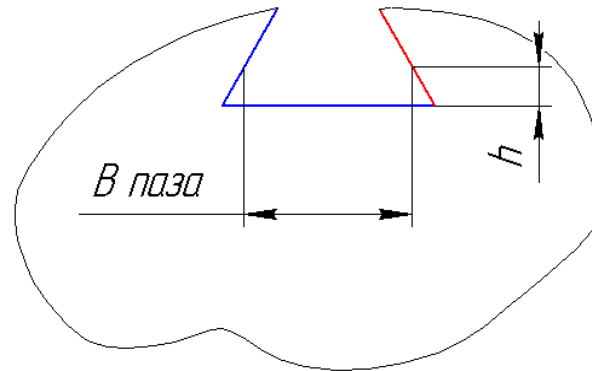
### Оп. 2 обеспечение натяга

$T_N = 0.01$  допуск на натяг При полной взаимозаменяемости  $B_n + h_l = 0,005 + 0,005$   
Это требование обеспечивается пригонкой

N паза	Фактический размер паза	Требуемый размер — Вл
1	12,35	12,38 <sub>-0,01</sub>
2	12,37	12,40 <sub>-0,01</sub>

Комплект лопаток отправляют в механический цех, где их шлифуют  
(скосы или подошву)

$$N_B = 0,02...0,03$$





# Сборка типовых СЕ

## Основные сборочные операции

### **Оп.3 установка лопаток**

- а) Установка вручную, с помощью специальных оправок и молотка
- б) Установка с помощью прессов ( когда натяги >)

**Правило:** сначала устанавливаются все четные, затем нечетные или наоборот.

### **Оп. 4 Механическая обработка**

Обработка осуществляется на токарно – карусельных станках, технологическими базами является КБ.

Последовательность сборки:

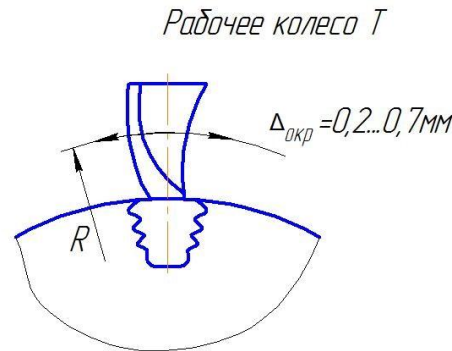
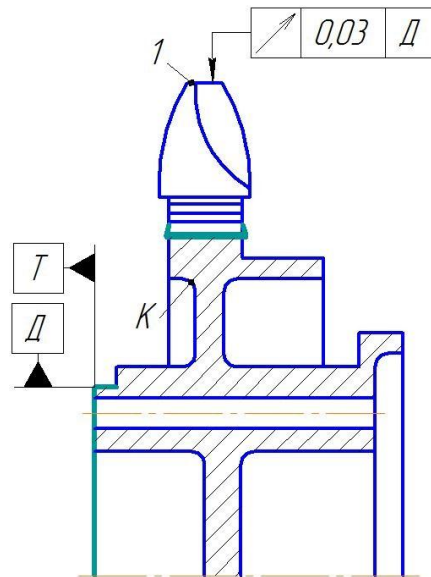
- 1.Подрезка торцев 4 и5;
- 2.Протачивание диаметров 2 и 3;
- 3.Обработка поверхности 1 (кромка лопатки). Для исключения поломки лопаток используют следующие приемы:
  - устраняются фетровые или войлочные клинья между лопатками;
  - заливается парафином межлопаточное пространство;
  - лопатки перевязываются резиновым жгутом.

### **Оп. 5 Балансировка**

Осуществляется на станках с использованием центробежных сил инерции.

Компенсация дисбаланса производится за счет удаления металла ( К, К').

## Особенность сборки РК Т с неохлаждаемыми и небандажируемыми лопатками



Особенностью рабочего колеса турбины является наличие окружной качки в пределах 0.2 – 0.7 мм на определенном радиусе ( $\Delta_{окр}$ ) КБ – диаметр Д и торец Т Биение - 0.03

ТТ на сборку:

По аналогии с компрессором:

1. Аналогично (разность в весе от 1.5 – 2 гр.)
2. Установление определенного зазора по величине окружной качки
3. Обеспечение точности расположения поверхности 1 относительно КБ (диаметром Д)
4. Аналогично 5 требование для РК К

## Особенность сборки РК Т с неохлаждаемыми и небандажируемыми лопатками

Тангенциальная качка контролируется следующим образом: замок лопатки покрывается тонким слоем краски, лопатка устанавливается в паз и производится покачивание, фиксируется отпечаток краски и, если, прилегание не соответствует норме, то назначается притирка замка лопатки по пазу диска.

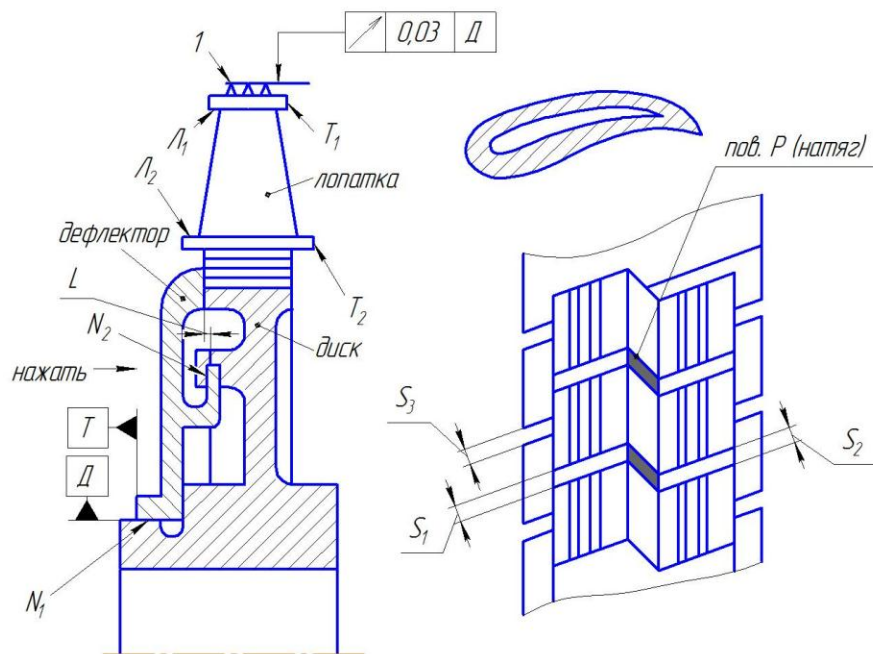
Обработка поверхности 1 (венца лопатки)

осуществляется на шлифовальных станках, при этом между лопатками устанавливаются деревянные клинья.

Балансировка осуществляется статическая в динамическом режиме.

Съем металла осуществляется с поверхности К с последовательно тщательной заполировкой для исключения микротрещин.

# Сборка колес турбины с охлаждающими лопатками и наличием бандажных полок на концах лопаток и у конца.



К основным требованиям есть дополнительные требования:

1. Обеспечить заданный расход воздуха через охлаждаемые лопатки.
2. Обеспечить заданное значение зазоров  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ .
3. Обеспечить заданное значение натяга по поверхности  $P$  за счет упорных деформаций скручивания пера лопатки.

4. Обеспечить заданное значение натяга  $N_1$   $N_2$  в дефлекторе диска.
5. Обеспечить заданную точность раб. Расположения гребешков лабиринта относительно конструкторских баз колеса.
6. Обеспечить совпадение поверхности полок лопаток бандажной и за..., между соседними лопатками.

# **Сборка колес турбины с охлаждающими лопатками и наличием бандажных полок на концах лопаток и у конца.**

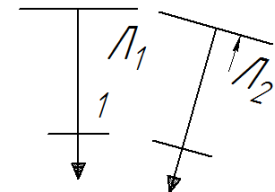
## Технические требования.

1. Обеспечить заданную посадку лопаток в пазы диска с зазором.
2. Обеспечить заданную площадь прилегания зубцов лопатки к зубцам диска.
3. Обеспечить равенство масс или статических моментов одинаковой пары 2х диаметрально противоположных лопаток.
4. Комплект лопаток установленных в пары диска должен иметь частоту изг. наибольшую по величине в пределах установленных норм.
5. Обеспечить заданную точность радиального расположения поверхности относительно конструкторских баз.
6. Обеспечить статическую балансировку РК после сборки с допустимой точностью.

# Сборка колес турбины с охлаждающими лопатками и наличием бандажных полок на концах лопаток и у конца.

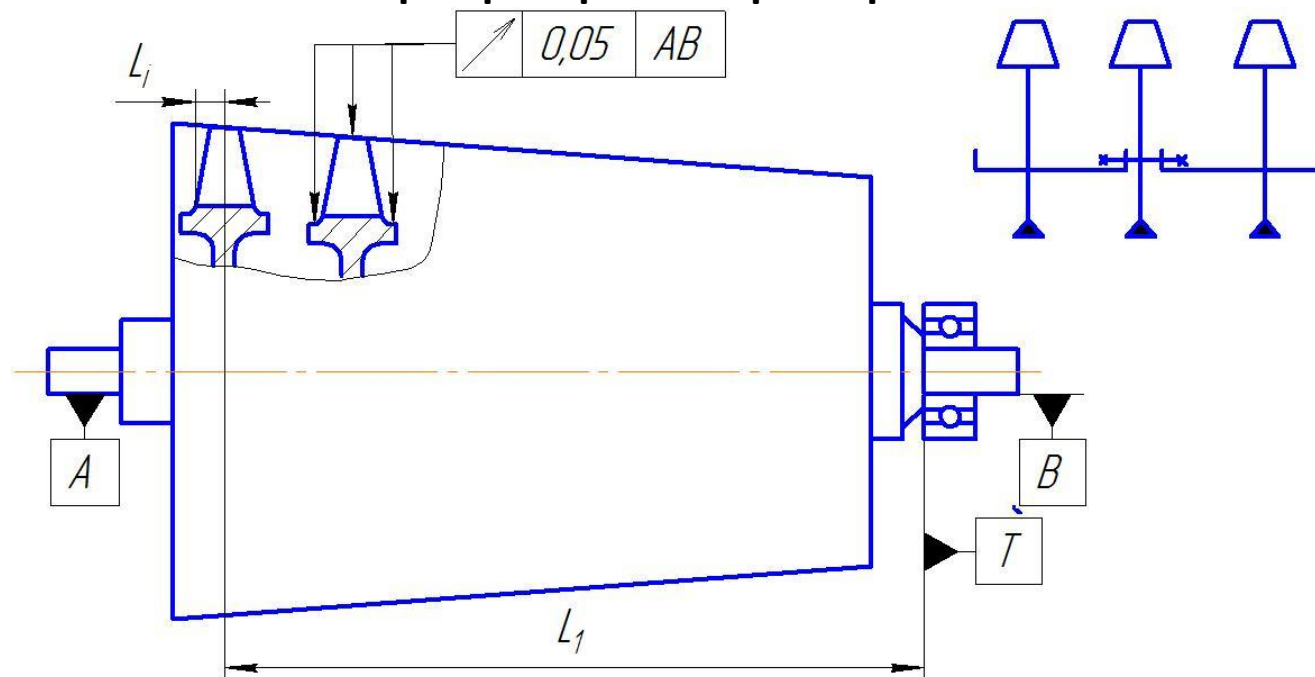
## Технология сборки:

- 1) Определение расхода воздуха через охл. полости лопаток проводится на специальных установках, подающих давление и контролирующих расход.
- 2) Обеспечение посадки дефлектора ( $N_1$  и  $N_2$ )
- 3) Постановка лопаток и обеспечение зазоров  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  и натяга по поверхности  $P$ .
- 4) Постановка лопаток и обеспечение совмещение трактовых поверхностей
- 5) Механическая обработка поверхности 1 по гребешкам лабиринта
- 6) Статическая балансировка



# Сборка роторов Компрессора и Турбины

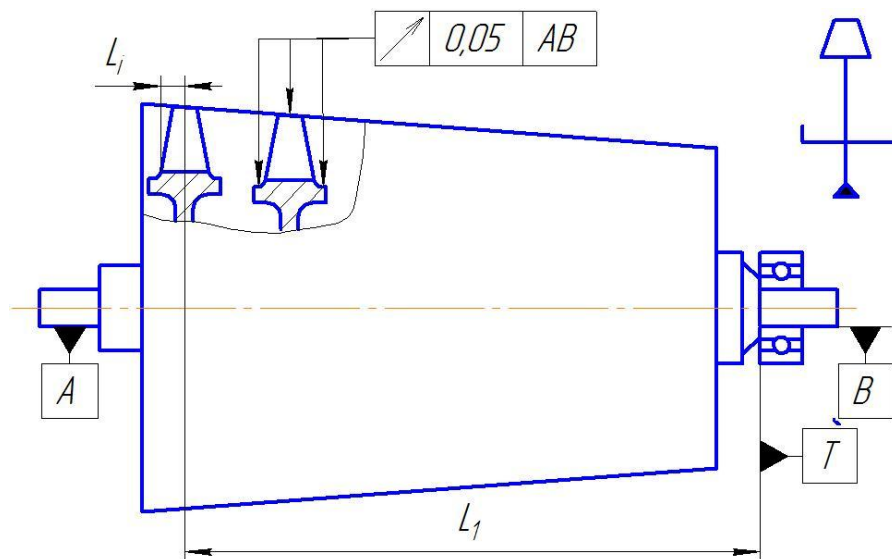
## Сборка ротора Компрессора



### Технические требования на сборку:

1. Обеспечить заданные посадки в соседних рабочих колесах, а также рабочих колес с валами.
2. Обеспечить заданное усилие затяжки и равномерности усилия болтов крепления РК.
3. Обеспечить заданную точность радиального расположения поверхности 1, 2, 3 относительно конструктивных баз ротора.
4. Обеспечить заданные диаметральные размеры  $\varnothing$  на базовой координате торца ротора.
5. Произвести динамическую балансировку ротора с заданной точностью.

# Сборка ротора К



Конструкторская база — диаметры А, В и торец Т (имеется шарикоподшипник).

Этот узел является базой СЕ при сборке всего изделия — об этом свидетельствует наличие шарикоподшипника.

## ТТ на сборку:

1. Обеспечение заданных посадок в соединениях РК и в соединениях РК с валами (по буртикам — натяг 0,03-0,05мм)
2. Обеспечение заданного усилия затяжки и равномерности усилия крепления болтов РК
3. Обеспечение заданной точности радиального расположения поверхностей 1, 2, 3 относительно конструкторской базы.
4. Обеспечение заданных диаметральных размеров (D) на базовой координате торца ротора.
5. Произвести динамическую балансировку



# Основные сборочные операции

## Оп.1 Сборка ротора из РК

Контролируются посадки в соединениях РК.

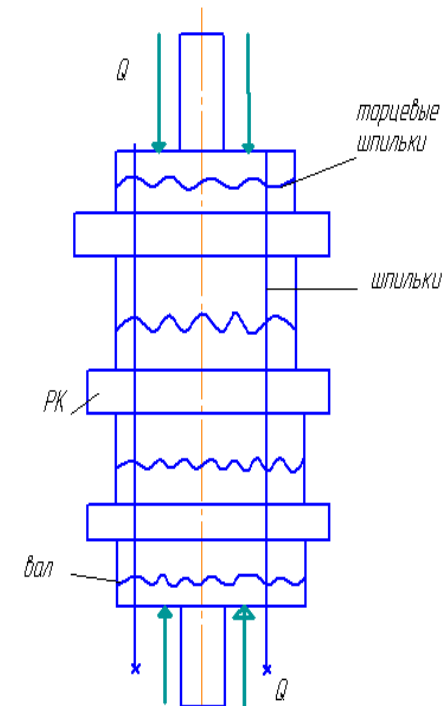
Метод достижения точности — неполная взаимозаменяемость, т.е. Иногда производится перекомплектовка.

Сборка колес осуществляется в вертикальном положении. Усилие затяжки контролируется по  $M$ , а равномерность затяжки достигается за счет схемы очередности. Иногда имеет место конструкция роторов, когда РК соединяется по треугольным торцевым шлицам.

## Оп.2 Механическая обработка поверхности ротора.

Производится на крупногабаритных токарных станках.

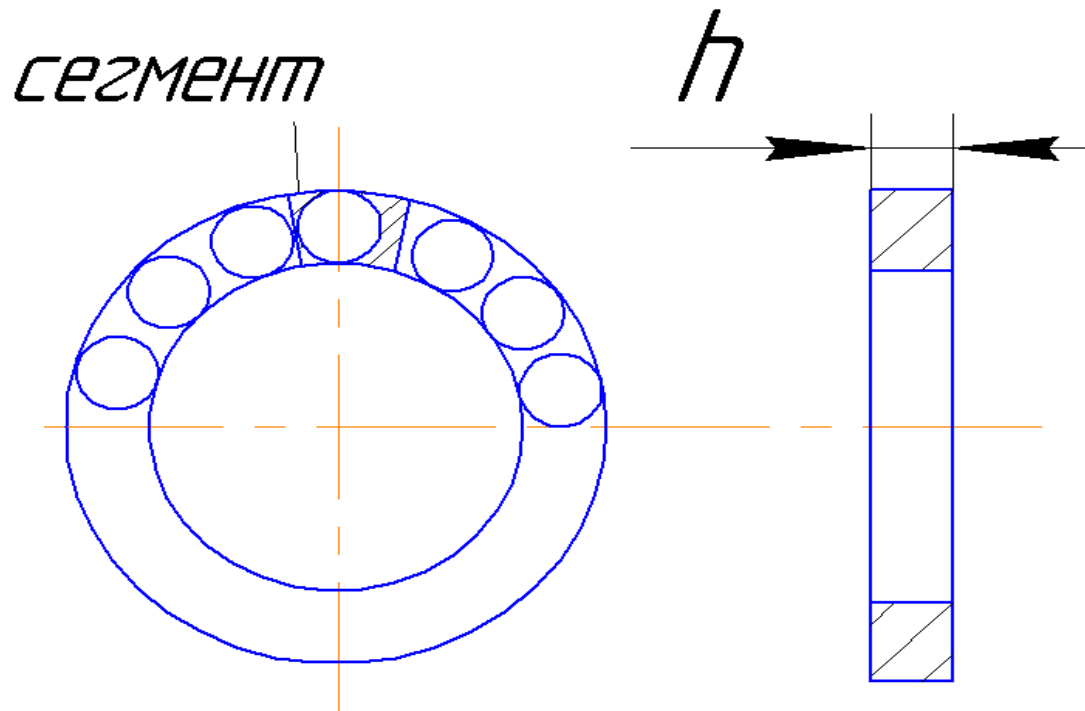
Перед обработкой выверяется точность установки ротора (биение  $0.01$  мм) в специальном четырехкулачковом патроне. При обработке поверхности 1, а лопатка перевязывается резиновыми жгутами и обеспечиваются диаметральные размеры на определенных координатах.



# Основные сборочные операции

## Оп.3 Динамическая балансировка ротора

Осуществляется на станках, измеряющих дисбаланс в каждой опоре, а компенсацию дисбаланса осуществляется за счет установки дополнительных грузиков под болты крепления РК. Изготавливаются кольца, являющиеся точной копией фланцев РК,  $h = 1,2,3$  мм





# Основные сборочные операции сборки ротора турбины

## Оп. 1 Сборка переднего и заднего валов

При сборке валов контролируются посадки в соединениях лабиринтных втулок и колец роликоподшипника с валами

Метод обеспечения точности — неполная взаимозаменяемость

Установка осуществляется методом тепловой посадки, когда кольцо нагревается до  $t = 200 \text{ — } 250\text{C}$ . Усилие затяжки гаек на валах контролируются по  $M$  с использованием специальных ключей с механическим и гидравлическим приводом.  $\text{Ø}$  гайки = 100...300 мм,  $M = 100 \dots 300 \text{ кг*с*м}$

Обеспечение заданного натяга по резьбе шпилек осуществляется по методу групповой взаимозаменяемости, при этом фланец вала нагревается  $t = 80 \dots 100 \text{ C}$ , шпильки охлаждаются в жидком азоте.

## Оп.2 Сборка ротора Т

Осуществляется в вертикальном положении

Базой является передний вал Т. Каждая ступень осаживается гайками, при этом контролируется радиальное и торцевое биение 0.02 ...0.03 по каждой ступени. Последним устанавливается задний вал и производится затяжка шпилек. Р контролируется по удлинению шпилек, а равномерность — за счет схемы затяжки.

# Основные сборочные операции

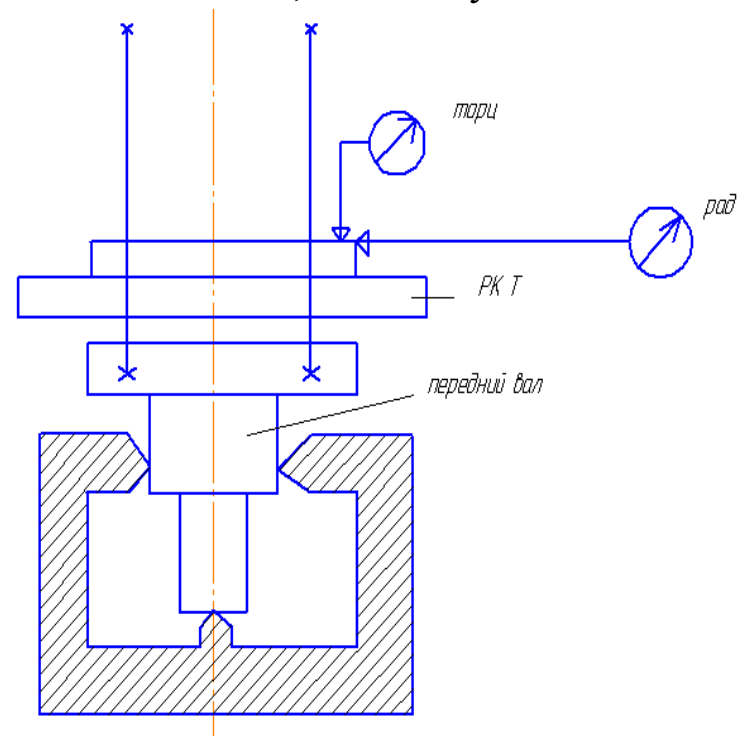
При этом производится многократная перезатяжка с отвертыванием гаек. Точность размеров 3 — 5 %. В собранном роторе производится контроль Прямолинейности оси. Уход не больше 0.1 мм

## Оп.3 Балансировка

Осуществляется аналогично ротору К

Компенсация дисбаланса производится:

1. путем удаления металла с первого и последнего диска, с последующей Заполировкой
2. путем установки балансировочных грузиков



# Сборка Компрессора

ТТ на сборку:

1. Обеспечить необходимую прочность опор в корпусе К

2. Обеспечить комплекс зазоров:

А — радиальный зазор концов лопаток и внутренней уплотнительной поверхности статора

Б — радиальный зазор в уплотнениях РК

В — передний осевой зазор

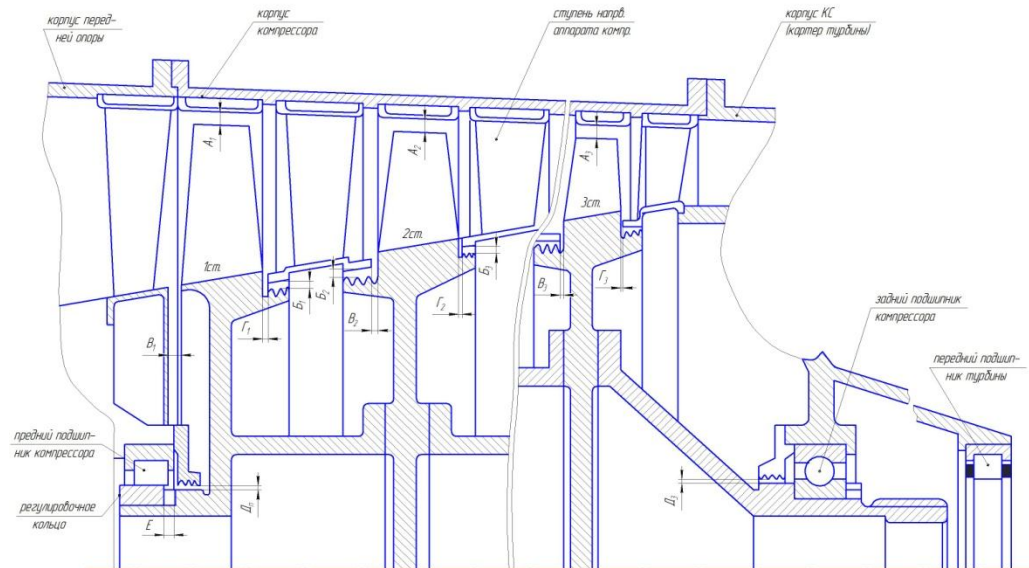
Г — задний осевой зазор

Д — радиальный зазор в уплотнении подшипниковых опор

3. Обеспечить заданную точность взаимного расположения торцевых поверхностей внутреннего и наружного кольца роликоподшипников

4. Если опора К размещается в одном и том же узле с опорой Т, то необходимо проверить соосности переднего подшипника опоры турбины с осью вращения ротора К.

*Схема проверки зазоров по узлу осевого компрессора*

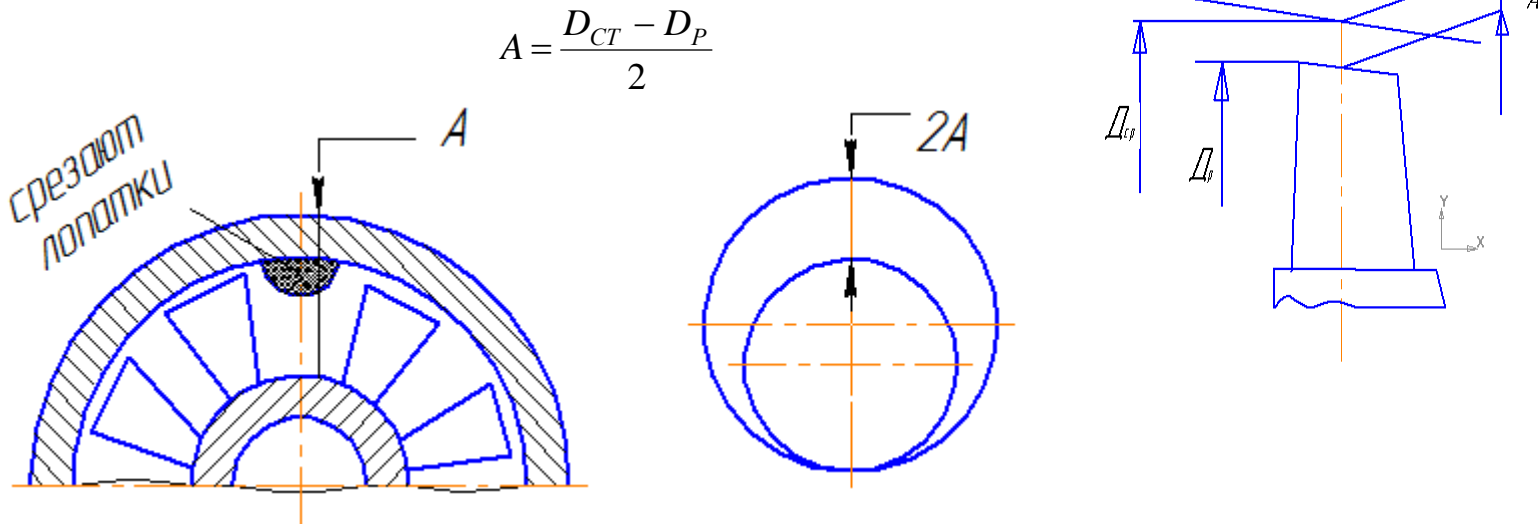


# Сборка К

## Способы контроля и обеспечения заданных технических требований.

Основные сборочные операции.

1. Выполняются специальные операции по обеспечению соосности опор.
2.  $A$  — контролируется двумя способами:
  - а) Расчетным путем
  - б) Путем непосредственного измерения

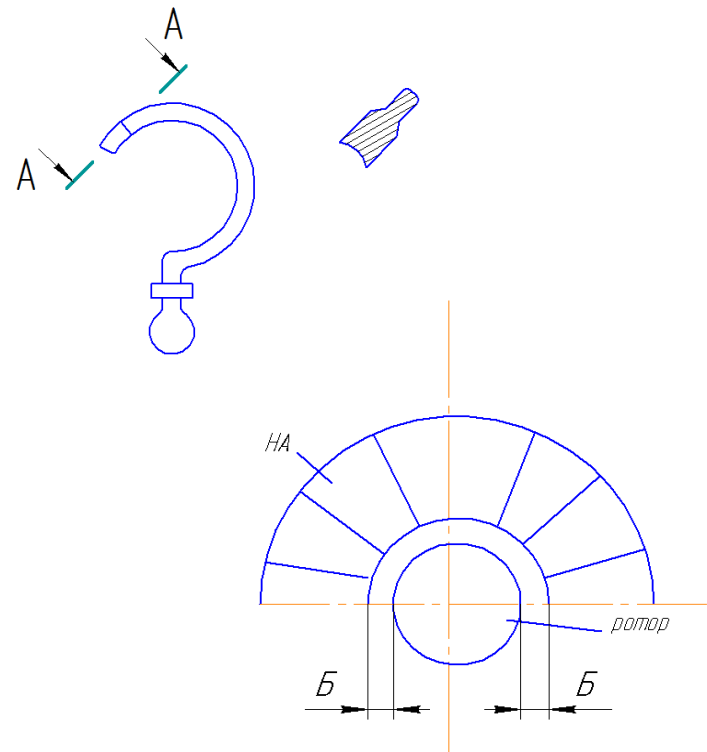
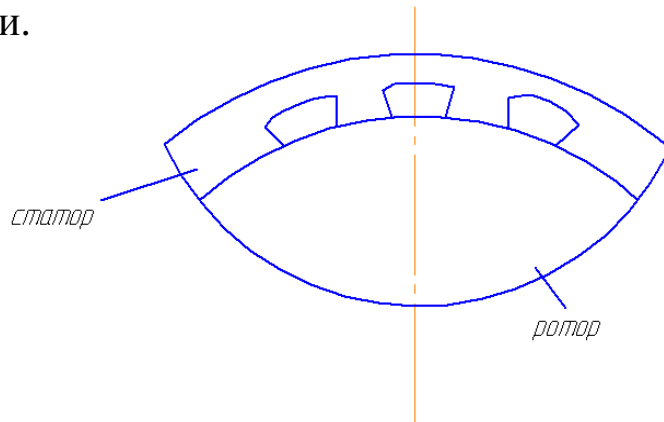


# Сборка Компрессора

Б — контролируется аналитически, либо с помощью щупов при последовательной установке половин статора К.

В и Г — контролируется с помощью серпообразных щупов в процессе установки статора

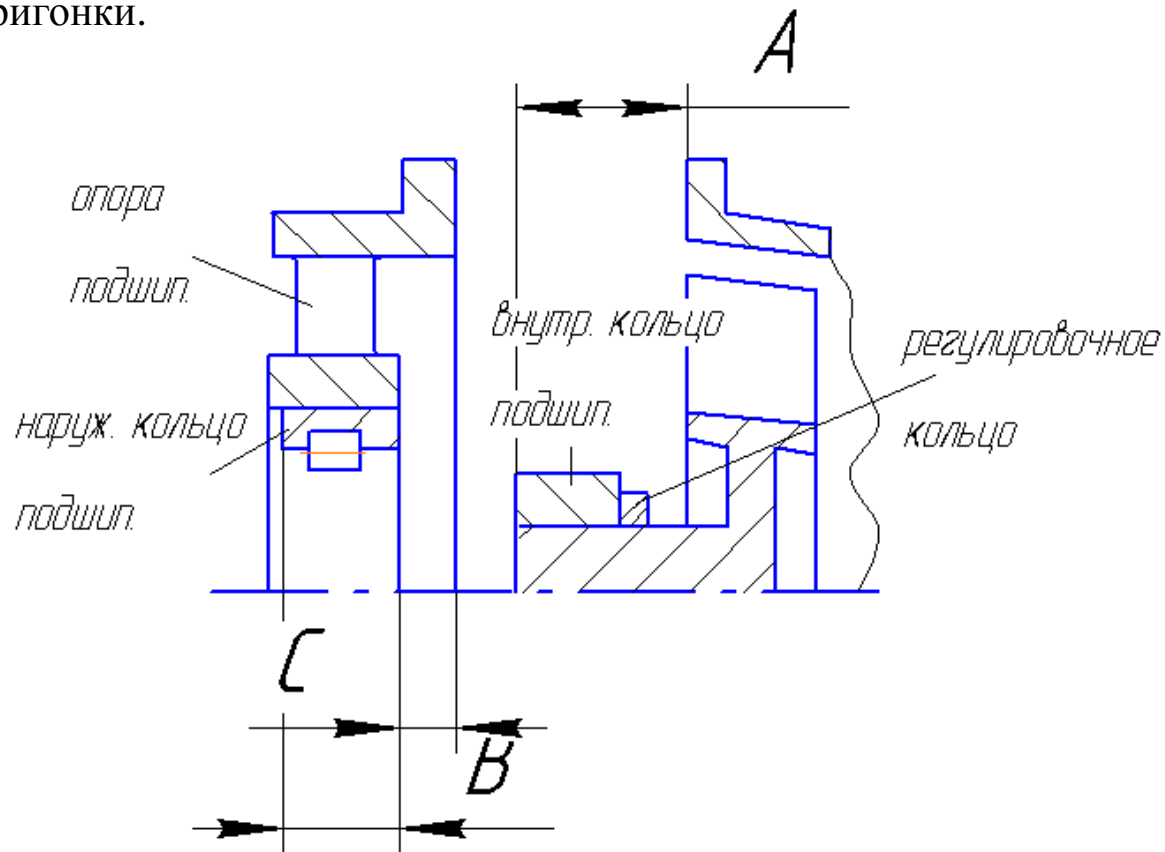
Д — контролируется путем непосредственного измерения размеров сопрягаемых деталей. Для выявления погрешности несоосности лабиринтной втулки относительно оси отверстия под подшипник, проверяется дополнительно соосность лабиринтной втулки относительно посадочной оси поверхности.





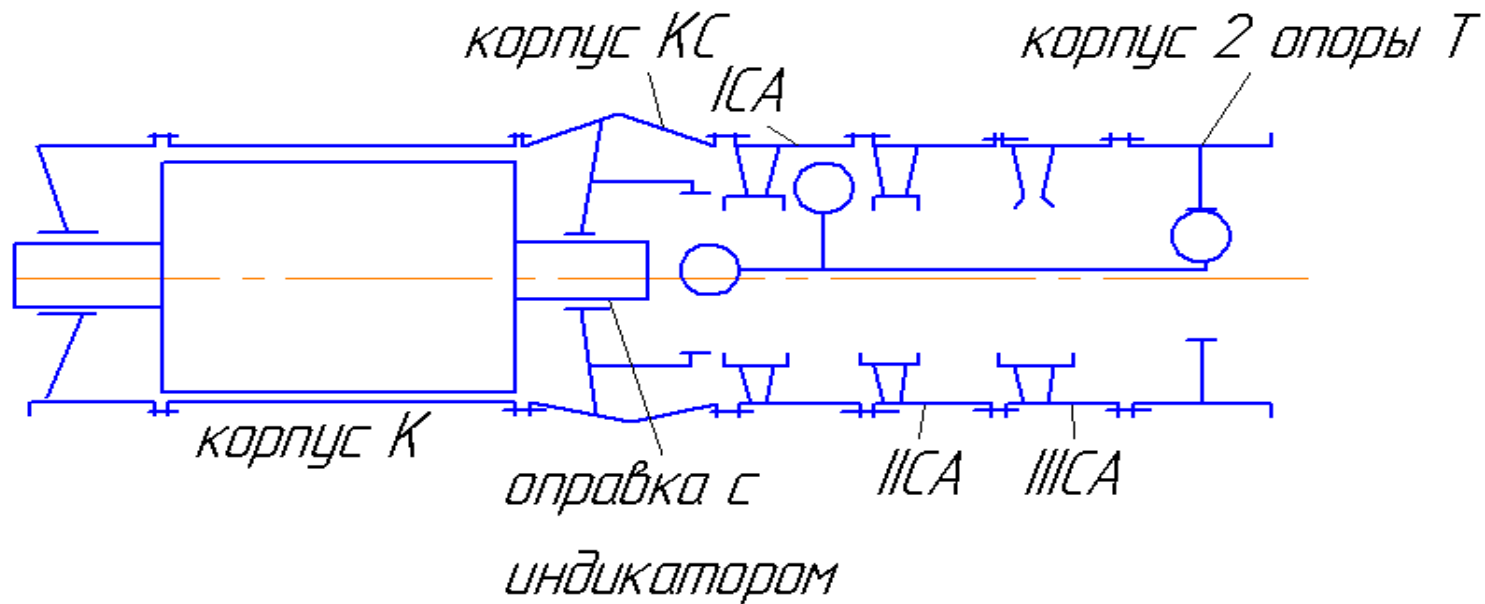
## Сборка К

3. Взаимное смещение торцов внутреннего и наружного колец роликоподшипников контролируется путем измерения линейных размеров  $L$ ,  $B$  и  $C$ . Если  $L=B+C$  - хорошо. Если  $L$  больше, меньше  $B+C$ , то изменяется размер регулировочного кольца — методом пригонки.



## Сборка К

4. На вал К устанавливается оправка с индикатором и контролируется соосность. Смещение корпуса КС относительно корпуса К добивается необходимой соосности. Затем в 8 — 12 точках фланца этих корпусов совместно обрабатываются отверстия, куда устанавливаются резонные болты.



# Сборка Т

## ТТ на сборку:

1. Обеспечить заданную точность радиального расположения уплотнительных поверхностей статора Т относительно оси вращения ротора К.
2. Обеспечить соосность подшипников 2 — ой опоры Т относительно оси вращения ротора К.
3. Если вал Т соединяется с валом К с помощью шлиц, то после затяжки болта крепление валов должно быть обеспечено взаимное осевое смещение валов по шлицам.
4. Обеспечить комплекс зазоров: А,Б,В,Г и Д (по аналогии)
5. Обеспечить заданную точность взаимного расположения внутреннего и наружного кольца роликоподшипника.
6. Обеспечить заданное усилие и равномерность усилия затяжки гаек крепления колес ротора Т.

## Способы контроля и обеспечения ТТ

### 1,2 Требования: соосность

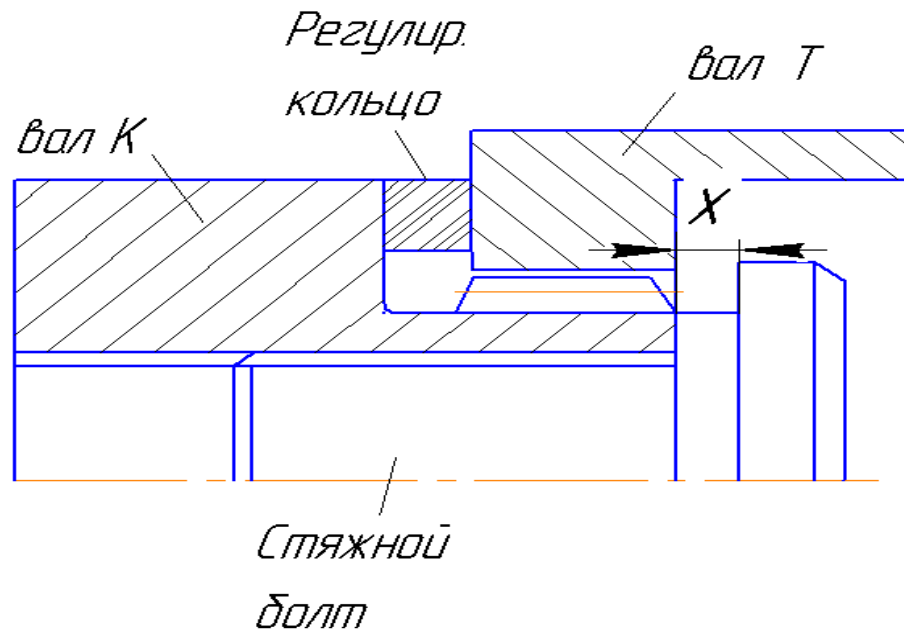
На ротор К устанавливается оправка и контролируется биение уплотнительных поверхностей I СА (0,1мм). Повышенное биение устраняют за счет смещения СА относительно фланца корпуса КС. Найденное положение фиксируется и разворачивается отверстия под призонные болты. Все остальные СА центрируются по I СА.

## Сборка Т

Процедура по установлению соосности 2-ой опоры Т аналогично предыдущей, при этом корпус опоры, в случае необходимости смещается относительно фланца последнего СА.

3 требование:

Контролируется с помощью индикатора, когда затянут стяжной болт. При этом иметь место наличие осевого перемещения (X) — 0,2-0,7мм. Это перемещение создает своеобразную муфту, которая компенсирует несоосность валов. Величина X подбирается за счет толщины регулируемого кольца.



# Сборка Т

4 требование:

$A=0,6 \ 0,2$  — контроль осуществляется щупами при последовательной сборке ступеней. Аналогично Б.

В и Г — обеспечиваются методами полной или неполной взаимозаменяемости. Контроль осуществляется с помощью серпообразных щупов.

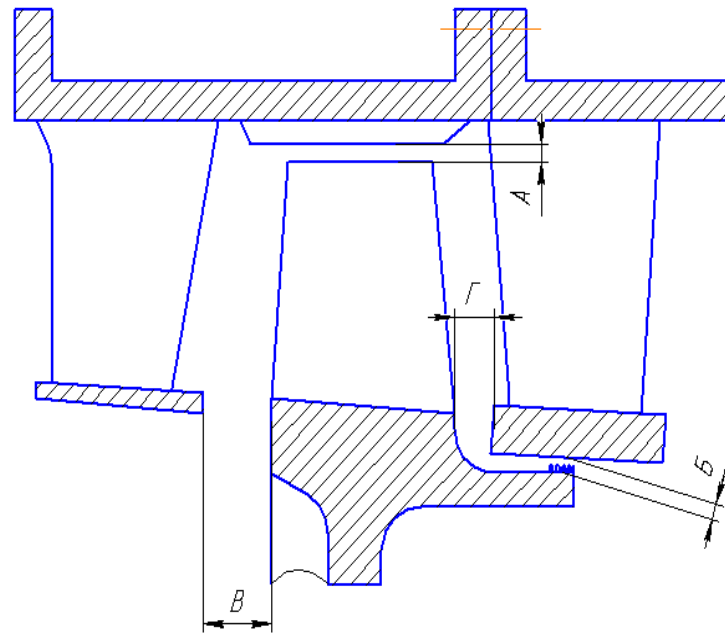
Д- определяется путем обмера сопрягаемых деталей. (аналогично К)

5 требование:

Аналогично К, контролируется путем обмена сопрягаемых деталей от общей измерительной базы.

6 требование:

Аналогично сборке ротора К.



## Последовательность сборки Т

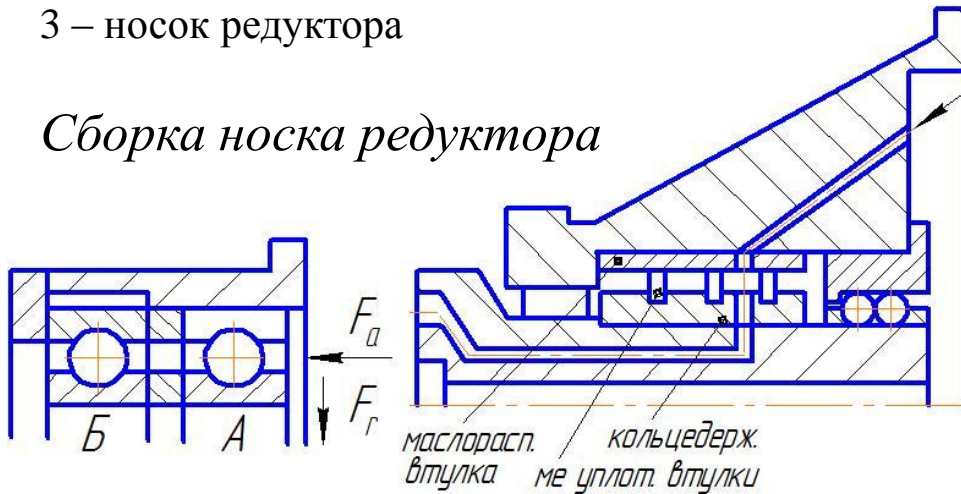
- 1) комплектовка и промывка деталей
- 2) контроль точности уплотнительных поверхностей статора
- 3) контроль соосности подшипника
- 4) установка переднего вала Т
- 5) контроль осевого перемещения вала по шлицам
- 6) последовательная установка СА и РК с замером радиальных и осевых зазоров
- 7) крепление заднего вала Т с контролем усилия затяжки шпилек
- 8) постановка корпуса задней опоры

# Сборка редуктора винтов

Редуктор включает:

- 1 – корпус редуктора с приводами
- 2 – планетарный редуктор
- 3 – носок редуктора

## Сборка носка редуктора



Осевая погрузка  $F_a = 10000$  кгс  
радиальная нагрузка  $F_r = 300$  кгс

Левый подшипник ставится с зазором ( $F_r = 0\%$ )  
правый подшипник ( $F_r = 100\%$ )  
за счет наличия зазора по посадке.  
Левый подшипник ( $F_a = 50\ldots 60\%$ ),  
правый ( $F_a = 40\ldots 50\%$ )

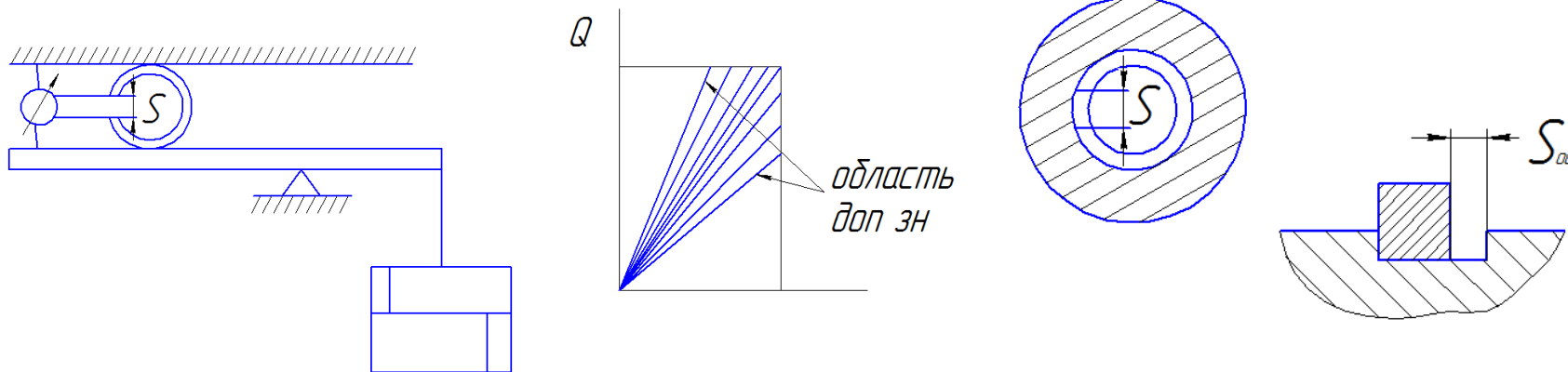
### Технические требования на сборку:

1. Обеспечить чистоту масляных каналов в корпусе носка редуктора, в вале винта и в трубопроводах. (Для надежной работы автоматического регулятора винтов)
2. Обеспечить заданную посадку в соединениях масло распределительной втулки кольцедержателя внутреннего и наружного колец шарико- и роликоподшипников.
3. Обеспечить качество работы кольцевых контактных уплотнителей.
4. Обеспечить герметичность соединений ... под избыточным давлением.
5. Обеспечить заданное распределение нагрузки между подшипниками блока.

# Способы контроля и обеспечения заданных ТТ

1. Чистота масляных каналов в корпусе носка и вале достигается за счет введения специальных операций, которая называется «Прокачка каналов горячим маслом». В этом случае каждый канал прокачивается маслом  $t = 78^{\circ}\text{C}$   $p = 0,2-0,3$  МПа в течение 3-5 мин. После прокачки производится контроль, когда все выходящее из канала масло пропускается через контр. фильтр. На фильтре не должно быть загрязнений и других частиц, если появились то повторная прокачка (до 10 раз). После каждый канал промывается с помощью бензина.
2. Посадки в соединения детали контролируется путем непосредственного измерения размеров детали. Метод достижения неполная взаимозаменяемость.
3. Посадки в соединения детали контролируется путем непосредственного измерения размеров детали. Метод достижения, неполная взаимозаменяемость.
4. Качество работы кольцевых контакт. Уплотнителей проверяется по нескольким параметрам:

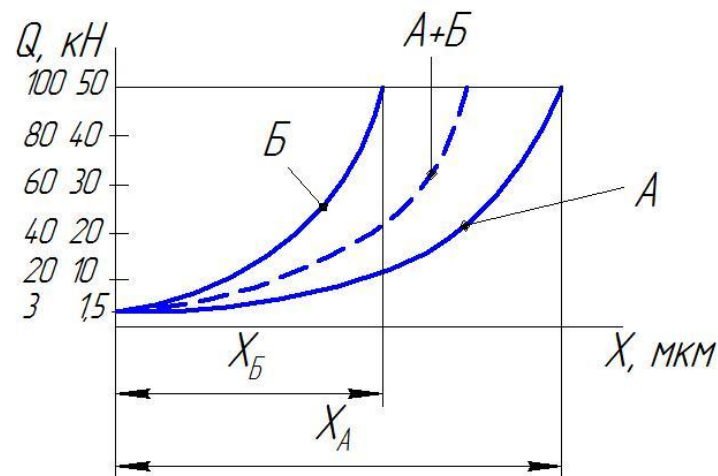
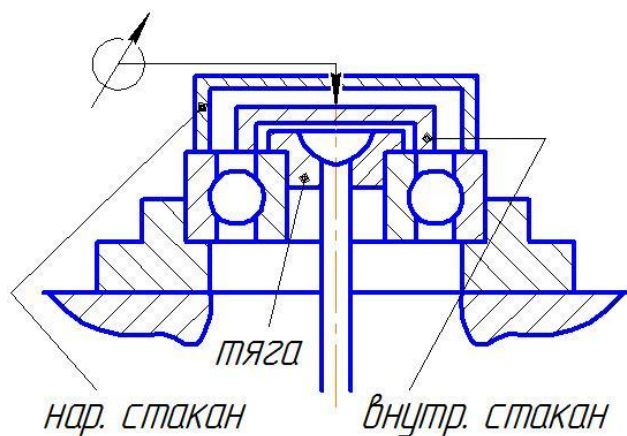
$$\Delta S = S_0 - S$$





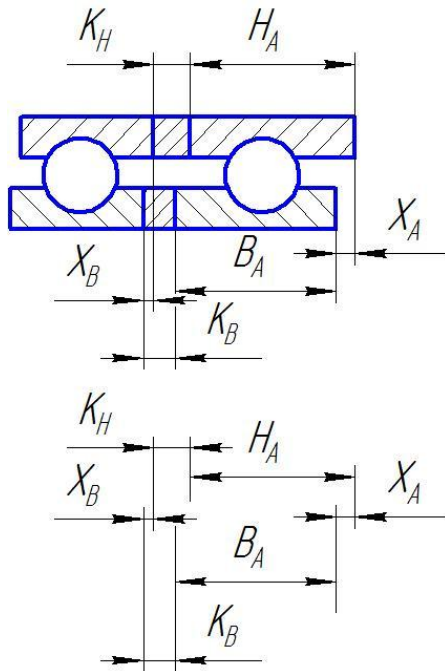
## Способы контроля и обеспечения заданных ТТ

4. Герметичность соединений трубопроводов и др. деталей проверяют методом опрессовки. Соед. давление ( $1,25 P_{раб}$ ) после определенной выдержки смотрят на отсутствие капельной течи.
5. Распределение осевой нагрузки между подшипниками блока производится за счет выполнения нескольких операций:
  - 1) определение величины упруго-осевого смещения колец подшипника под нагрузкой производится на спец. приспособлениях



## Способы контроля и обеспечения заданных ТТ

2) Определение толщины дистанционных колец между подшипниками с учетом упругих деформаций. Производится на базе расчета РЦ.



$$K_H + H_A - X_B - B_A - K_B + X_B = 0$$

$$K_B = K_H + (H_A - B_A) + (X_B - X_A)$$

$K_H$  – измеряем и вводим РЦ

$H_A, B_P$  – измеряется

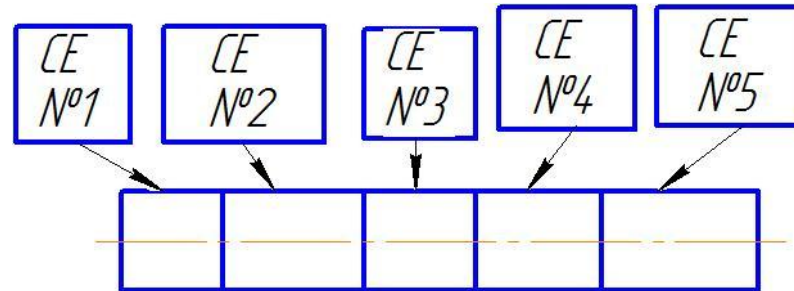
$X_A, X_B$  – из графика – находим размер  $K_B$   
и шлифуем на размер  $K$ .

3) контрольная проверка.

Собирают блок подшипников с подобранными дистанц. Кольцами и укладывают нагрузку.

Кривая должна находиться в промежутке между А и Б (красным).

## Особенности общей сборки АД



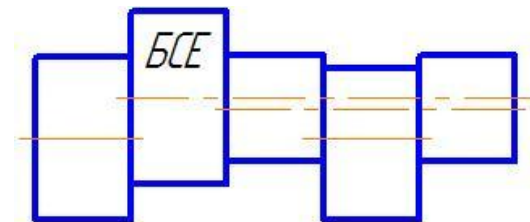
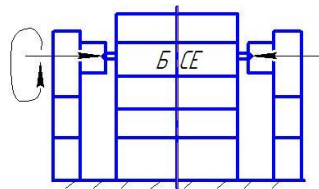
### Цель общей сборки

1. компоновке всех СЕ в единое целое.
2. затем установить агрегаты на АД.
3. установить на АД трубопроводы
4. монтаж электрооборудования.

## Особенности общей сборки АД

### ТТ на сборку:

1. Обеспечить заданную точность базирования всех основных сборочных единиц с целью достижения необходимой соосности роторов и концентричности уплотнительных поверхностей.
2. Обеспечить заданную точность усилия затяжки и равномерное усилия затяжки резьбовых соединений крепления корпусов всех сборочных единиц.
3. Обеспечить заданную точность пространственного расположения всех присоединенных элементов гидрогазовых систем относительно базовой системы координат двигателя.
4. Обеспечить отсутствие технологических напряжений в трубопроводе гидрогазовых систем при монтаже трубопроводов.
5. Обеспечить герметичность соединенных трубопроводов гидрогазовых систем.
6. Обеспечить качество монтажа электрооборудования.



### **Оп.1.** Общая компоновка всех СЕ.

! За базовую СЕ применяется такая, которая содержит фиксирующий радиально-упорный шарикоподшипник для роторов.

Различают следующие виды сборки:

1. Ось базовой СЕ (БСЕ) — горизонтальна,
2. Ось БСЕ — вертикальна.

При 1. Простота технологического оборудования и сборки.

Недостатки: под действием силы тяжести возникает большая несоосность роторов

## Особенности общей сборки АД

При 1. Простота технологического оборудования и сборки.

Недостатки: под действием силы тяжести возникает большая несоосность роторов и не concentричность уплотнительных поверхностей

При 2. Увеличивается точность базирования.

Недостатки: необходимость сборочных площадок и подъемного оборудования

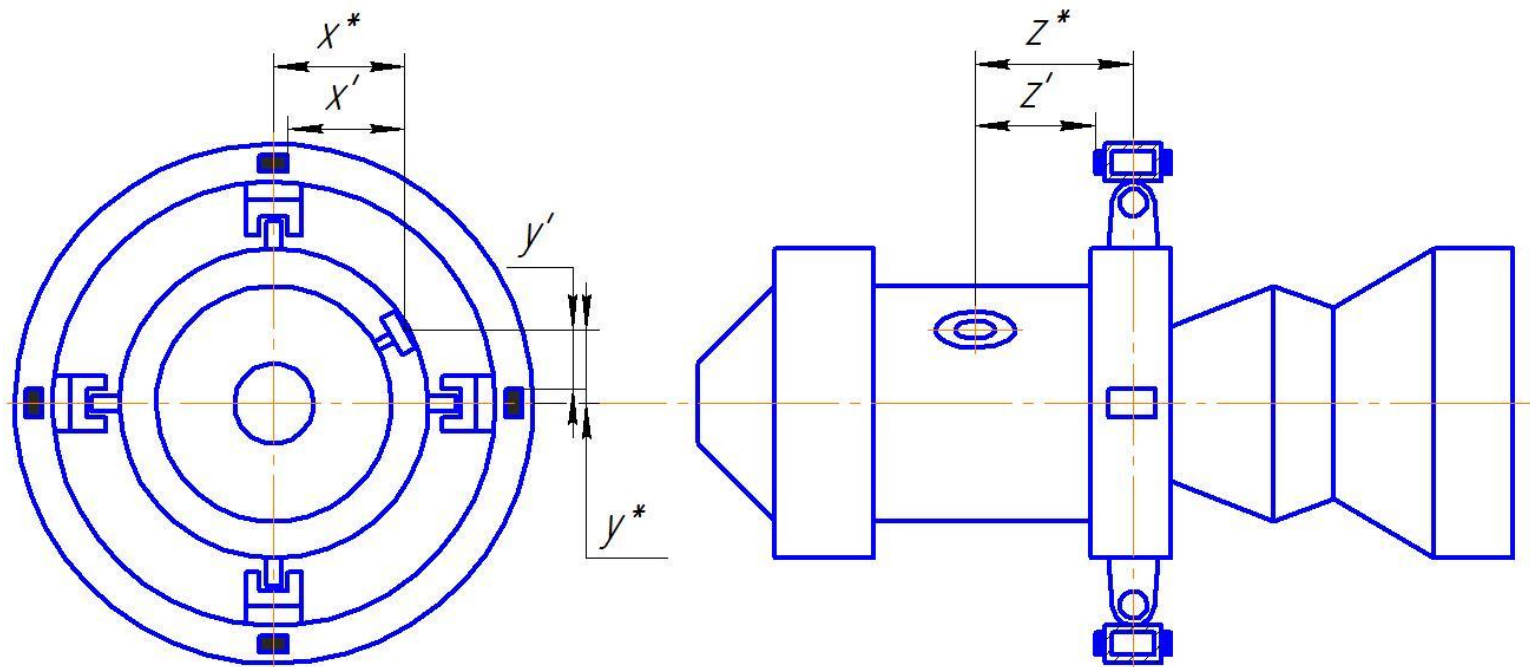
Особенность:

1. Все узлы детали подобраны индивидуально и клеймятся одним и тем же № двигателя, чтобы сохранить комплектность при всех переборках.
2. Ротора К и Т поступают на сборку отбалансированными, но для общей компоновки двигателя ротор Т разбирается и общая сборка осуществляется по частям. Необходимо провести мероприятие обеспечивающее сохранение неуравновешенности ротора.

# Особенности общей сборки АД

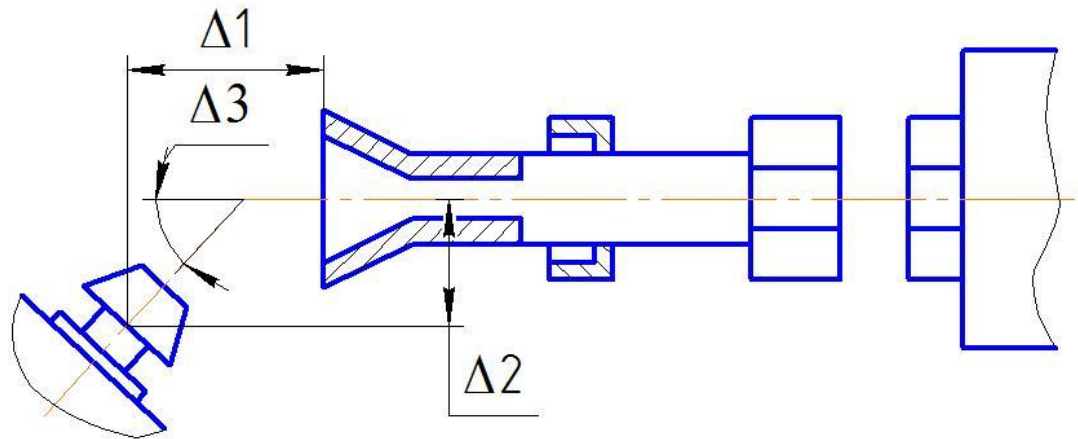
## Оп. 2. Установка агрегатов

Каждая система АД имеет свои агрегаты. Важным является контроль координатных размеров стыковочных элементов относительно координатных осей двигателя. Это обеспечивается с помощью специального технологического кольца, который является имитатором подмоторной рамы самолета.



## Особенности общей сборки АД

- $\Delta_2$  – натяг  
 $\Delta_1$  – несоосность  
 $\Delta_3$  – перекос



### Оп. 3. Монтаж трубопроводов

При выходе геометрических параметров трубопровода за пределы дополнительно осуществляется:

- перекомпоновка;
- подгибка, после которой осуществляется ТО для снятия внутренних остаточных напряжений.

### Оп. 4. Контроль герметичности

Осуществляется жидкостями или газами при  $P_{конц} = 1,25 \cdot P_{раб}$ . Течь определяется по капельной течи.

### Оп. 5. Монтаж электрооборудования

собирается кабельный ствол с разъемами. Жгут крепится на двигателе с помощью контейнеров и после монтажа выписываются следующие контрольные операции:

- проверка целостности цепей
- контроль сопротивления изоляции.

## Переборка двигателя

После разборки делают промывку АД и производят осмотр состояния деталей.

- 1) визуальный осмотр (лупа, микроскоп)
- 2) микрометрический обмер ( $\varnothing$ , L, ...) и сравнивают с теми размерами перед сборкой.
- 3) контроль состояния деталей на отсутствие трещин (УЗК, рентг.к, МПК, люм-д к.)

Результаты этого контроля записываются (всех видов) в соответствующие документы которые в дальнейшем обрабатываются и выносятся решение о второй сборке двигателя. Если аварийное состояние (лопаток, дисков) – то заменяют детали и снова сборка и испытания и т.д.



# Проектирование ТП сборки

## Последовательность проектирования ТП сборки

Проектирование ТП включает в себя следующие этапы:

- 1) формирующийся принцип схемы сборки изделия
- 2) формирование маршрута ТП сборки. Применение сборочных технологических операций.
- 3) технико-эконом. расчеты, формирование участка сборочного цеха («кафедра организаций производства»).

# Последовательность проектирования ТП сборки

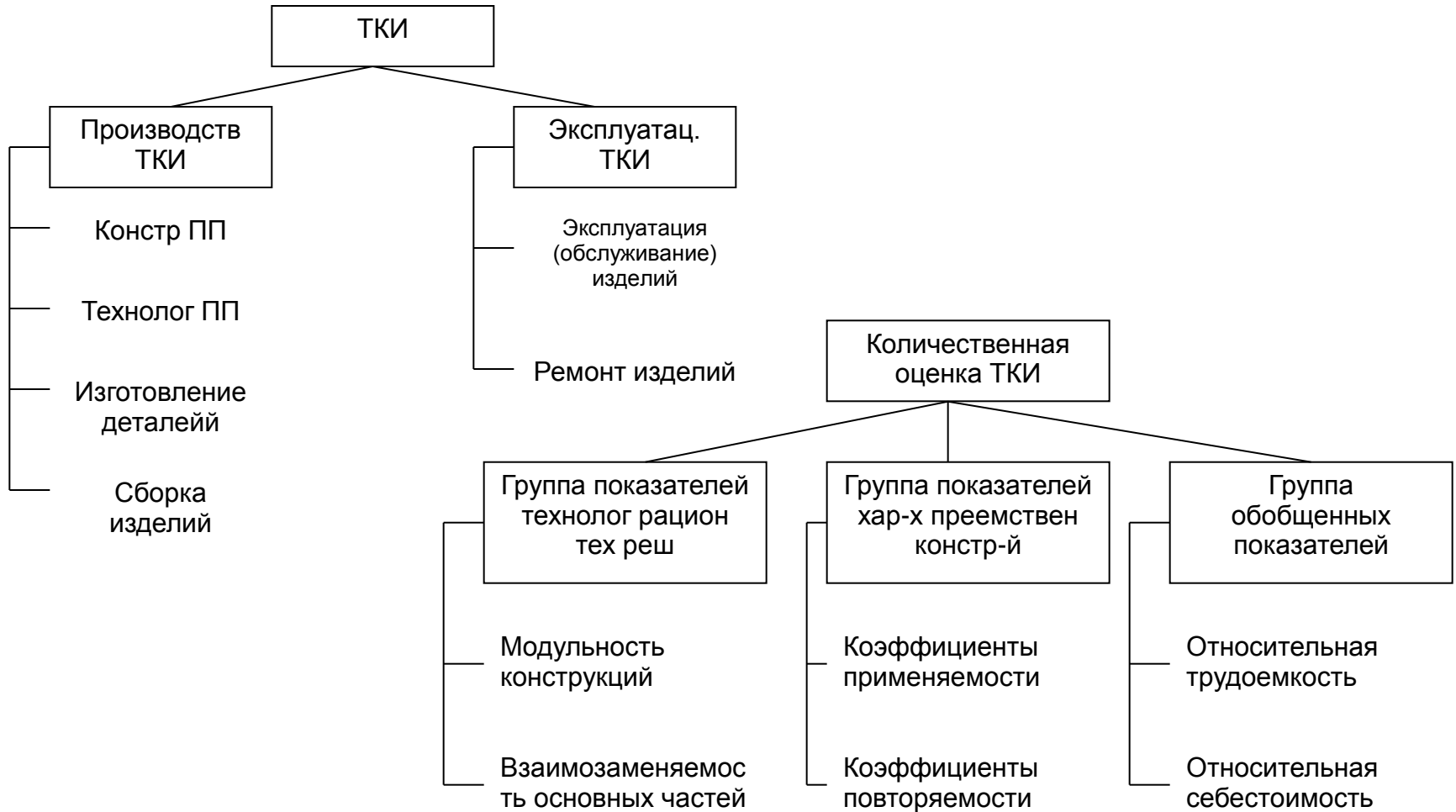
Проектирование ТП включает в себя следующие этапы:

- 1) формирование принцип схемы сборки изделия
- 2) формирование маршрута ТП сборки. Применение сборочных технологических операций.
- 3) технико-эконом. расчеты, формирование участка сборочного цеха

## **Формирование принципиальной схемы сборки изделия**

- 1) анализ конструктивно-технологических свойств (контуров изделия)
- 2) составляется возможность схемы членения изделия на составные части и выбор оптимальной.
- 3) анализ схем сопряжения, базирования и выбор оптимальной схемы базирования.
- 4) анализ элементов изделия препятствующий доступу при установки каждого элемента изделия.
- 5) формирование последовательности установки и выбор оптимального варианта
- 6) построение (окончательной) принципиальной схемы.

# Технологичность конструкции изделия в сборке (ТКИ)



## Технологичность конструкции изделия в сборке (ТКИ)

Уровень технологичности по какому-либо показателю:

$$Y_i = \frac{K_{\text{инпроектиизд}}}{K_{\text{іббазоизд.}}}$$

$$Y_{\text{мод}} = \frac{0,5}{0,4} = 1,25$$

$$Y_i \geq 1 \quad - \quad \text{конструкция считается технологичной.}$$

### Модульность конструкций.

1 – Чтобы в конструкции изделия было как можно больше технологичных СЕ

2 – В конструкции изделия было базовая составная часть на основе которой формируются все изделия.

3 – Конструкции каждой выделенной СЕ не должна требовать предварительной сборки и разборки данной СЕ.