

## **Лекция 3. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

### **Учебные вопросы:**

- 1. Допуски и посадки подшипников качения.**
- 2. Нормирование точности шпоночных и шлицевых соединений.**
- 3. Нормирование точности метрической резьбы.**
- 4. Контроль резьбовых соединений.**

# ЛИТЕРАТУРА:

## Основная

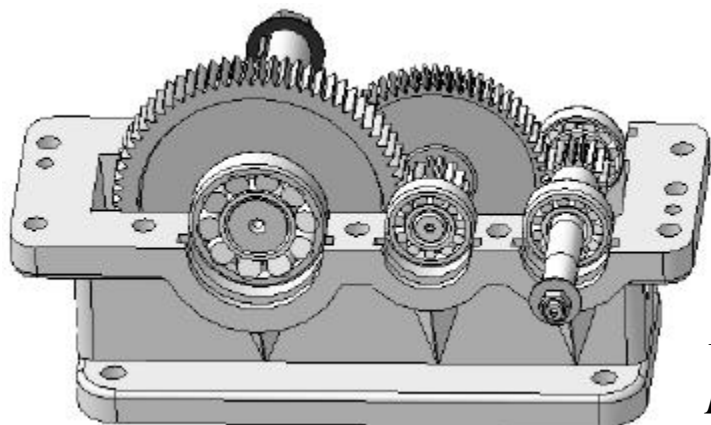
- 1. Радкевич Я.М. и др. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. Для вузов. 3-е изд. Перераб. и доп. -М.: Высш. шк., 2007.-791с: ил. С.

## Дополнительная

- 1. Лысаков. В.П. Основы взаимозаменяемости и технических измерений: Учеб. пособие. [Текст]/ В.П. Лысаков, А.В. Герасимов, А.Т. Тищенко. Брянск: Изд-во Брянского ГПУ, 1998. 130с. С.

# 1. Допуски и посадки подшипников качения

- **Подшипник качения** – это узел механизма, являющийся опорой для вращающихся валов.



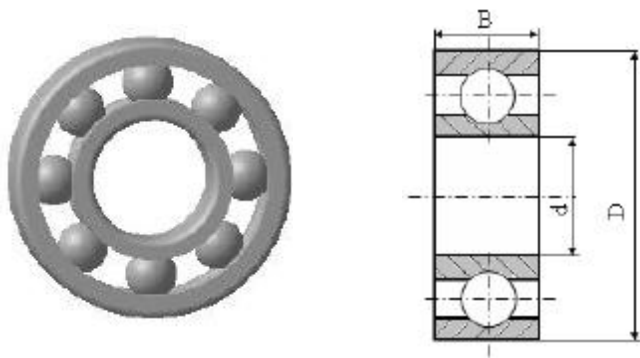
*Рис. 4.1. Валы, установленные в корпусе редуктора на подшипниках качения*



*Рис. 4.2. Роликовый двухрядный подшипник качения,  
1– наружное кольцо подшипника;  
2– внутреннее кольцо подшипника;  
3– сепаратор;  
4– тела качения (ролики)*

## Продолжение 1 вопроса

- **По направлению воспринимаемой нагрузки** подшипники разделяются на радиальные, радиально-упорные, упорные.
- **По форме тел качения** разделяют шариковые, роликовые цилиндрические, роликовые конические и др.
- **По числу рядов тел качения** разделяют однорядные, двухрядные и многорядные подшипники.



*Рис. 4.3. Шариковый однорядный подшипник качения,  
B – ширина подшипника; d –  
посадочный диаметр внутреннего  
кольца; D – посадочный диаметр  
наружного кольца*

- **Подшипник качения** – это стандартный узел, обладающий внешней взаимозаменяемостью своими присоединительными поверхностями.
- Установлено несколько классов точности подшипников (ГОСТ 520-2002) в зависимости от используемых тел качения и от направления воспринимаемой нагрузки:

## Продолжение 1 вопроса

- **Классы 0, 6, 5, 4, 2, T** – для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников.
- **Классы 0, 6, 6X, 5, 4, 2** – для роликовых конических подшипников.
- **Классы 0, 6, 4, 2** – для упорных и упорно-радиальных подшипников.
- Наиболее грубым является класс **0**, а наиболее точным – классы **2** и **T**.
- *Кольцо подшипника* имеет погрешность формы. Вследствие этого, допуск назначается и на номинальный диаметр, и на средний диаметр кольца, который определяется расчетом как среднее арифметическое наибольшего и наименьшего диаметров, измеренных в двух крайних сечениях кольца в одной радиальной плоскости перпендикулярной к оси (рис. 4.4)

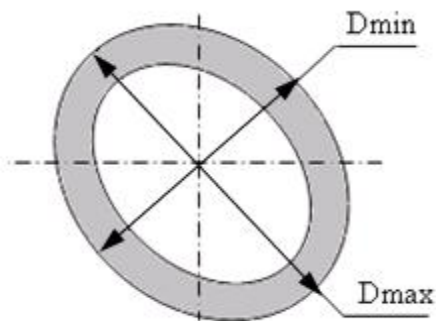


Рис. 4.4. Наружное кольцо подшипника

$$D_m = (D_{\max} + D_{\min}) / 2$$

- $D_{\max}$  – наибольший измеренный размер;
- $D_{\min}$  – наименьший измеренный размер.
- $D_m$  – средний диаметр кольца.

# Продолжение 1 Вопроса

- Некоторые поля допусков на диаметры колец подшипников качения, отверстий в корпусах и валов представлены на рис. 4.5.

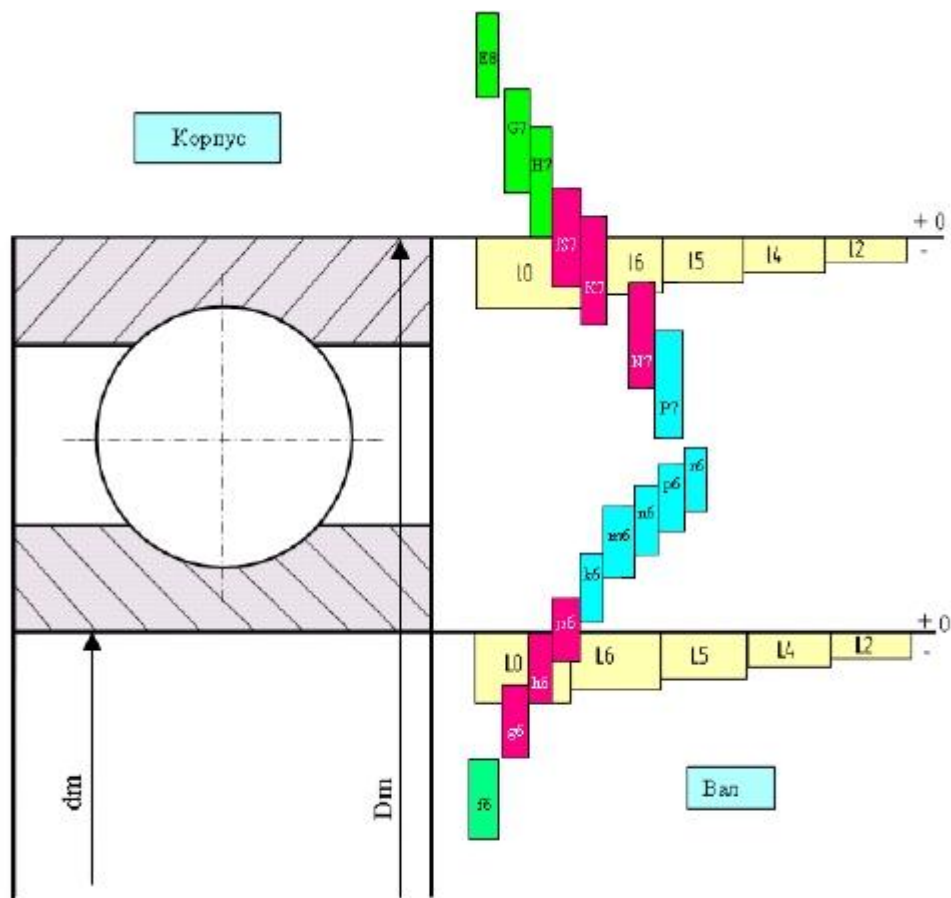


Рис. 4.5. Схема расположения полей допусков для подшипников качения (выборочно)

- Посадку соединения наружного кольца с корпусом назначают в **системе вала**, а посадку внутреннего кольца с валом – **в системе отверстия**.

# Продолжение 1 Вопроса

- Значения допусков на размеры колец подшипников *не совпадают* со значениями допусков для гладких цилиндрических соединений, из соответствующих интервалов размеров и приводятся в таблице 4.2.

Таблица 4.2. Нижние предельные отклонения размеров колец подшипников, мкм (верхние отклонения равны нулю)

Виды подшипников			Подшипники шариковые и роликовые радиальные и				Подшипники роликовые			
			шариковые радиально-упорные				конические			
Классы подшипников			4	5	6	0	4	5	6	0
Номинальные диаметры, мм	Кольца внутренние (L)	св.2,5до10	-4	-5	-7	-8	-	-	-	-
		св.10до18	-4	-5	-7	-8	-5	-7	-7	-8
		св.18до30	-5	-6	-8	-10	-6	-8	-8	-10
		св.30до50	-6	-8	-10	-12	-7	-10	-10	-12
		св.50до80	-7	-9	-12	-15	-8	-12	-12	-15
		св.80до120	-8	-10	-15	-20	-10	-15	-15	-20
		св.120до180	-10	-13	-18	-25	-13	-18	-18	-25
		св.180до250	-12	-15	-22	-30	-15	-22	-22	-30
		св.250до315	-	-18	-25	-35	-	-25	-25	-35
		св.315до400	-	-23	-30	-40	-	-30	-30	-40
	св.400до500	-	-	-35	-45	-	-	-	-	
	Кольца	св.6до18	-4	-5	-7	-8	-	-	-	-
		св.18до30	-5	-6	-8	-9	-6	-8	-8	-9
		св.30до50	-6	-7	-9	-11	-9	-9	-9	-11
		св.50до80	-7	-9	-11	-13	-9	-11	-11	-13
		св.80до120	-8	-10	-13	-15	-10	-13	-13	-15
		св.120до150	-9	-11	-15	-18	-11	-15	-15	-18
		св.150до180	-10	-13	-18	-25	-13	-18	-18	-25
		св.180до250	-11	-15	-20	-30	-15	-20	-20	-30
св.250до315		-13	-18	-25	-35	-18	-25	-25	-35	
св.315до400	-15	-20	-28	-40	-20	-28	-28	-40		

## Продолжение 1 вопроса

- К посадочным поверхностям под подшипники качения предъявляют повышенные требования к *точности формы и качеству поверхности*. Отклонения формы поверхностей корпусов и валов не должны превышать для подшипников **0 и 6 классов** значений, равных **IT/4**, а для подшипников **5 и 4 классов** – **IT/8**.

Таблица 4.1. Шероховатость по параметру Ra (мкм) для посадочных мест и опорных торцевых поверхностей

Посадочная поверхность	Класс точности подшипника	Диаметр подшипника	
		До 80 мм	св.80 до 500 мм
Вал	0	1,25	2,5
	6 и 5	0,63	1,25
	4	0,32	0,63
	2	0,16	0,32
Отверстие в корпусе	0	1,25	2,5
	6,5,4	0,63	1,25
	2	0,32	0,63
Опорные торцы заплечиков валов и корпусов	0	2,5	2,5
	6,5,4	1,25	2,5
	2	0,63	0,63



# Продолжение 1 вопроса

## Выбор посадок для колец подшипников

- 1. Нельзя устанавливать с *большим натягом* наружное и внутреннее кольца подшипников.
- 2. Кольцо подшипника, которое соединяется с вращающимся элементом конструкции (валом или корпусом) должно устанавливаться с *гарантированным натягом*.
- 3. При двухопорном вале (два подшипника на концах вала) посадка одного из не вращающихся колец должна быть с *гарантированным зазором*.
- 4. Для классов точности **0** и **6** рекомендуется для валов назначить квалитет **IT6**, а для *отверстий* – **IT7**. Для классов точности **2**, **4** и **5** для валов рекомендуется назначить квалитет **IT5**, а для *отверстий* – **IT6**.
- 5. Более точный расчет при выборе посадок должен выполняться с учетом степени и вида нагрузки каждого из колец.
- По ГОСТ 3325-85 различают следующие *виды нагружений колец подшипников*:
  - 1. Местное.
  - 2. Циркуляционное.
  - 3. Колебательное.

## Продолжение 1 вопроса

- Кольца, которые подвергаются **местному нагружению**, должны устанавливаться с гарантированным зазором или по переходной посадке при минимальном натяге.

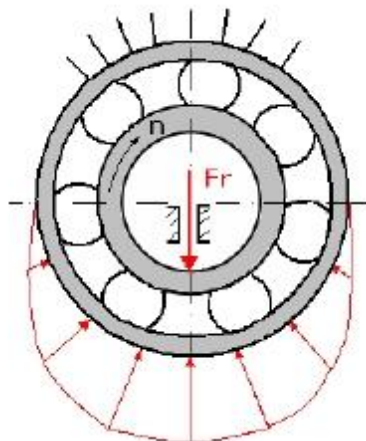


Рис. 4.6. Местное нагружение у наружного и циркуляционное у внутреннего кольца

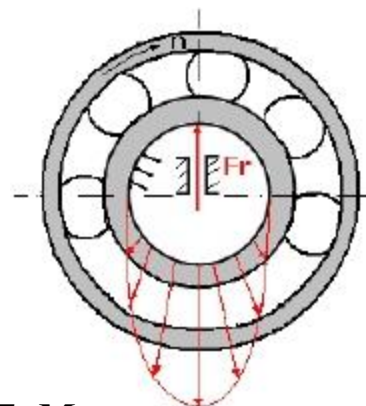


Рис. 4.7. Местное нагружение у внутреннего и циркуляционное у наружного кольца

- **При циркуляционном нагружении** кольцо должно устанавливаться по посадке с натягом.
- **При колебательном нагружении** кольцо должно устанавливаться по переходной посадке.
- Полный перечень полей допусков для образования посадок с подшипниками качения приведен в ГОСТ 3325-85 и в приложении к СТ СЭВ 773-77, в котором также рассмотрены случаи их использования.

## Продолжение 1 вопроса

- **Обозначение на сборочном чертеже посадок подшипников качения на валы и в отверстия корпусов**
- Обозначение посадок такое же, как принято в ЕСДП, т. е. в виде дроби, когда в числителе указывают поле допуска отверстия, а в знаменателе – поле допуска вала.
- Обозначения посадки подшипника на вал (в системе отверстия):
  - **Ø50 L0/js6 или Ø50 L0 – js6.**
- Обозначение посадки подшипника в отверстие корпуса (в системе вала):
  - **Ø90 H7/l0 или Ø90 H7 – l0.**

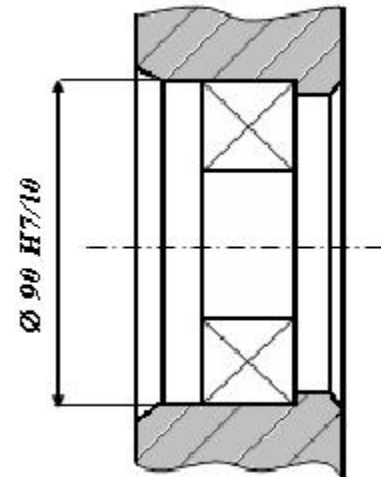
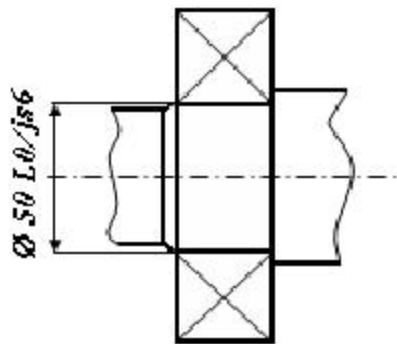


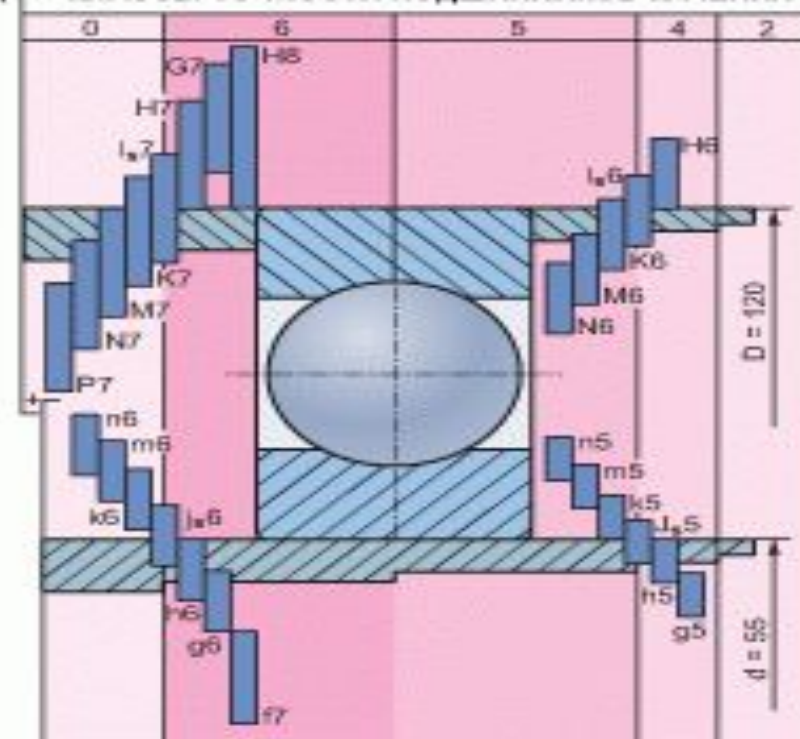
Рис. 4.8 Обозначение посадки внутреннего кольца подшипника на вал

Рис. 4.9. Обозначение посадки наружного кольца подшипника в корпус

- **Стандартом допускается не указывать поле допуска кольца подшипника.**

## ПОСАДКИ И ВИДЫ НАГРУЖЕНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА

КЛАССЫ ТОЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ



Поля допусков:

H8... – отверстий в корпусах;

h8... – посадочных поверхностей валов;

— внутренних колец подшипников;

— наружных колец подшипников

Обозначение подшипников

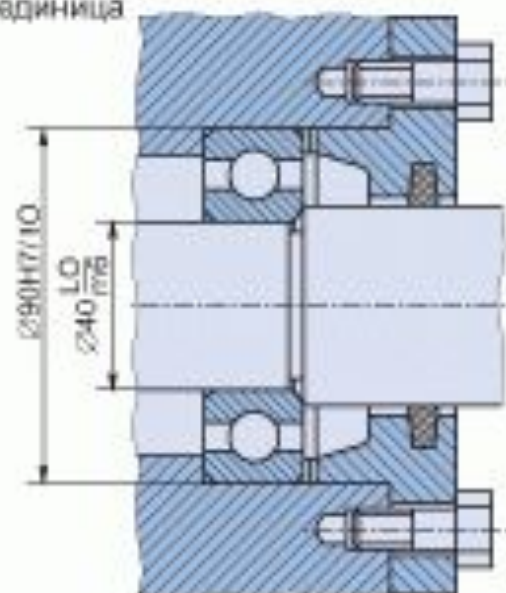


ВИДЫ НАГРУЖЕНИЯ КОЛЕЦ ПОДШИПНИКА

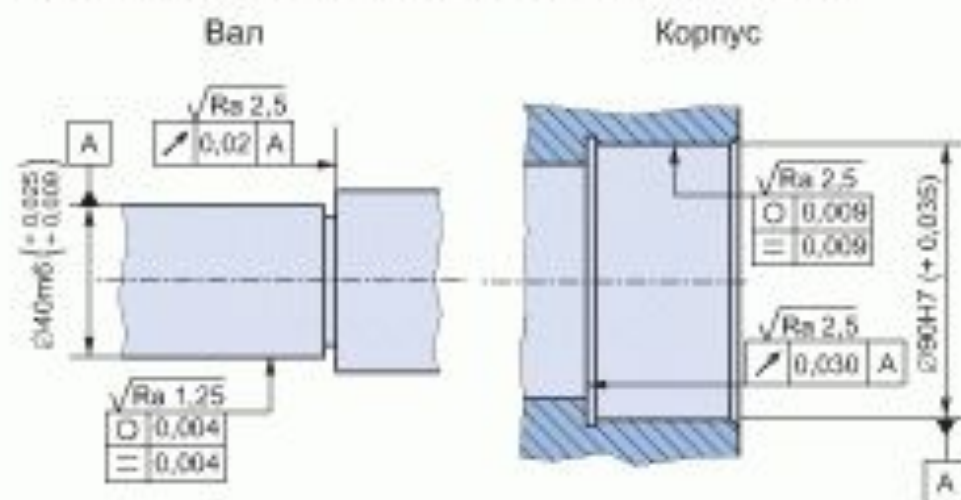


## СОЕДИНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН С ПОДШИПНИКАМИ КАЧЕНИЯ

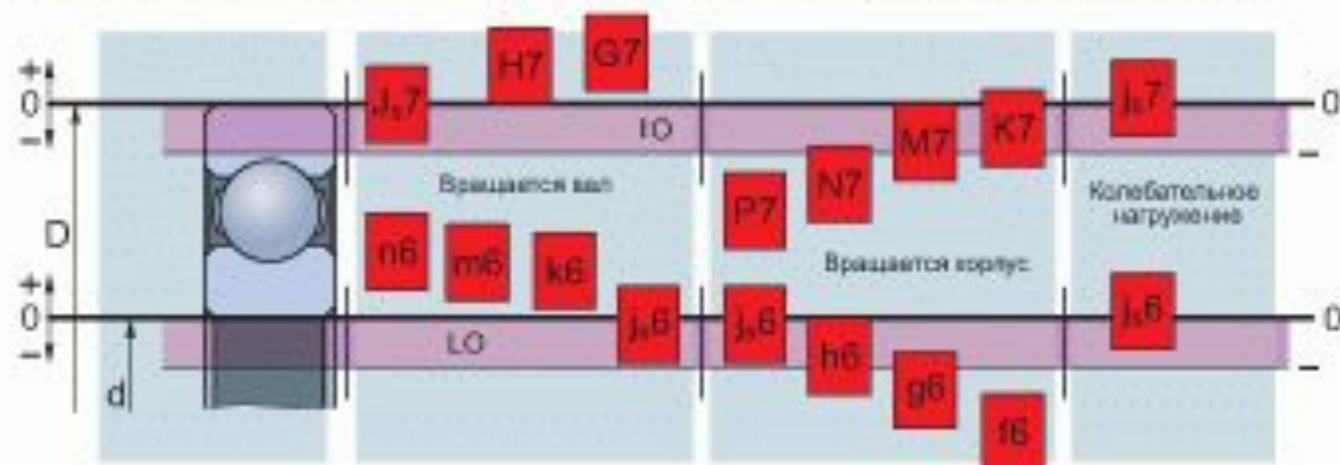
Сборочная единица



ОБОЗНАЧЕНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ВАЛАМ И КОРПУСАМ



Поля допусков валов и отверстий для соединения с подшипниками качения





## 2. Нормирование точности шпоночных и шлицевых соединений

### Шпоночные соединения

- **Шпоночным соединением** называют соединение вала с установленной на нем втулкой посредством шпонки, т. е. детали, представляющей собой призматический, клинообразный или сегментный брусок.
- Различают соединения с *призматическими, сегментными и клиновыми шпонками* (рис. 4.12, 4.14, 4.15).

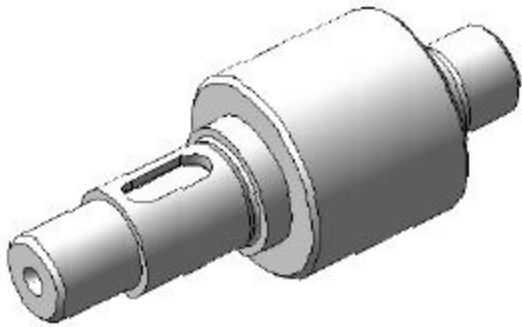


Рис. 4.10. Вал со шпоночным пазом



Рис. 4.11. Шестерня со шпоночным пазом

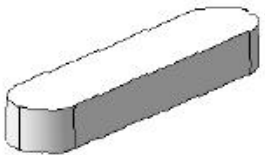


Рис. 4.12. Шпонка призматическая

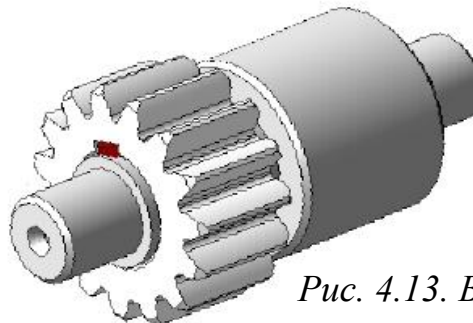


Рис. 4.13. Вал и шестерня, соединенные шпонкой

## Продолжение 2 вопроса

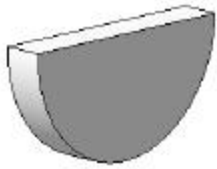


Рис. 4.14. Шпонка  
сегментная

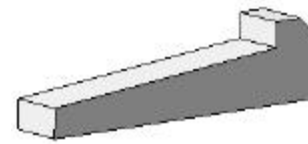


Рис. 4.15. Шпонка  
клиновья

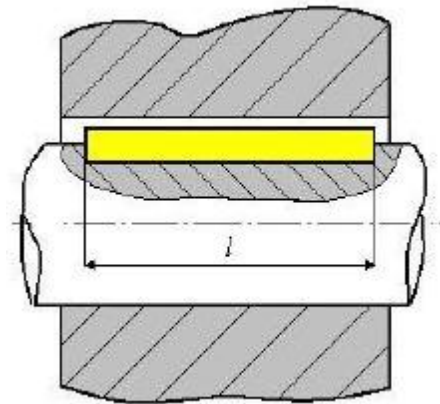
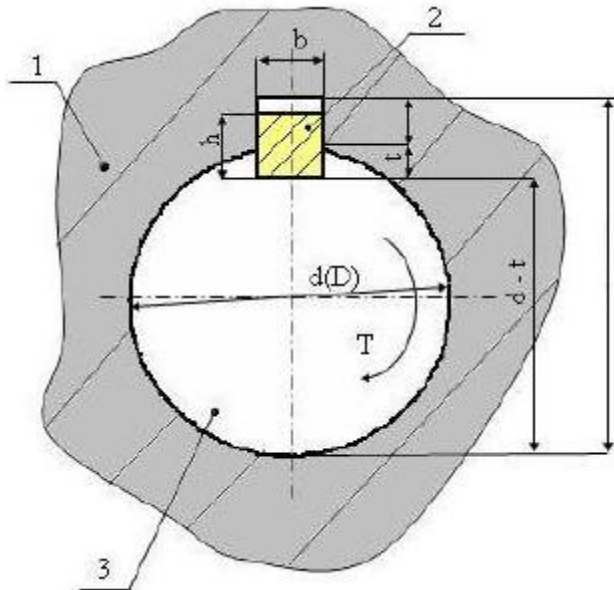


Рис. 4.16. Соединение призматической шпонкой,  
1– втулка; 2– шпонка; 3– вал;  $t$  – глубина шпоночного паза на валу;  $t_1$  – глубина шпоночного паза во втулке;  $l$  – длина шпонки;  $T$  – крутящий момент;  $d$  – диаметр вала;  $D$  – диаметр отверстия втулки

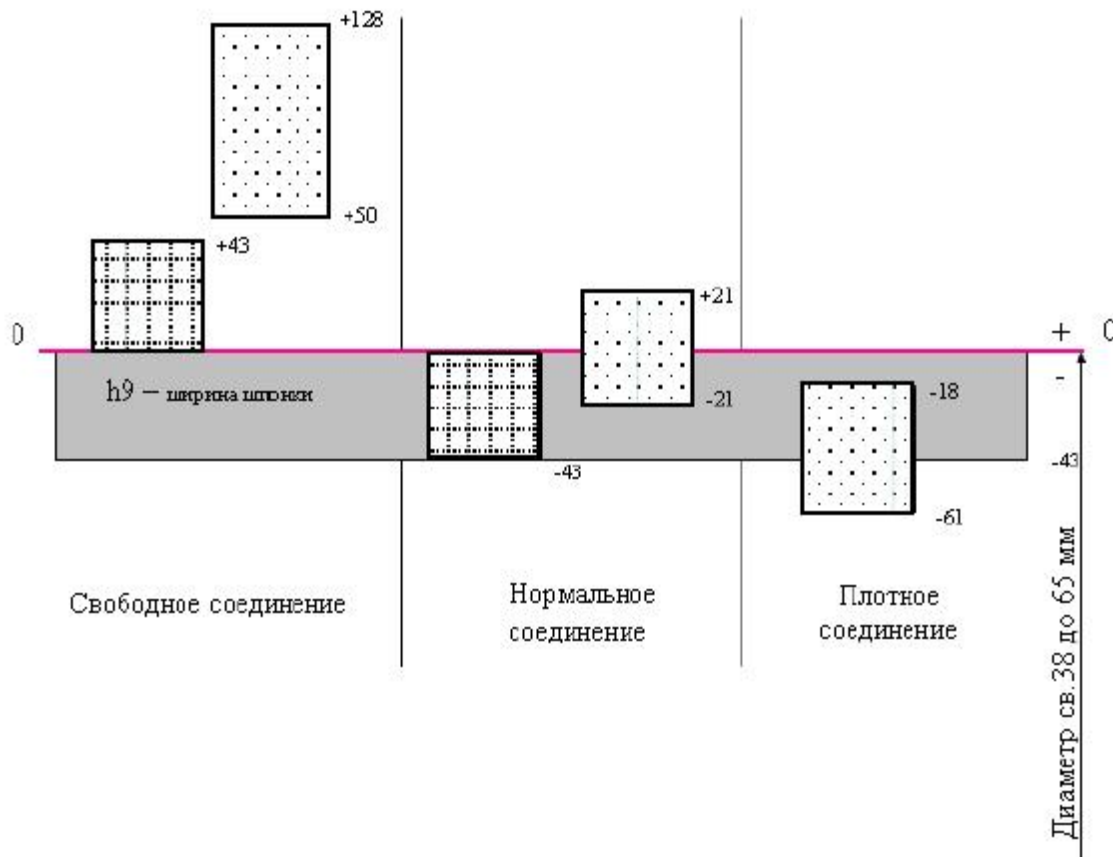
- Условное обозначение шпонки:  **$b \times h \times l$** ;
- **$b$**  – ширина шпонки;  **$h$**  – высота шпонки;  **$l$**  – длина шпонки.
- **Например:** 18x11x100 ГОСТ 23360-78.

## Продолжение 2 вопроса

- **Нормирование точности шпонок** производится в зависимости от их габаритных размеров. Для ширины шпонки ( $b$ ) нормируется одно поле допуска  $h9$ . Для высоты ( $h$ ) – обычно поле допуска  $h11$  и  $h9$  (для шпонок высотой 2...6мм поле допуска  $h9$ ) и для длины ( $l$ ) – поле допуска  $h14$ .
- **Нормирование точности шпоночных пазов** на валу и во втулке задаются в зависимости от вида сопряжений, которые разделяются на три группы с различными требованиями к точности ширины пазов:
  - 1. Свободное.
  - 2. Нормальное.
  - 3. Плотное.
- **Свободное соединение** – это соединение с гарантированным зазором.
- **Нормальное соединение** – это соединение с переходной посадкой с большей вероятностью получения зазора.
- **Плотное соединение** – это соединение с переходной посадкой и с приблизительно равной вероятностью зазоров и натягов.



## Продолжение 2 вопроса

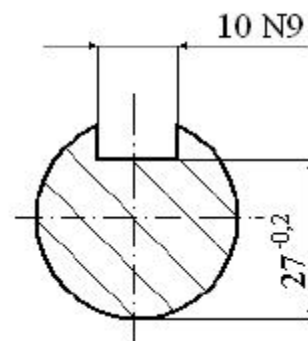
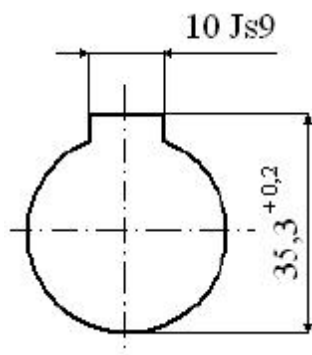


*Рис. 4.17. Поля допусков соединения призматическими шпонками для валов от 38 до 65мм и сечения шпонки ( $h \times b$ ): 12x8; 14x9; 16x10; 18x11*

- Требования к точности *глубины пазов* установлены в пределах от  $-0,1$  до  $-0,3$ мм на валу и от  $+0,1$  до  $+0,3$ мм во втулке, в зависимости от номинального размера. На длину паза установлено одно поле допуска **H15**.
- Сопряжение шпонок с валом и втулкой производится в *системе вала*, т. е. дается одно поле допуска для ширины шпонки (вала) (h9) и пять полей допусков для ширины паза у втулок и валов (см. рис. 4.17).

## Продолжение 2 вопроса

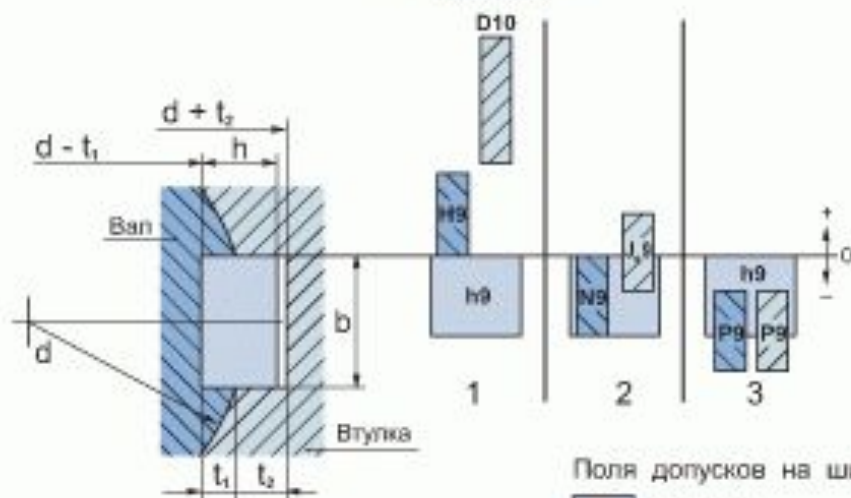
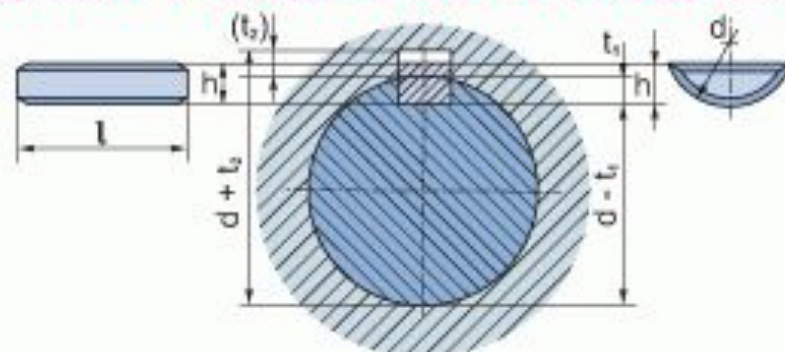
- На чертеже точность изготовления шпоночных пазов на валу и во втулке нормируют так, как показано на рис. 4.18, 4.19



**Рис. 4.18. Нормирование точности шпоночного паза во втулке**

**Рис. 4.19. Нормирование точности шпоночного паза на валу**

## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

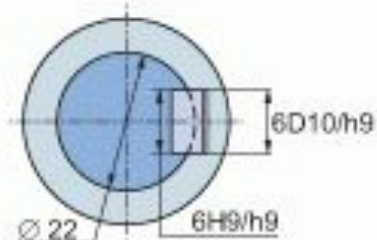


Поля допусков на ширину



Виды соединений

- 1 – свободное;
- 2 – нормальное;
- 3 – плотное



## КАЛИБРЫ ДЛЯ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Калибры для контроля  
втулок с пазами



Комплексный  
проходной  
калибр-пробка

Калибры для контроля  
валов с пазами



Комплексный  
проходной  
калибр-призма

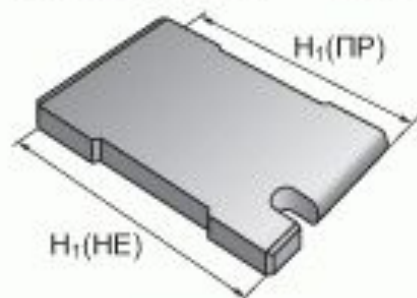
Позлементные калибры-пробки



Калибр-пробка  
для ширины паза втулки

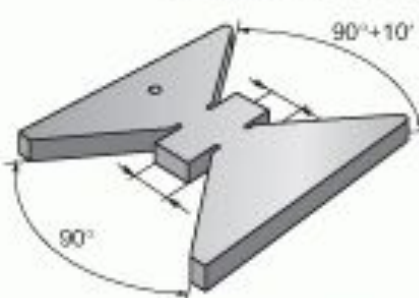


Калибр-пробка  
для ширины паза вала



$H_1(HE)$

Калибр-пробка  
для глубины паза втулки



$90^\circ$

Калибр-пробка  
для глубины паза вала

## Шлицевые соединения

- Шлицевым соединением (Ш.С.) называется разъемное соединение вала с втулкой, когда на валу имеются зубья (выступы), а во втулке – соответствующие впадины (шлицы) (рис. 4.20, 4.21, 4.22).

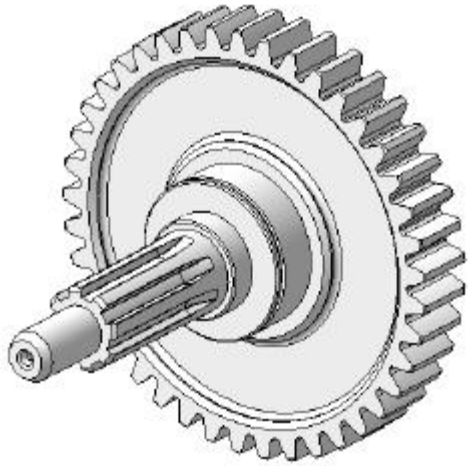


Рис. 4.20. Вал шестерня со шлицами

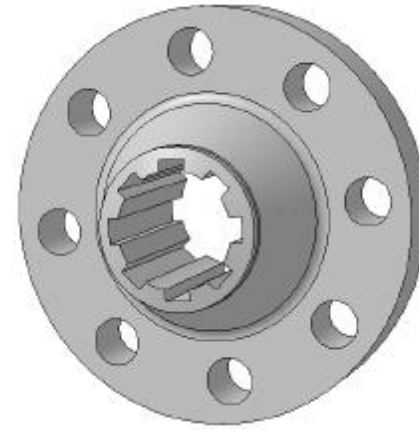


Рис. 4.21. Втулка со шлицами

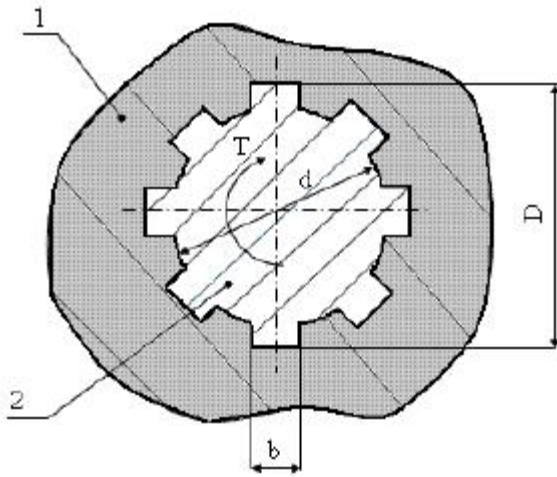


Рис. 4.22. Шлицевое соединение,  
 $1$  – втулка;  $2$  – вал;  $D$  – наружный диаметр;  
 $d$  – внутренний диаметр;  $b$  – ширина шлицев;  
 $T$  – крутящий момент

## Продолжение 2 вопроса

- **Основное назначение Ш.С.** – это передача крутящего момента. Охватывающую поверхность внутреннего цилиндра обычно в этих соединениях называют *втулкой*.
- Различают *прямобоочные, эвольвентные и треугольные* шлицевые соединения.
- При выборе размеров шлицевых соединений (ГОСТ 1139-80), выделяют *легкие, средние и тяжелые* серии, которые отличаются, в основном, разными сочетаниями чисел зубьев (шлицев –  $z$ ), размерами внутреннего ( $d$ ) и наружного ( $D$ ) диаметров и шириной ( $b$ ) зуба (паза).

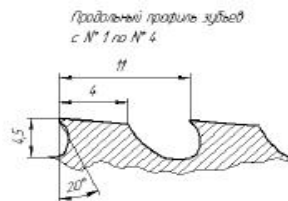
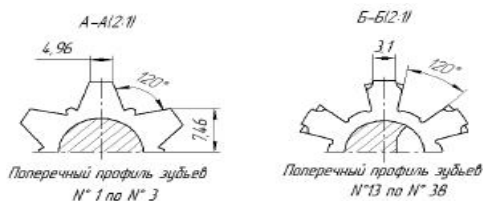
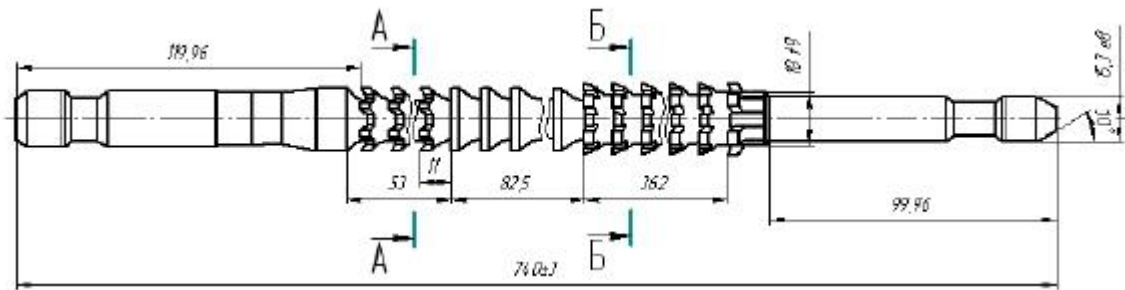
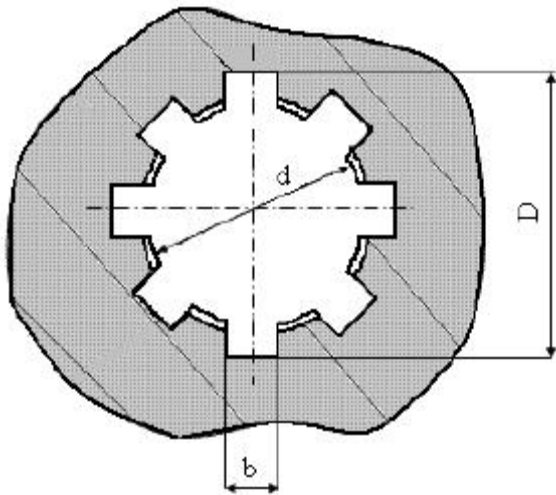


Рис. 4.23. Шлицевая протяжка



## Продолжение 2 вопроса

- *Особенностью Ш.С. является то, что посадка деталей осуществляется одновременно по трем поверхностям: по наружной поверхности, по внутренней и по боковым сторонам шлицев.*
- *Центрирование при образовании шлицевого соединения обеспечивается совмещением осей вала и втулки. Различают три вида центрирования: по наружному диаметру ( $D$ ), по внутреннему диаметру ( $d$ ), по боковым сторонам шлицев ( $b$ ).*
- **Центрирование по ( $D$ )** используется для подвижных и неподвижных соединений, при передаче небольших крутящих моментов и в других соединениях, подвергаемых малому износу. Этот способ центрирования наиболее простой и экономичный (рис.4.24).



с. 4.24. *Центрирование по наружному диаметру*

## Продолжение 2 вопроса

- *Подвижное соединение:* наружный диаметр втулки (D) – **H7**; наружный диаметр вала (D) – **f7, g6, h7**; ширина шлицев втулок (b) – **D9, F8, F10**; ширина шлицев на валу (b) – **d9, h9, f7, f8**.
- **Пример:** H7/f7; H7/g6; H8/h7 для **D** и D9/d9; F8/f8; F10/h9 для **b**.
- *Неподвижное соединение:* наружный диаметр втулки (D) – **H7**; наружный диаметр вала (D) – **js6**; ширина шлицев втулок (b) – **F8**; ширина шлицев на валу (b) – **js7**.
- **Пример:** H7/js6 для **D** и F8/js7 для **b**.
- **Центрирование по (d)** используется для получения высокой точности совмещения осей вала и втулки. Этот способ центрирования дорогой, но наиболее точный (рис.4.25).

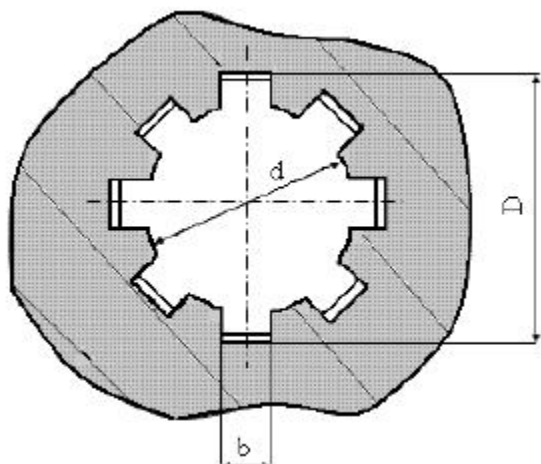


Рис. 4.25. Центрирование по внутреннему диаметру



## Продолжение 2 вопроса

- *Подвижное соединение:* внутренний диаметр (d) втулки – **H8, H7**; внутренний диаметр (d) вала – **e8, f7, g6, h7**. Ширина шлицев втулок (b) – **D9, F10**;
- ширина шлицев на валу (b) – **d9, f9**.
- **Пример:** H8/e8; H7/g6; H7/f7 для **d** и D9/d9; D9/f9; F10/f9 для **b**.
- *Неподвижное соединение:* внутренний диаметр (d) втулки – **H8, H7**; внутренний диаметр (d) вала – **h7, js7, n6**; ширина шлицев втулок (b) – **H8, F10**; ширина шлицев на валу (b) – **h8, h9**.
- **Пример:** H7/h7; H7/js7; H7/n7 для **d** и H8/h8; F10/h9 для **b**.
- **Центрирование по (b)** используется, когда необходимо передать большие крутящие моменты, особенно при знакопеременной нагрузке, тем более с реверсированием. Применяется значительно реже.

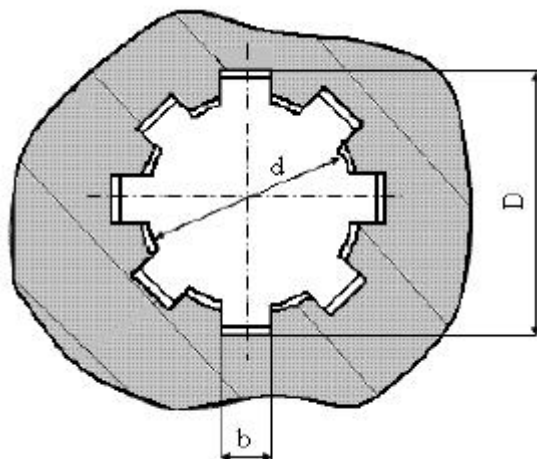


Рис. 4.26. Центрирование по боковым сторонам шлицев

## Продолжение 2 вопроса

- *Подвижное соединение*: ширина шлицев втулок ( $b$ ) – **D9, F10**; ширина шлицев на валу ( $b$ ) – **d9, e8, f8**.
- **Пример**: D9/e8; D9/f8; F10/d9 для **b**.
- *Неподвижное соединение*: ширина шлицев втулок ( $b$ ) – **F8**; ширина шлицев на валу ( $b$ ) – **js7**. **Пример**: F8/js7 для **b**.
- **Поля допусков на размеры не центрирующих поверхностей:**
- 
- *При центрировании по наружному диаметру ( $D$ ) или по боковым сторонам шлицев ( $b$ )*: внутренний диаметр ( $d$ ) втулки – **H11** (подвижное и неподвижное соединение). Внутренний диаметр ( $d$ ) вала не нормируется
- *При центрировании по внутреннему диаметру ( $d$ ) или по боковым сторонам шлицев ( $b$ )*: наружный диаметр вала ( $D$ ) – **a11, f9, h10** (подвижное и неподвижное соединение). Наружный диаметр втулки ( $D$ ) – **H11, H12** (подвижное и неподвижное соединение).
- **Пример**: **H12/a11** для **D** при центрировании по **d** или **b**.

## Продолжение 2 вопроса

### • Условное обозначение прямобочных шлицевых соединений валов и втулок

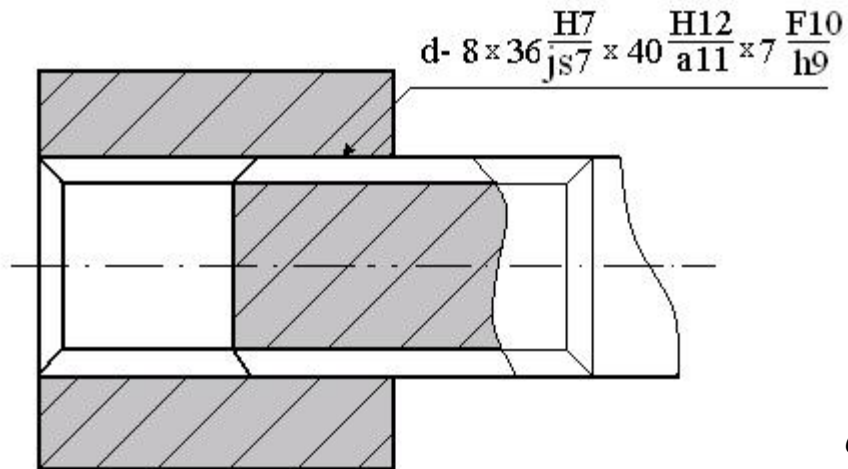
- При условном обозначении прямобочного шлицевого соединения на первом месте указывается центрирующая поверхность, затем число шлицев, после этого внутренний диаметр соединения и посадка по этому диаметру, затем наружный диаметр и посадка по этому диаметру и в последнюю очередь указывается ширина шлицев и посадка шлицев вала в соответствующие пазы втулки.
  - Центрирование по внутреннему диаметру (d):

$$d - 8 \times 36 \frac{H7}{js7} \times 40 \times 7 \frac{F10}{h9}$$

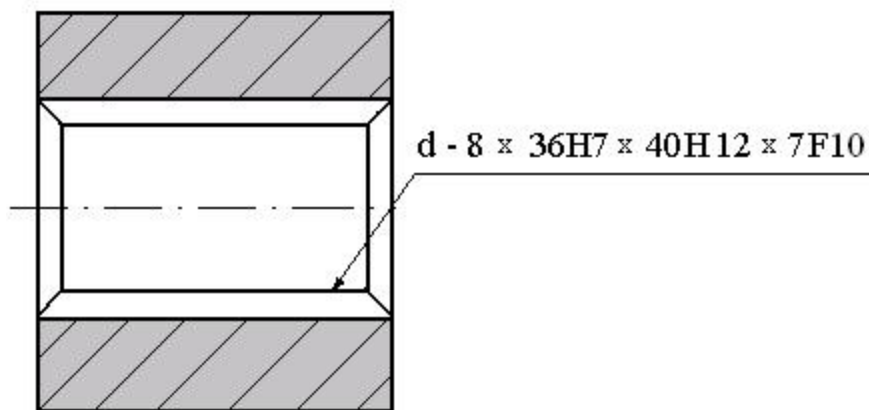
- Это обозначение указывает, что Ш.С. образовано при центрировании по внутреннему диаметру (d), имеет число зубьев **z=8**, значение внутреннего диаметра **d=36мм** и посадка по внутреннему диаметру **H7/js7**, значение наружного диаметра **D=40мм** и посадка по этому диаметру **H12/a11**, значение ширины шлицев **b=7мм** и посадка по шлицам **F10/h9**.
- Допускается *сокращенное обозначение*, при котором посадка на нецентрирующую поверхность может не указываться. При этом посадка по ширине шлицев указывается всегда.

## Продолжение 2 вопроса

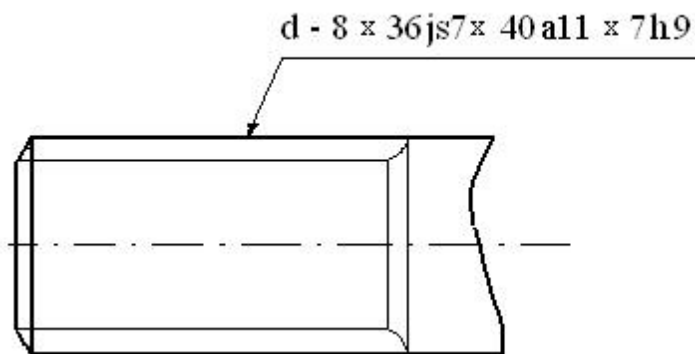
- На рис. 4.27, 4.28, 4.29 приводятся примеры обозначения шлицевых соединений и их элементов на чертежах.



*Рис. 4.27. Условное обозначение прямоугольного шлицевого соединения на сборочном чертеже*



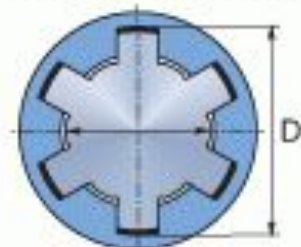
*Рис. 4.28. Условное обозначение шлицев во втулке*



*Рис. 4.29. Условное обозначение шлицев на валу*

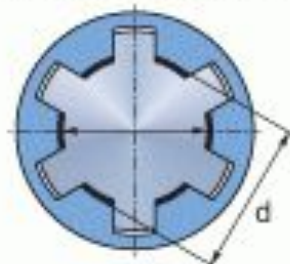
## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПРЯМОБОЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Вид центрирования: по D



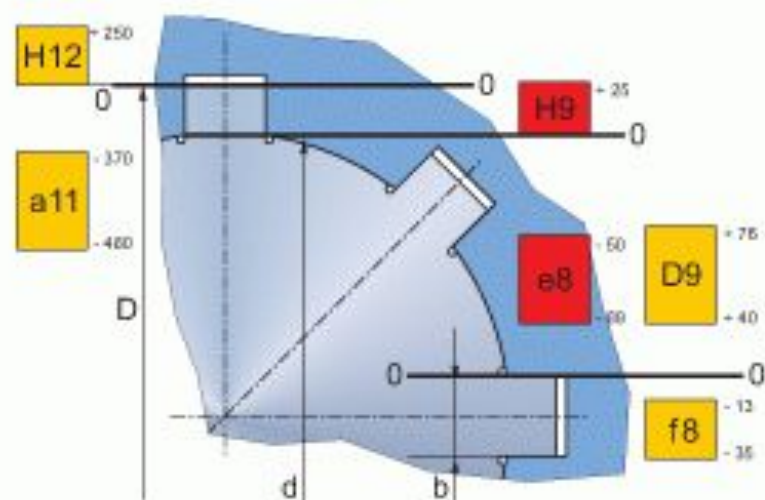
$D - 8 \times 36 \times 40 H7/h7 \times 7 D9/f8$

Вид центрирования: по d



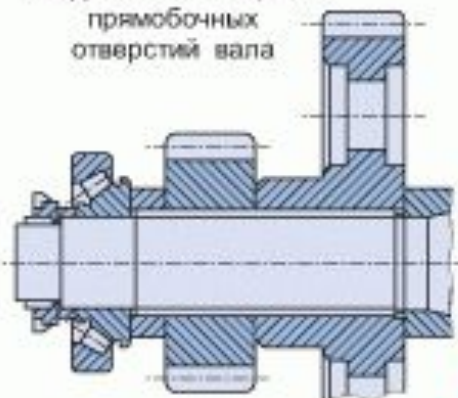
$d - 8 \times 36 H8/e8 \times 40 H12/a11 \times 7 D9/f8$

Поля допусков элементов деталей и обозначение допусков:  
при центрировании по d

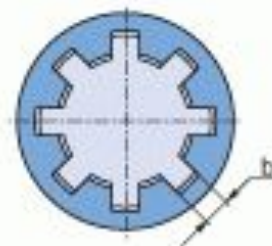


## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПРЯМОБОЧНЫХ ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Соединения шлицевых  
прямобоочных  
отверстий вала

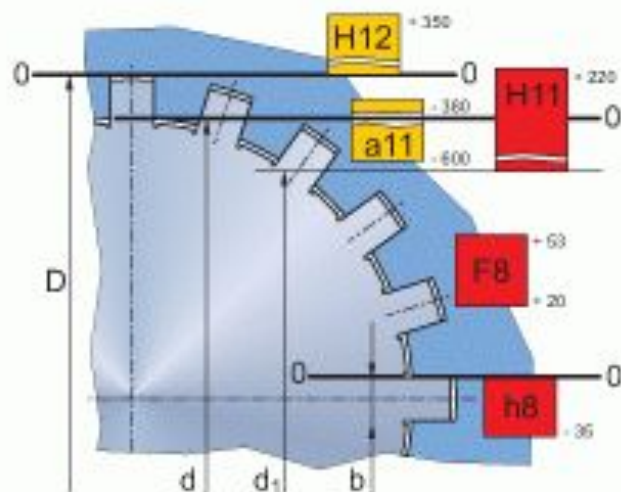


Вид центрирования: по **b**



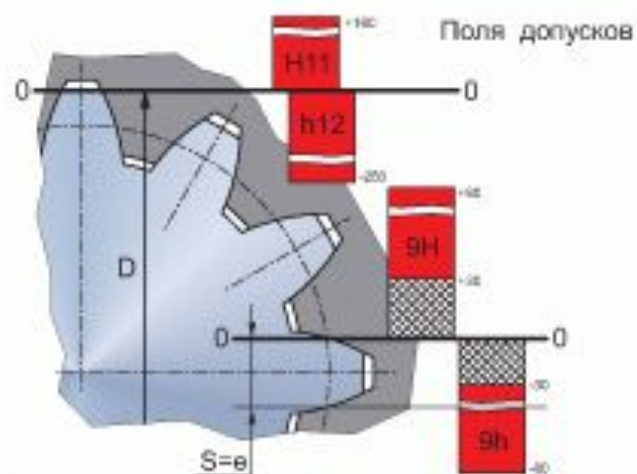
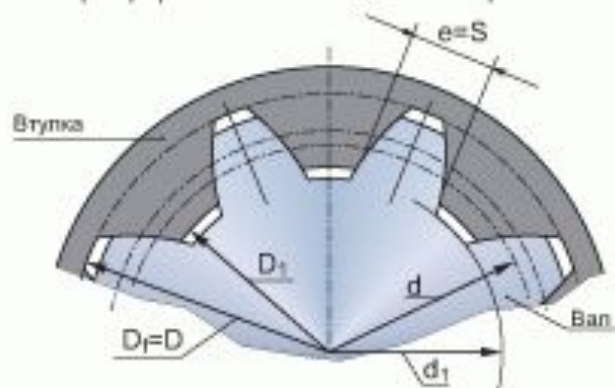
$b - 8 \times 36 \times 40H12/a11 \times 7D9/f8$

Поля допусков элементов деталей и обозначение допусков:  
при центрировании по **b**



## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШЛИЦЕВЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Центрирование по боковым сторонам

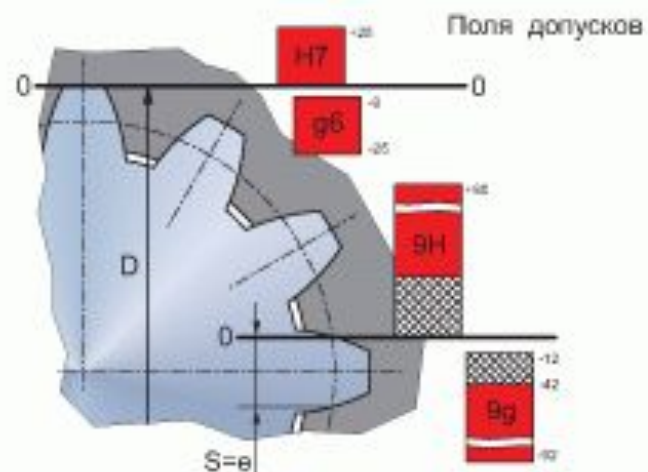
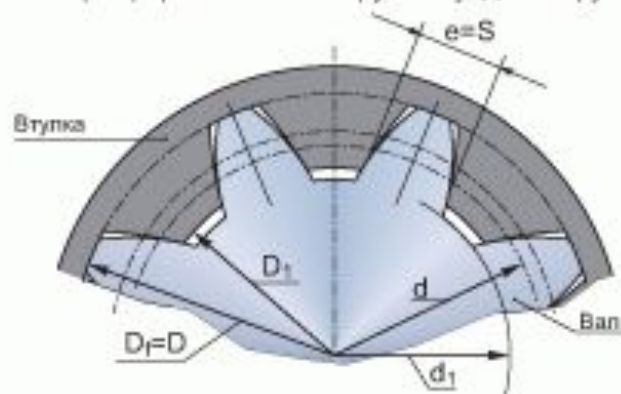


35×2,5×9H/9g ГОСТ 6033-80



## ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШЛИЦЕВЫХ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Центрирование по наружному диаметру



50×H7/g6×2 ГОСТ 6033-80



# 3. Нормирование точности метрической резьбы

## Резьбовые соединения, используемые в машиностроении

- **Резьбовым соединением** называется соединение двух деталей с помощью резьбы, т. е. элементов деталей, имеющих один или несколько равномерно расположенных винтовых выступов постоянного сечения, образованных на боковой поверхности цилиндра или конуса.
- Наружную резьбу для краткости называют *болтом (винтом)* (рис. 4.30), а внутреннюю – *гайкой* (рис. 4.31).

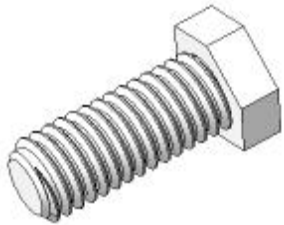


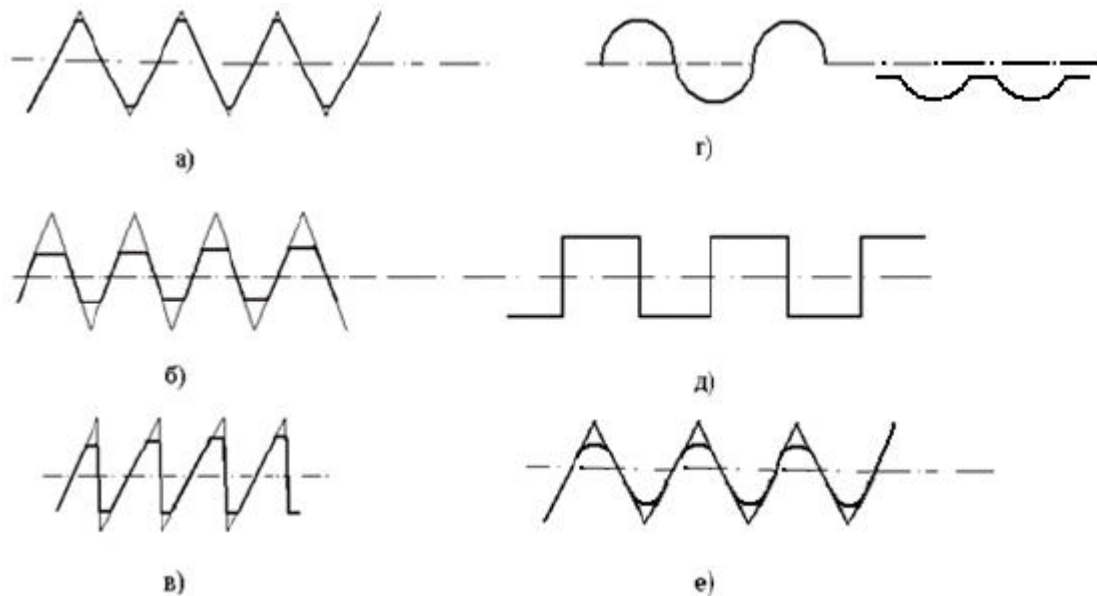
Рис. 4.30. Болт (винт)



Рис. 4.31. Гайка

- **Профилем резьбы** называется общий для наружной и внутренней резьбы контур сечения канавок и выступов в продольной плоскости, проходящей через ось резьбы.
- *В зависимости от профиля*, т. е. от вида фигуры в сечении, резьба бывает треугольной, трапециидальной, упорной (пилообразной), круглой, прямоугольной и трубной (рис. 4.32).

## Продолжение 3 вопроса



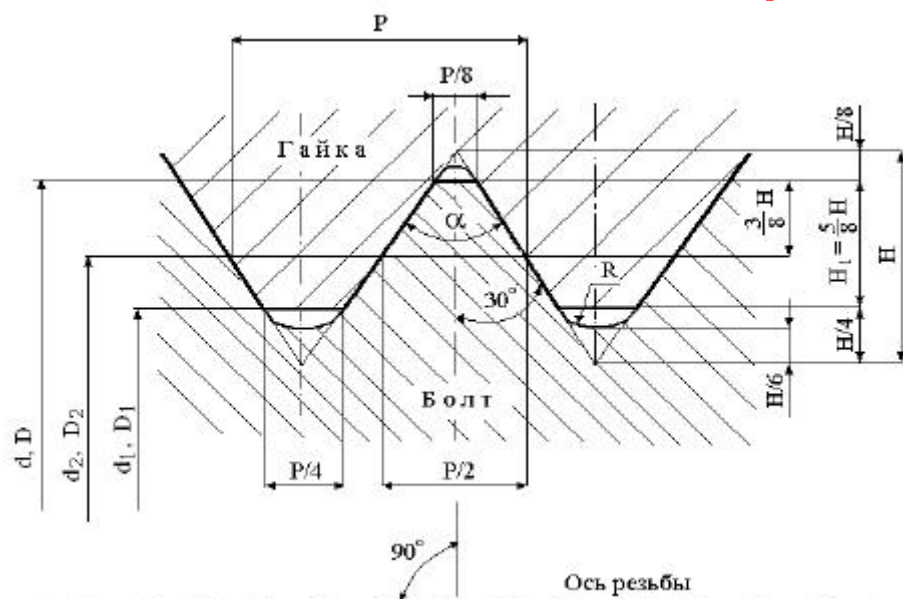
**Рис. 4.32. Профили резьбы**  
**а) треугольная;**  
**б) трапециидальная;**  
**в) упорная (пилообразная);**  
**г) круглая;**  
**д) прямоугольная;**  
**е) трубная**

- По назначению различают резьбы общего применения и специальные. В зависимости от вида поверхности, на которой она получена, резьба разделяется на цилиндрическую и коническую. Кроме того резьбы разделяют на наружные и внутренние.
- По числу заходов резьбы бывают однозаходные и многозаходные.
- В зависимости от направления вращения контура осевого сечения: резьбы делятся на правые и левые.
- По принятой единице измерения линейных размеров: резьбы делятся на метрические и дюймовые.

## Продолжение 3 вопроса

- По области применения резьбы бывают следующих видов:
- **1. Крепежная резьба:** используется для обеспечения разъемного соединения.
- **2. Кинематическая резьба:** используется для преобразования вращательных движений в поступательные в винтовых механизмах.
- **3. Трубная и арматурная резьба:** трубная цилиндрическая и коническая используются для соединения труб в нефтеперерабатывающей промышленности, сантехническом оборудовании и т.п. Эти резьбы обычно имеют треугольный профиль ( $\alpha=55^\circ$ ) со скругленными вершинами и впадинами. Редко применяется в машиностроении.

## Номинальный профиль метрической резьбы и ее основные параметры



**Рис. 4.33. Профиль метрической резьбы и ее основные параметры**

- $H$  – высота исходного профиля,  $H_1$  – рабочая высота профиля,
- $P$  – шаг резьбы,  $\alpha = 60^\circ$  – угол профиля резьбы,
- $d, D$  – наружный диаметр резьбы болта и гайки,
- $d_1, D_1$  – внутренний диаметр резьбы болта и гайки,
- $d_2, D_2$  – средний диаметр резьбы болта и гайки,
- $R$  – номинальный радиус закругления впадины болта.
- Исходная высота профиля  $H$  установлена в зависимости от шага резьбы и равна  **$0,8660254 P$** .

## Продолжение 3 вопроса

Кроме того элементами резьбы являются:

- **Угол подъема резьбы ( $\Psi$ )** – это угол, образованный касательной к винтовой линии резьбы и плоскостью перпендикулярной к оси резьбы (рис.4.34).

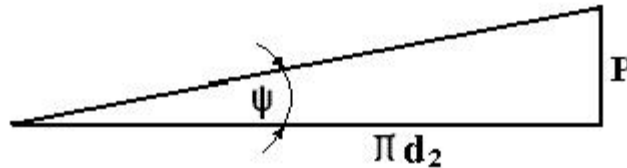


Рис. 4.34. Угол подъема резьбы

- Угол подъема резьбы ( $\Psi$ ) измеряется по среднему диаметру резьбы ( $d_2$ ) и от него зависит шаг резьбы ( $P$ ).

$$\operatorname{tg} \Psi = P n / \pi d_2, \quad n - \text{число заходов резьбы}$$

- **Длина свинчивания ( $l$ )** – это длина взаимного соприкосновения наружной и внутренней резьбы в осевом направлении. Часто этот элемент называют *высотой гайки*.
- Стандартом (СЭВ 640–77) установлены **три группы свинчивания**:
- S – короткие ( $< 2,24 \cdot P \cdot d^{0,2}$ ),
- N – нормальные ( $2,24 \cdot P \cdot d^{0,2} \dots 6,7 \cdot P \cdot d^{0,2}$ ),
- L – длинные ( $> 6,7 \cdot P \cdot d^{0,2}$ ).
- Резьбовые соединения по характеру соединения образуют посадки с натягом, с зазором и переходные. Однако подавляющее распространение имеют *посадки с зазором*.

## Продолжение 3 вопроса

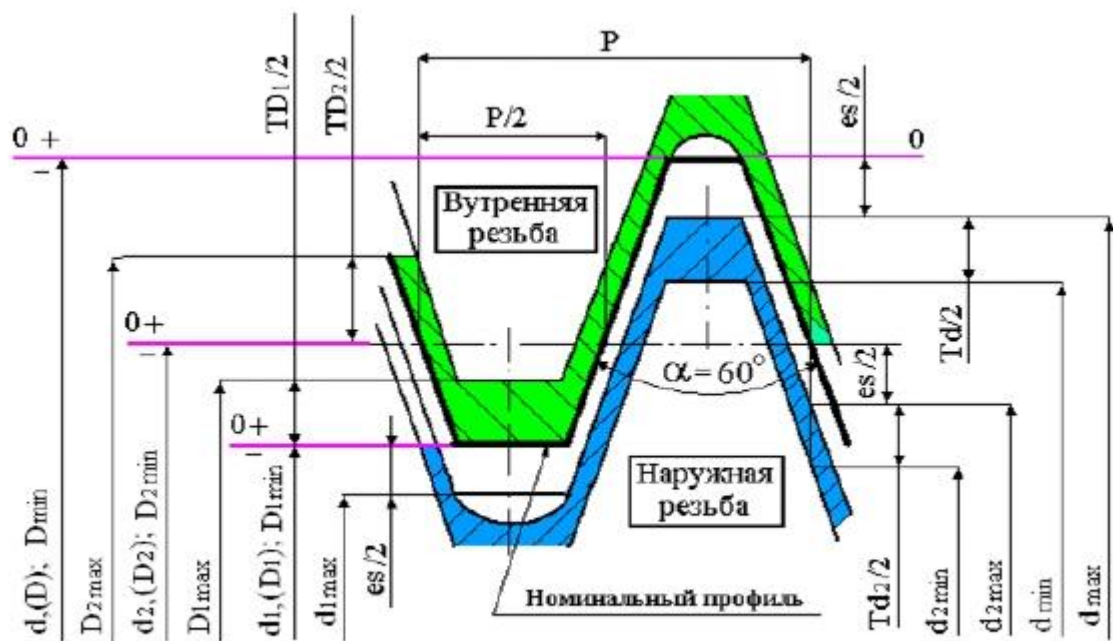
Используются при нормировании точности резьбы элементы:

- **Наружный диаметр резьбы** ( $d, D$ ) (номинальный диаметр резьбы) – это диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы (болта) или по впадинам внутренней резьбы (гайки).
- **Внутренний диаметр резьбы** ( $d_1, D_1$ ) – это диаметр воображаемого цилиндра, вписанного во впадины наружной резьбы (болта) или в вершины внутренней резьбы (гайки).
- **Средний диаметр резьбы** ( $d_2, D_2$ ) – это диаметр воображаемого цилиндра, соосного с резьбой, каждая образующая которого пересекает профиль таким образом, что отрезок между точками профилей соседних витков, образованный при пересечении с канавкой, равен половине номинального шага.
- **Шаг резьбы** ( $P$ ) – расстояние по линии, параллельной оси резьбы, между средними точками ближайших одноименных боковых сторон профиля, лежащих в одной осевой плоскости по одну сторону от оси резьбы. Шаги резьбы условно разделяют на *крупные* и *мелкие*.
- **Угол профиля резьбы** ( $\alpha$ ) – это угол между смежными боковыми сторонами резьбы в плоскости осевого сечения.

# Продолжение 3 вопроса

- **Нормируемые параметры метрической резьбы для посадок с зазором**

- Взаимозаменяемость резьбы достигается тем, что ограничивают предельные контуры профиля резьбы болта и гайки на длине свинчивания (рис. 4.35).

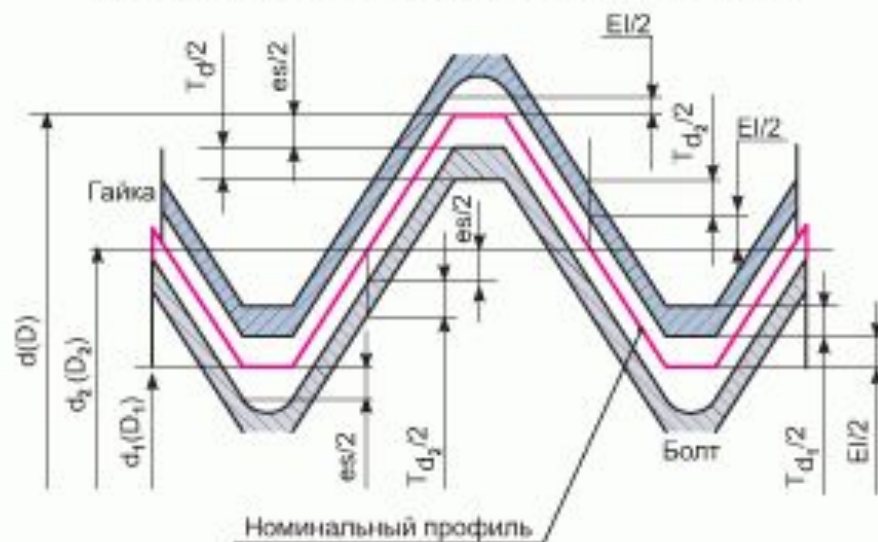


**Рис. 4.35. Расположение полей допусков метрической резьбы при посадке с зазором**

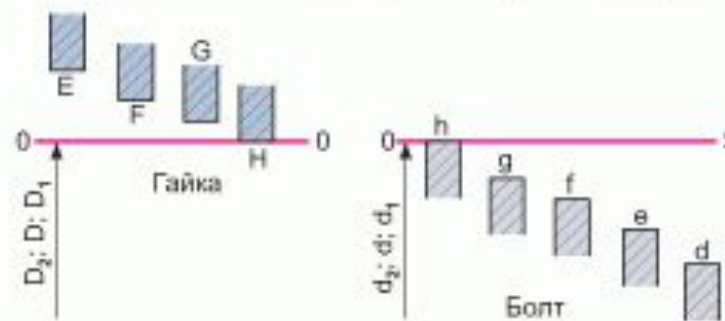
- Нормируется точность :
- *наружного диаметра болта ( $Td$ ),*
- *внутреннего диаметра гайки ( $TD_1$ ),*
- *среднего диаметра болта и гайки ( $Td_2, TD_2$ ).*

## МЕТРИЧЕСКАЯ РЕЗЬБА

Расположение полей допусков болта и гайки



Основные отклонения при посадке с зазором

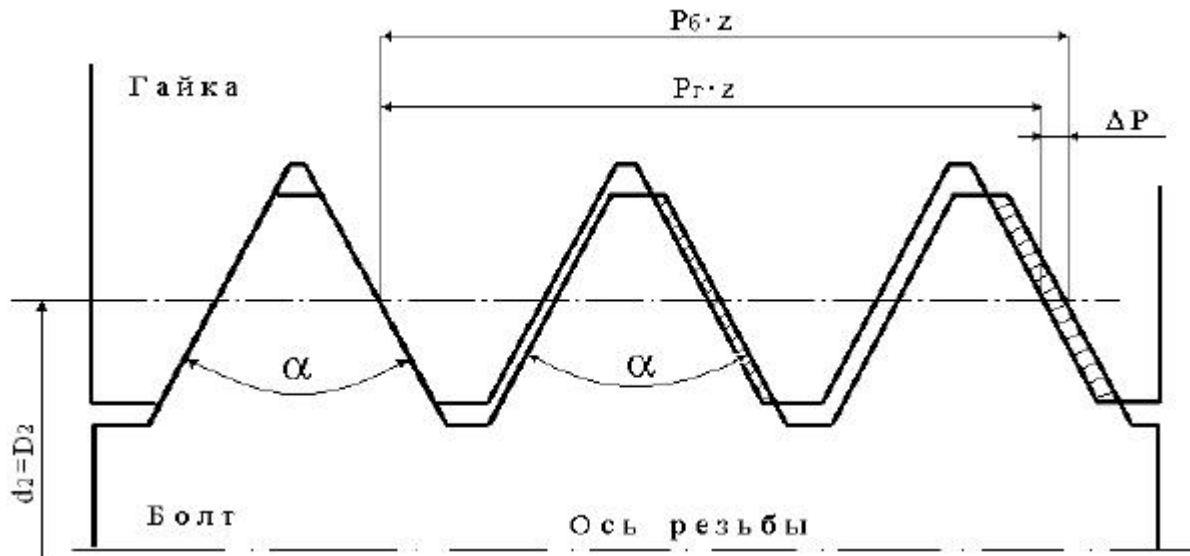




## Продолжение 3 вопроса

- **Компенсация ошибок шага**

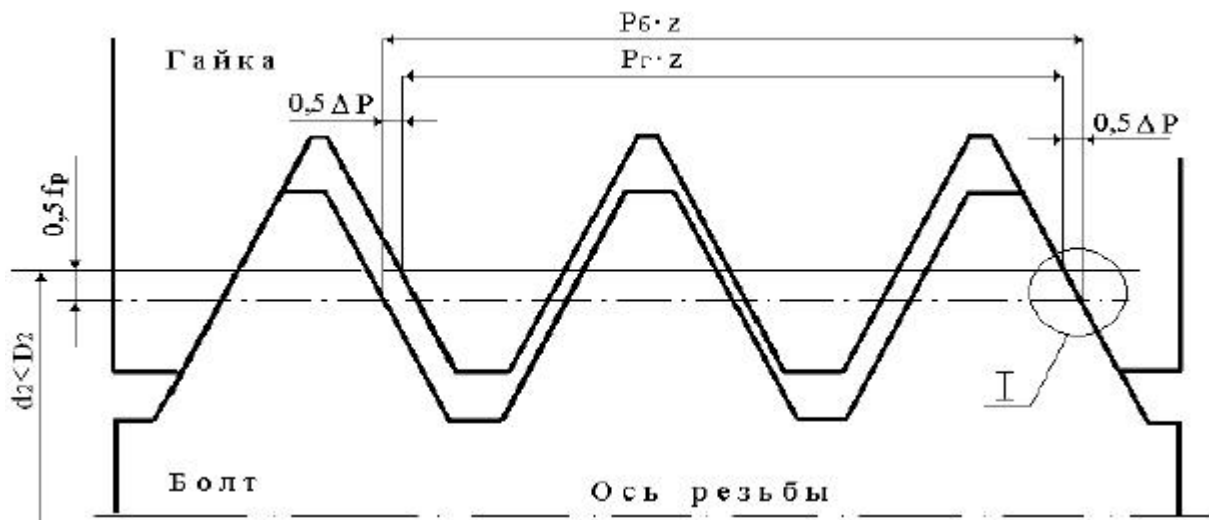
- Погрешность шага у резьбы бывает двух видов: *местная погрешность* (внутришаговая) и *прогрессирующая погрешность* (растяжка шага). Компенсация погрешности осуществляется для прогрессирующей погрешности.
- Сущность компенсации ошибок шага заключается в увеличении (для болта) и уменьшении (для гайки) среднего диаметра резьбы на величину компенсации.



**Рис. 4.35. Расположение полей допусков метрической резьбы при посадке с зазором**

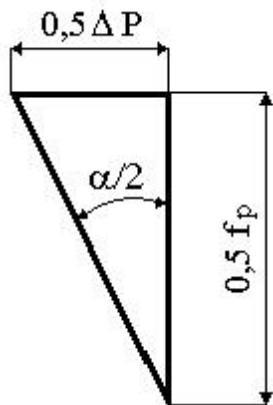
# Продолжение 3 вопроса

- Компенсация ошибок шага



**Рис. 4.35. Расположение полей допусков метрической резьбы при посадке с зазором**

- Для определения величины компенсации  $f_p$  рассмотрим схему на рис. 4.38



**Рис. 4.37. Схема для определения величины компенсации погрешности шага ( $f_p$ )**

- $\text{ctg}(\alpha / 2) = 0,5 f_p / 0,5 \cdot \Delta P,$ 
  - $f_p = \Delta P \cdot \text{ctg}(\alpha / 2),$
  - $f_p = 1,732 \cdot \Delta P.$

## Продолжение 3 вопроса

### • Компенсация погрешности угла профиля

- *Погрешность угла профиля* или угла наклона боковой стороны возникает, обычно, от погрешности профиля режущего инструмента или погрешности его установки на станке относительно заготовки.
- *Компенсация* погрешности профиля резьбы производится также изменением значения среднего диаметра, т. е. увеличением среднего диаметра гайки или уменьшением среднего диаметра болта.
- Величина  $f\alpha$  для метрической резьбы:
  - $f\alpha \approx 0,36 \cdot P \cdot \Delta / 2$ , мкм, где  $\Delta / 2$ , мин.
- Значение приведенного диаметра для *внутренней резьбы гайки* определяют по формуле:  $D_{2пр} = D_{2д} - f_p - f\alpha$ ,
- $D_{2д}$  – действительное (измеренное) значение среднего диаметра гайки, мм
- Значение приведенного диаметра для *наружной резьбы болта* определяют по формуле:  $d_{2пр} = d_{2д} + f_p + f\alpha$ ,
- $d_{2д}$  – действительное (измеренное) значение среднего диаметра болта, мм
- *Зазор* в резьбовом соединении определяется по формуле:
  - $S = D_{2пр} - d_{2пр}$ .

### ОТКЛОНЕНИЕ ШАГА $P$ И ДИАМЕТРАЛЬНАЯ ЕГО КОМПЕНСАЦИЯ $(p)$



### ОТКЛОНЕНИЕ ПОЛОВИНЫ УГЛА ПРОФИЛЯ И ДИАМЕТРАЛЬНАЯ ЕГО КОМПЕНСАЦИЯ



## Продолжение 3 вопроса

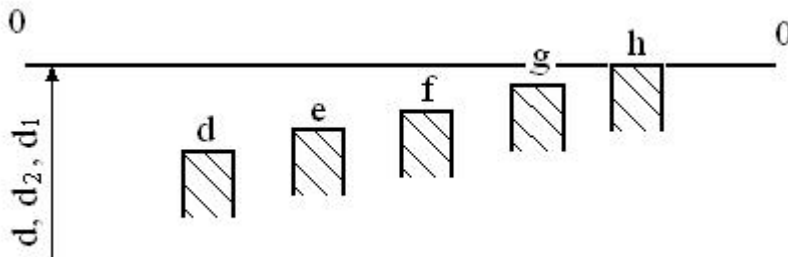
- Суммарный допуск среднего диаметра резьбы

- $Td_2 (TD_2) = T'd_2 (T'D_2) + fp + f\alpha,$

- $T'd_2 (T'D_2)$  – допуск только на средний диаметр.

- **Поля допусков элементов метрической резьбы**

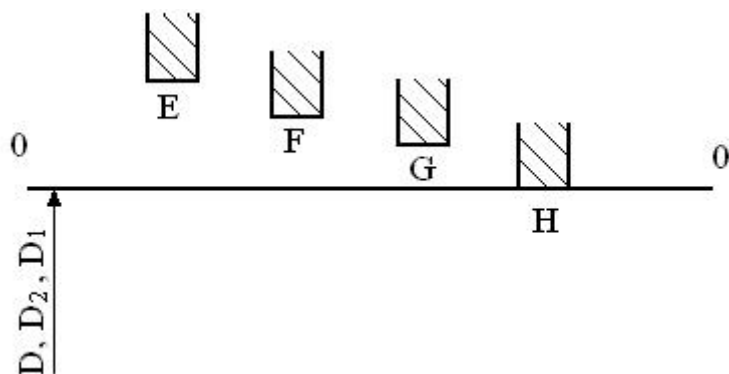
- Для резьбовых соединений основные отклонения обозначаются таким же образом, как и для гладких элементов детали: *прописные* латинские буквы для *гайки* (E, F, G, H) и *строчные* для *болтов* (d, e, f, g, h). Хотя величины этих отклонений не совпадают для резьбовых и гладких деталей (рис. 4.40, 4.41).



*Рис. 4.40. Основные отклонения для резьбы болта (посадка с зазором)*

- Ряды точности для резьбовых соединений получили название *степени точности* (у гладких сопряжений – *квалитеты*).

# Продолжение 3 вопроса



**Рис. 4.41. Основные отклонения для резьбы гайки (посадка с зазором)**

- Ряды точности – *степени точности* нормируются в значительно меньшем объеме, чем для гладких элементов.
- Для *наружного диаметра болта ( $d$ )* нормируется 4-я, 6-я и 8-я степень точности, а для *среднего диаметра ( $d_2$ )* – с 3-й по 10-ю степени.
- Для *внутреннего диаметра гайки ( $D_1$ )* нормируется с 4-й по 8-ю степени, а для *среднего диаметра ( $D_2$ )* с 4-ой по 9-ю степени.
- *Степень точности* в резьбовых соединениях указывается перед основным отклонением поля допуска: **6H; 7f**.

Таблица 4.5. Поля допусков резьбовых соединений (часто используемые)

Классы точности	Длина свинчивания	Наружная резьба	Внутренняя резьба
Точный	S		4H
	N	4g; 4h	4H5H; 5H
	L		6H
Средний	S	5g6g	5H
	N	6d; 6e; 6f; <b>6g</b> ; 6h;	6G; <b>6H</b> ;
	L	7g6g	7H

# Продолжение 3 вопроса

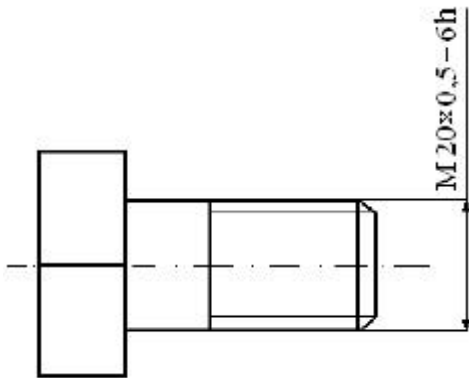
## • Обозначение резьбовых элементов

- **Пример** полного обозначения резьбового элемента по ГОСТ 16093-2004: для болта (наружная резьба): **M20 x 0,75 LH – 7g6g – 15**,
- для гайки (внутренняя резьба): **M30 x 0,5 LH – 4H5H – 10**.
- Расшифруем обозначение для болта (наружная резьба): резьба метрическая (M) с наружным (номинальным) диаметром **20 мм** и мелким шагом **0,75 мм** (крупный шаг не указывается), резьба левая (LH), поле допуска на средний диаметр болта **7g** (седьмая степень точности и основное отклонение **g**), поле допуска на наружный диаметр болта **6g**, длина свинчивания **15 мм** (нормальная длина свинчивания не указывается)..
- На практике часто используется самое короткое обозначение резьбового элемента:
- для болта (наружная резьба): **M40 – 6g**,
- для гайки (внутренняя резьба): **M30 – 5H**.
- Расшифровывается это обозначение следующим образом: резьба метрическая с номинальным наружным диаметром **40 мм**, резьба правая, шаг крупный. Для болта поле допуска на приведенный средний диаметр и на наружный диаметр одинаковое **6g**, длина свинчивания нормальная.

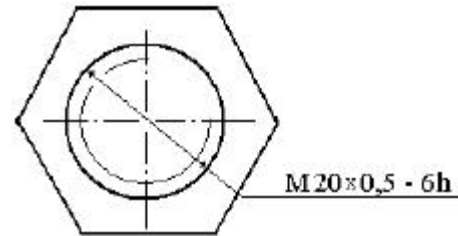


# Продолжение 3 вопроса

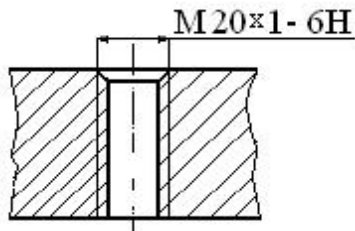
- **Обозначение резьбы на рабочих чертежах**



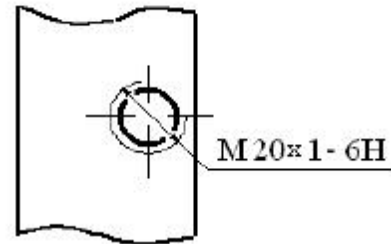
*Рис. 4.42. Обозначение наружной резьбы на чертеже*



*Рис. 4.43. Обозначение наружной резьбы на чертеже (вид справа)*



*Рис. 4.44. Обозначение внутренней резьбы на чертеже*

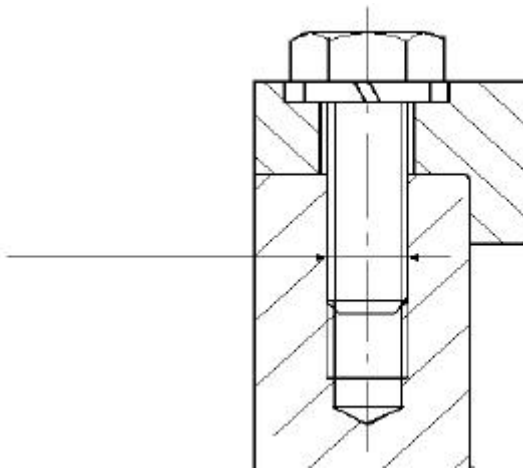


*Рис. 4.45. Обозначение внутренней резьбы на чертеже (вид сверху)*

## Продолжение 3 вопроса

- **Обозначение резьбовых соединений**

- **Пример** полного обозначения резьбового сопряжения:
- **M20 x 0,75 LH – 4H5H/4g4h – 15.**
- Самое короткое обозначение:
- **M20 –7H/6g.**
- В числителе указываются поля допусков на средний диаметр и на внутренний диаметр для *гайки*, а в знаменателе нормируются поля допусков на средний и наружный диаметры, но для *болта* (рис. 4.46).



*Рис. 4.46. Обозначение резьбового соединения на чертеже*

## 4. Контроль резьбовых соединений

- Точность резьбы контролируют *дифференцированным и комплексным* методами.
- При *дифференцированном* методе производят контроль каждого параметра в отдельности (наружного, внутреннего и среднего диаметров, шага и угла профиля).
- Все параметры можно контролировать при помощи универсальных или специализированных средств контроля.
- Измерение среднего диаметра резьбы можно проводить на инструментальном микроскопе.
- При замерах на оптиметрах пользуются проволочками, а при измерениях микрометром – вставками

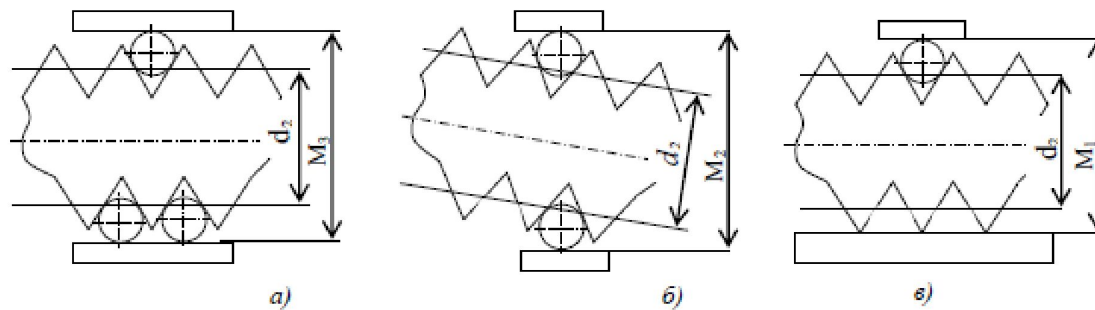


Рис.4.47. Схемы измерения среднего диаметра резьбы методом: а) трех проволочек; б) двух проволочек; в) одной проволочки

# Продолжение 4 Вопроса

- *Комплексный* контроль резьб выполняют либо с помощью предельных калибров, либо с помощью проекторов и шаблонов с предельными контурами.
- В систему калибров входят рабочие резьбовые проходные и непроходные калибры, а также контракалибры для проверки и регулирования рабочих резьбовых скоб (рис.4.48) и колец (рис.4.49).



Рис.4.48. Резьбовые калибры скобы



Рис.4.49. Резьбовые калибры кольца:  
а) проходной калибр кольцо;  
б) непроходной калибр кольцо

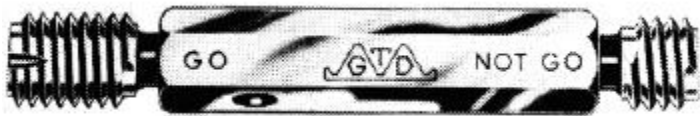
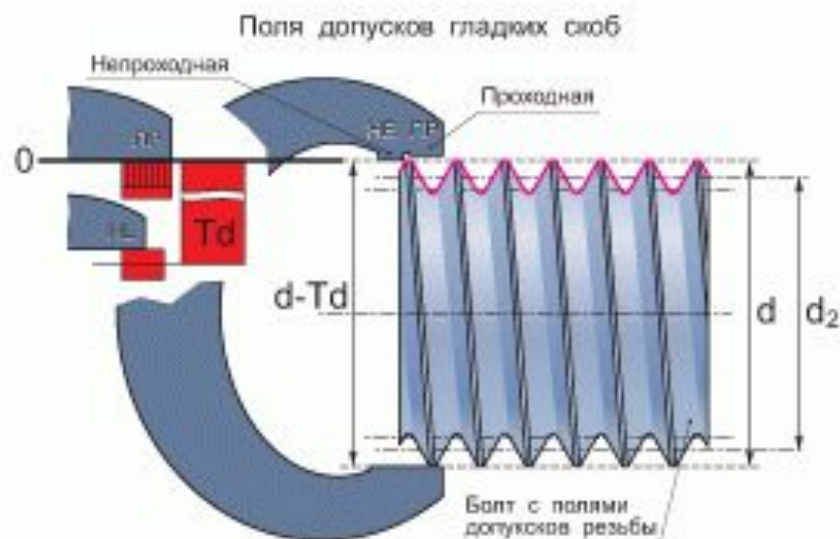


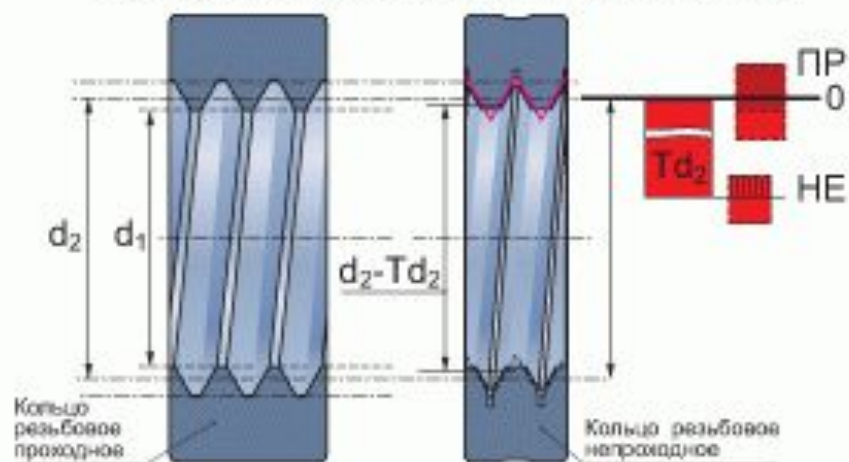
Рис.4.50. Резьбовой калибр пробка

## КАЛИБРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ

### КАЛИБРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ БОЛТА

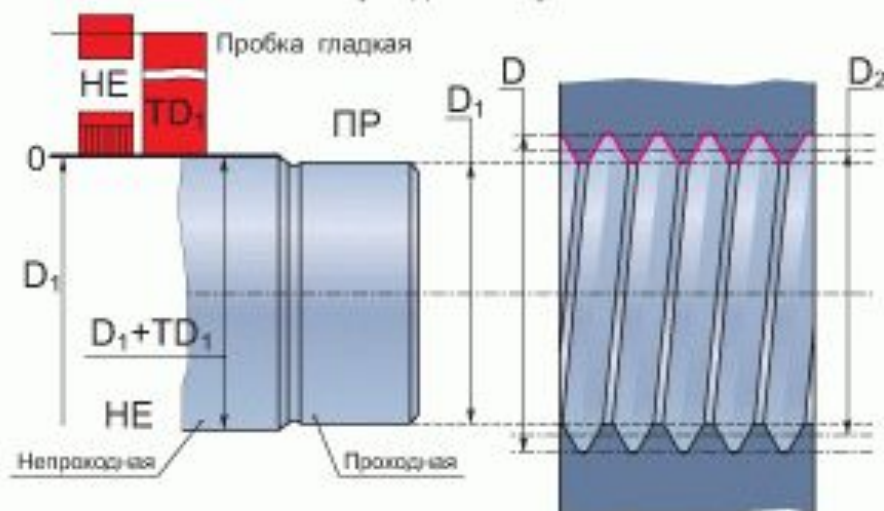


### Поля допусков среднего диаметра резьбовых колец

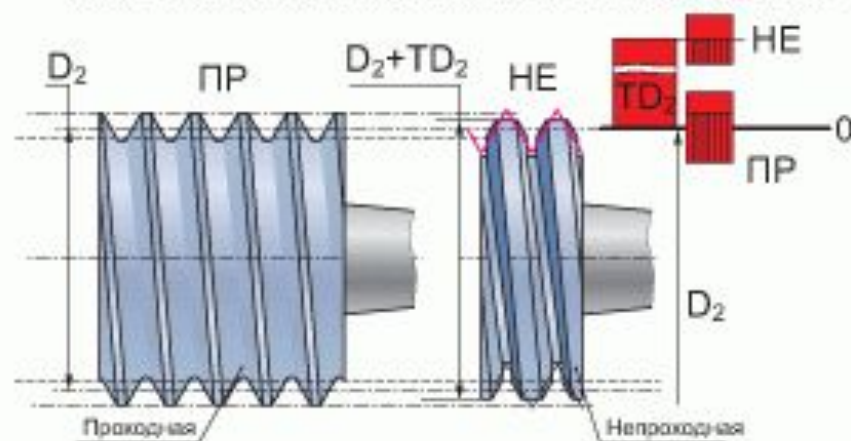


## КАЛИБРЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЗЬБЫ

Калибры для контроля гайки

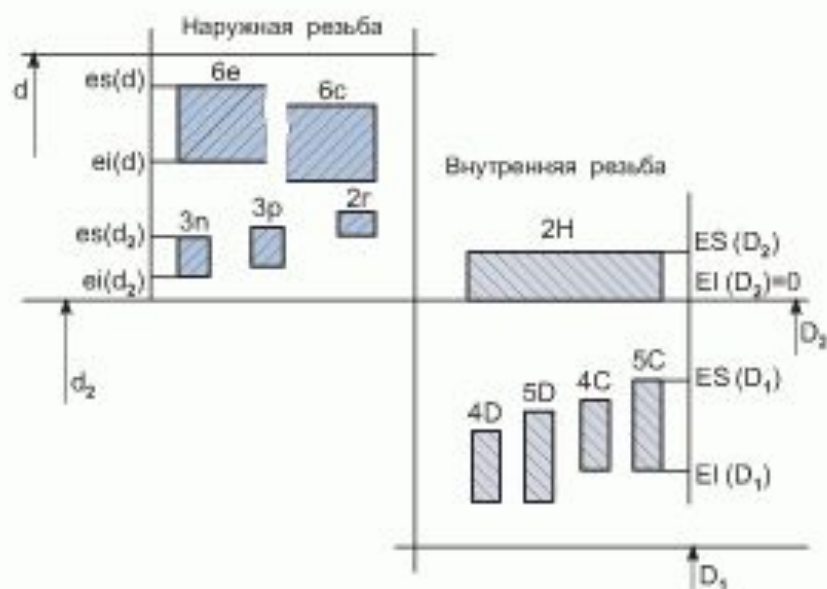
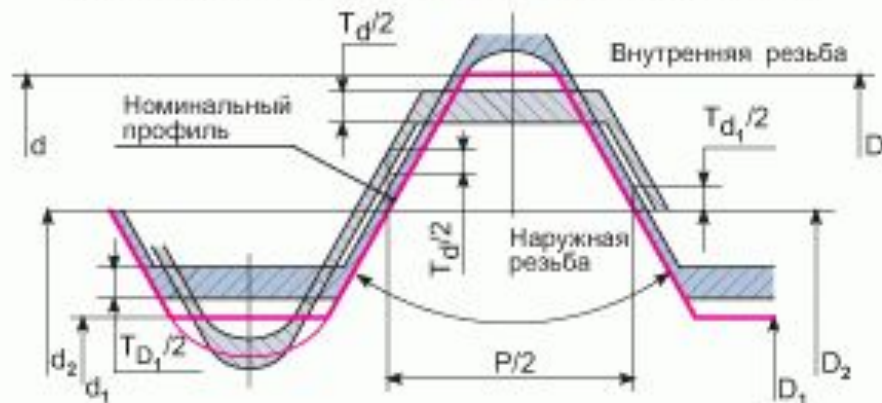


Поля допусков среднего диаметра резьбовых пробок



## МЕТРИЧЕСКАЯ РЕЗЬБА

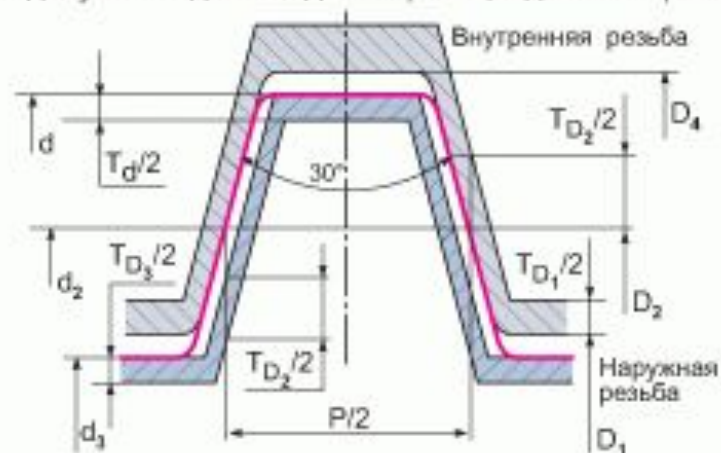
Расположение полей допусков резьбы с натягом





## ХАРАКТЕРИСТИКА И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ КИНЕМАТИЧЕСКИХ РЕЗЬБ

Поля допусков однозаходной трапецеидальной резьбы

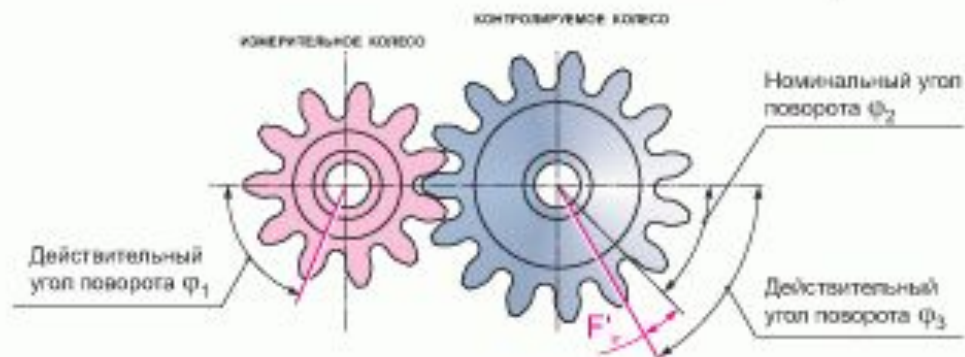


Поля допусков упорной резьбы

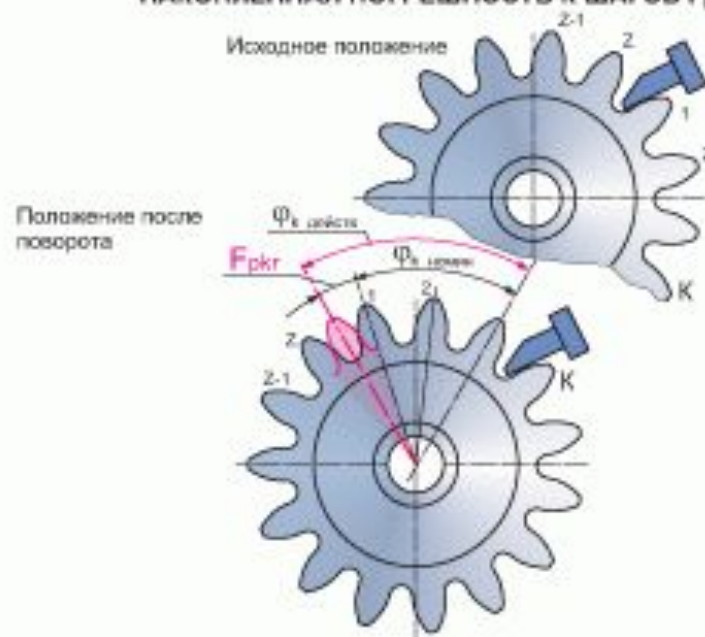


## ПАРАМЕТРЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ КОЛЕСА  $F'_z$



НАКОПЛЕННАЯ ПОГРЕШНОСТЬ К ШАГАМ  $F_{pkr}$



## ПАРАМЕТРЫ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

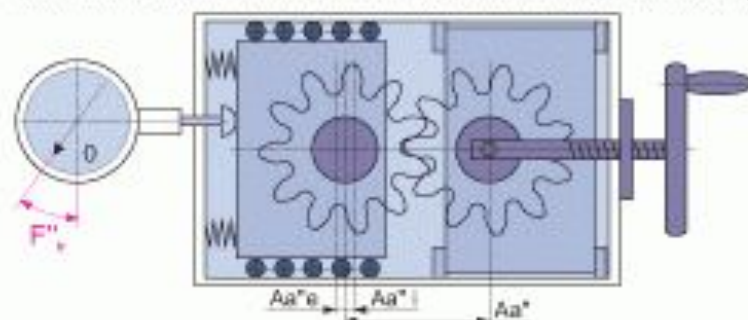
РАДИАЛЬНОЕ БИЕНИЕ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА  $F_r$



КОЛЕБАНИЕ ДЛИНЫ ОБЩЕЙ НОРМАЛИ  $F_{vnt}$

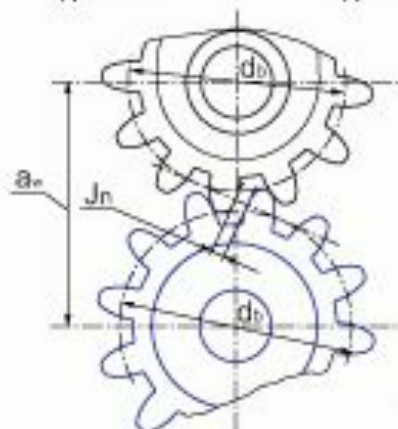


КОЛЕБАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО МЕЖОСЕВОГО РАССТОЯНИЯ  $F''$

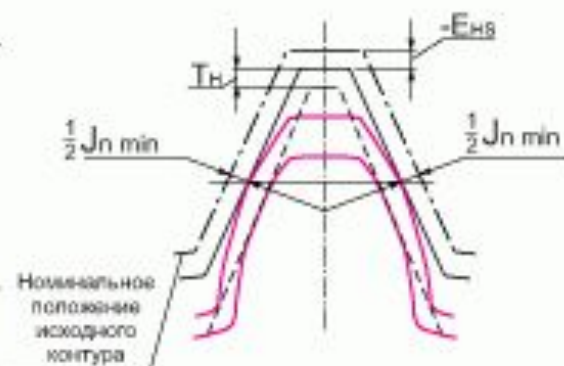


## ПАРАМЕТРЫ БОКОВОГО ЗАЗОРА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

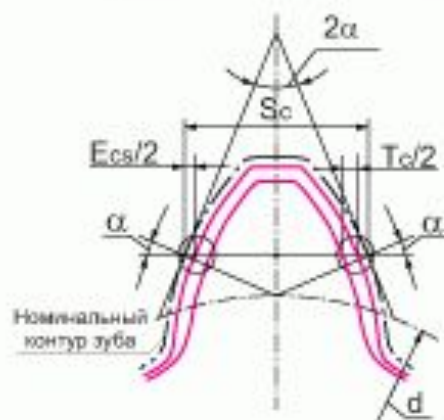
БОКОВОЙ ЗАЗОР  
ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЙ ПЕРЕДАЧИ



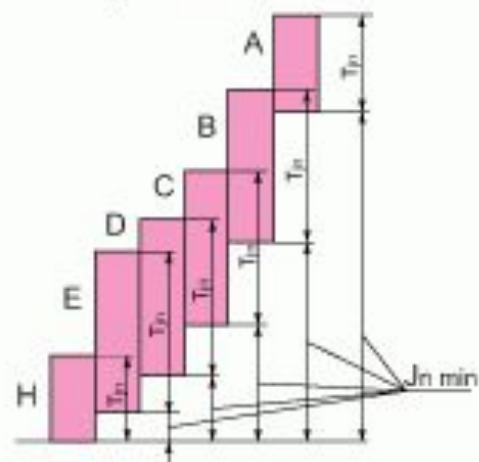
ПОЛЕ ДОПУСКА СМЕЩЕНИЯ  
ИСХОДНОГО КОНТУРА



ТОЛЩИНА ЗУБА И ЕЕ ОТКЛОНЕНИЯ

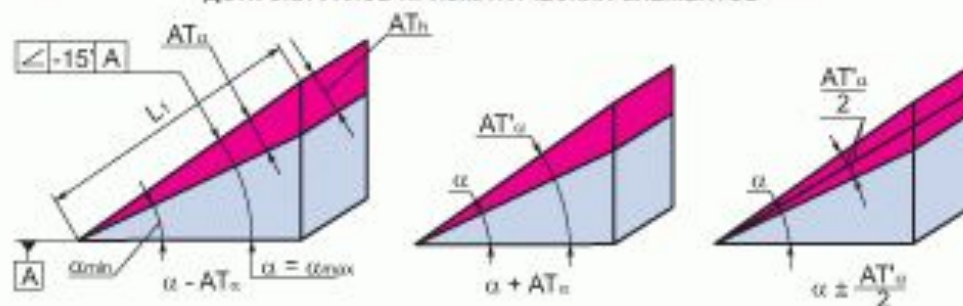


ПОЛЯ ДОПУСКА БОКОВОГО ЗАЗОРА

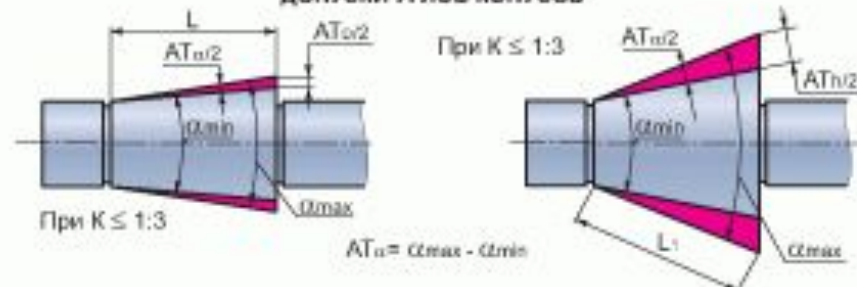


## ДОПУСКИ УГЛОВ И ПОСАДКИ КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

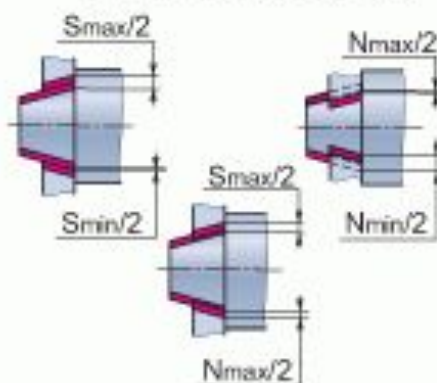
### ДОПУСКИ УГЛОВ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ



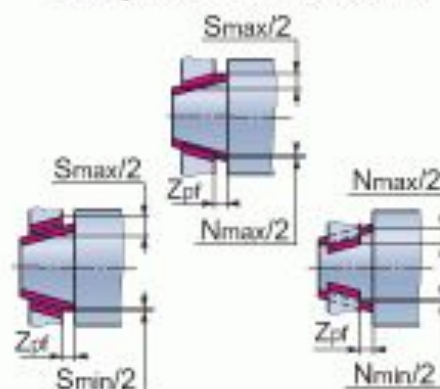
### ДОПУСКИ УГЛОВ КОНУСОВ



Посадки конусов совмещением конструктивных элементов



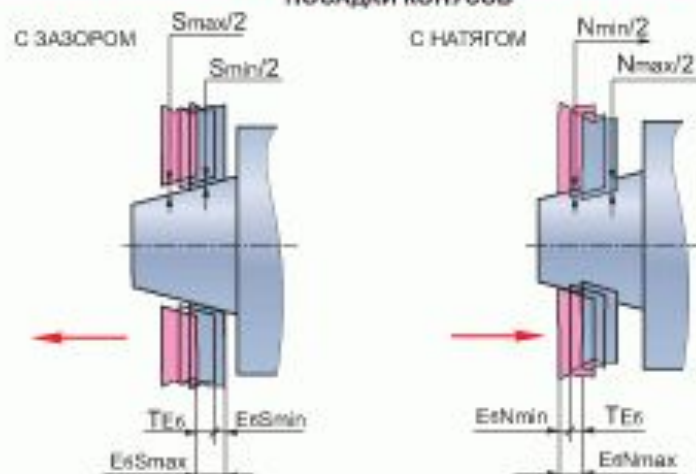
Посадки конусов фиксацией заданного осевого расстояния между базовыми плоскостями





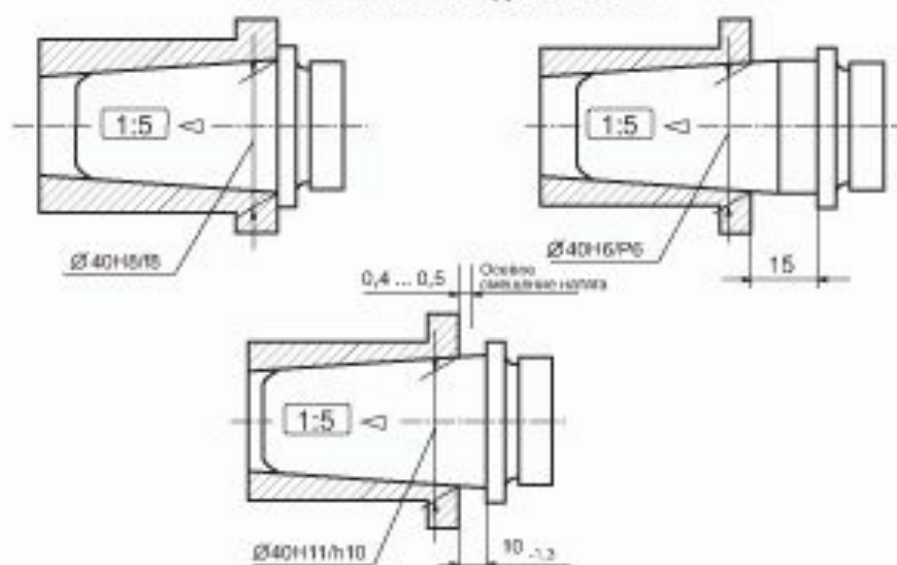
## ДОПУСКИ УГЛОВ И ПОСАДКИ КОНУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

## ПОСАДКИ КОНУСОВ



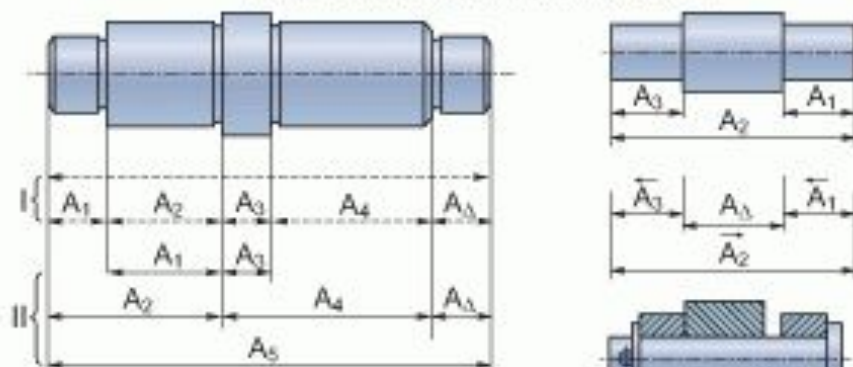
Фиксацией заданного взаимного осевого смещения от начального положения

## ОБОЗНАЧЕНИЕ ПОСАДОК КОНУСОВ

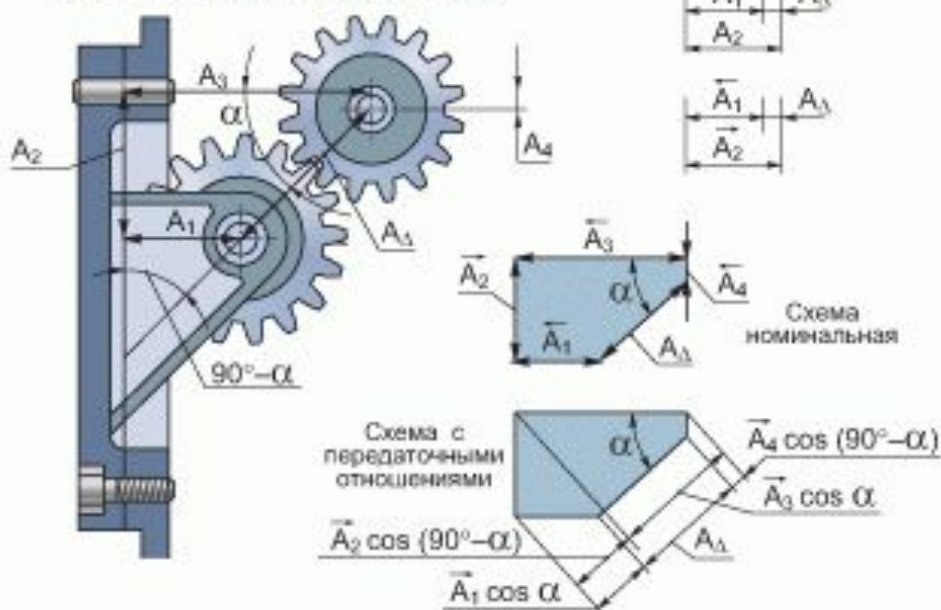


## СХЕМЫ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Схемы линейных размерных цепей



Схемы плоской размерной цепи





## МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ НАКОПЛЕННЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ

