

## ВВЕДЕНИЕ

Основой дисциплины «Нормирование точности и технические измерения» является метрология.

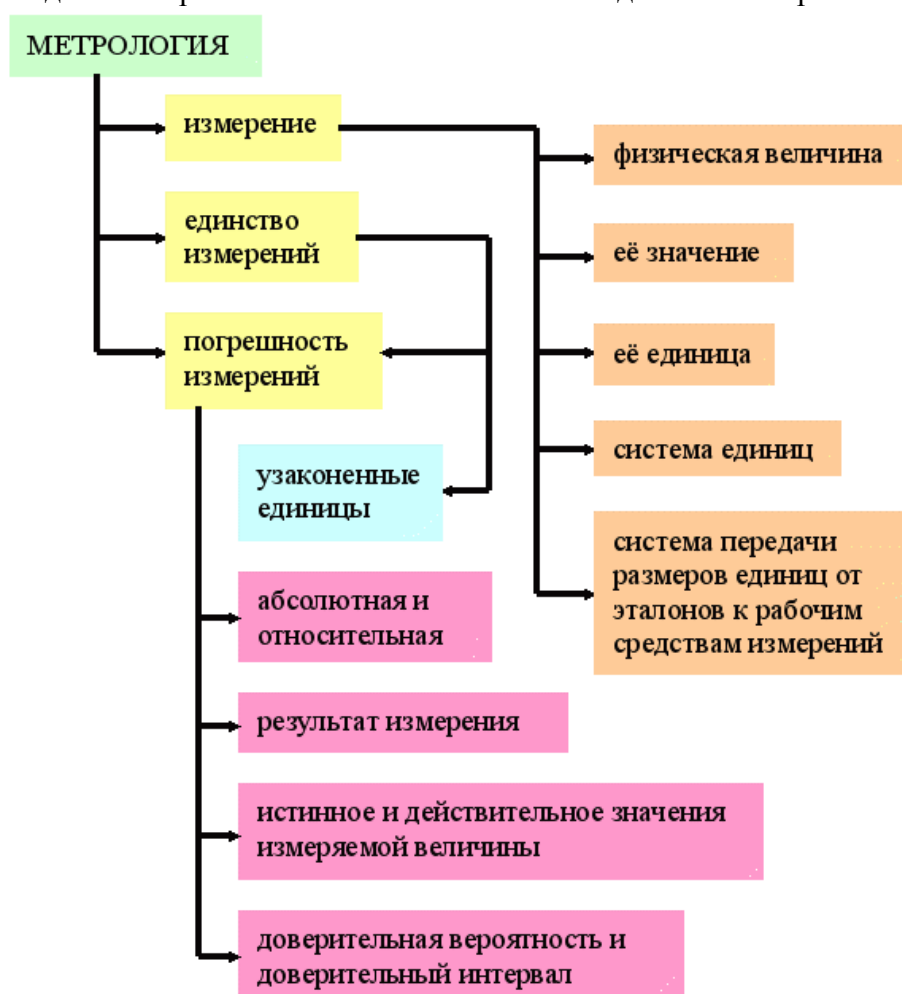
**Метрология** (от греч. «metron» – мера, «logos» – учение) – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства измерений и методах и средствах обеспечения их требуемой точности.

Любая наука является состоявшейся, если она имеет свой объект, предмет и методы исследования. Предмет любой науки отвечает на вопрос ЧТО ей изучается.

**Предметом метрологии** является измерение свойств объектов (длины, массы, плотности и т.д.) и процессов (скорость протекания, интенсивность протекания и др.) с заданной точностью и достоверностью.

**Объектом метрологии** является физическая величина. Объект науки может быть общим для ряда других наук.

Важнейшей задачей метрологии является обеспечение единства измерений.



Роль нормирования точности и технических измерений в повышении качества конструирования, производства, ремонта машин и оборудования для сельского хозяйства.

Нормирование точности и технические измерения имеют большое значение для прогресса в области конструирования, производства, естественных и технических наук, так как повышение точности измерений – один из наиболее эффективных путей познания природы человеком, открытий и практического применения достижений точных наук.

Значительное повышение точности измерений неоднократно являлось основной предпосылкой фундаментальных научных открытий.

Так, повышение точности измерения плотности воды в 1932 г. привело к открытию тяжелого изотопа водорода – дейтерия, определившего бурное развитие атомной энергетики.

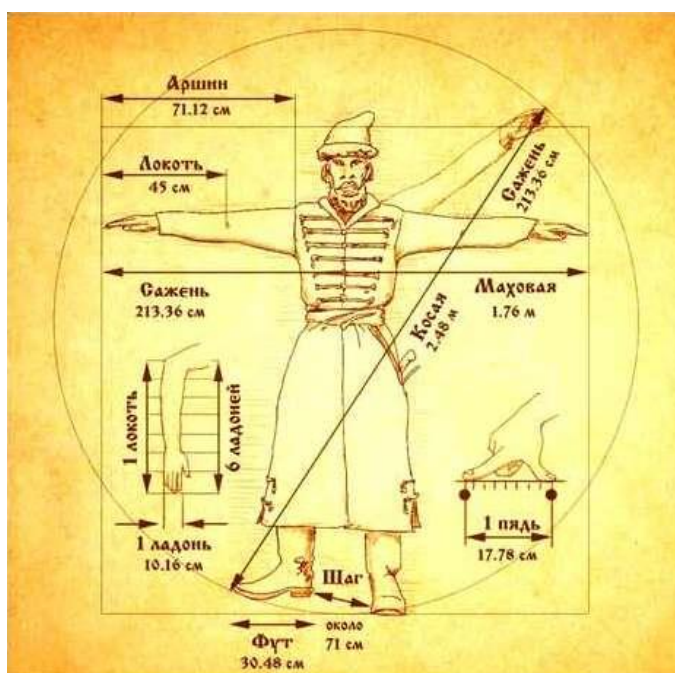
Благодаря гениальному осмыслению результатов экспериментальных исследований по интерференции света, выполненных с высокой точностью и опровергавшим существовавшее до того мнение о взаимном движении источника и приемника света, А. Эйнштейн создал свою всемирно известную теорию относительности.

Основоположник мировой метрологии Д.И. Менделеев говорил, что наука начинается там, где начинают измерять. Велико значение метрологии для всех отраслей промышленности, для решения задач по повышению эффективности производства и качества продукции.

Приведем лишь несколько примеров, характеризующих практическую роль измерений для страны: доля затрат на измерительную технику составляет около 15 % всех затрат на оборудование в машиностроении и приблизительно 25 % в радиоэлектронике; ежедневно в стране выполняется значительное число различных измерений, исчисляемых миллиардами, трудятся по профессии, связанной с измерениями, значительное число специалистов.

Современное развитие конструкторской мысли и технологий всех отраслей производства свидетельствуют об органической связи их с метрологией. Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своем развитии другие области науки и техники, ибо для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей их совершенствования.

**Основой системы мер в древнерусской практике** послужили древнеегипетские единицы измерения, заимствованные в Древней Греции. На Руси основными единицами длины были пядь и локоть, причем пядь служила основной древнерусской мерой длины и означала расстояние между концами большого и указательного пальца взрослого человека. Позднее, когда появилась другая единица – аршин, пядь (1/4 аршина) постепенно вышла из употребления.



С XVIII в. в России стали применять дюйм, заимствованный из Англии (называется он «палец»), а также английский фут.

Особой русской мерой была сажень, равная трем локтям (около 152 см), и косая сажень (около 248 см).

Указом Петра I русские меры длины были согласованы с английскими.

Большую роль в становлении метрологии сыграл Д.И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период с 1892 по 1907 г. «Наука начинается... с тех пор, как начи-

нают измерять», - в этом научном кредо выражен, важнейший принцип развития науки, который не утратил актуальности в современных условиях.

В 1893 году в России под руководством Д.И. Менделеева была создана Главная палата мер и весов.

В годы Советской власти (1931 г.) в Ленинграде на базе Главной палаты мер и весов был создан Всесоюзный научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева.

В 1960 году была принята Международная система единиц СИ и определена величина метра как длины, равной  $1650763,73$  длина волны излучения в вакууме (криптоновый эталон метра).

## РАЗДЕЛ I ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

### ТЕМА 1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Метрология** - это наука, изучающая методы измерений, средства измерений, метрологические свойства и метрологические характеристики средств измерений.

**Квалиметрия** - это наука об измерении и количественной оценке качества предметов и процессов, т.е. объектов реального мира. **Квалиметрия и метрология** – тесно связанные научные дисциплины об измерениях.

Их взаимосвязь состоит в том, что метрология дает исходный материал для оценки качества методами квалиметрии.

Различие состоит в том, что метрология дает возможность определять количественную меру физических свойств предметов, квалиметрия стремится осуществлять количественную меру как физических, так и всех других (эстетических, экономических, социальных, потребительских и т.п.) свойств предметов. Квалиметрия стремится также давать им качественную оценку.

**Метрология**, занимаясь определением количественных характеристик различных объектов, занимается измерениями, но не оценками качества продукции.

Пять килограмм веса какого-то предмета еще ничего не говорят о том, много это или мало, хорошо это или плохо и что целесообразно предпринять для того, чтобы стало лучше. Метрология является измерительной базой, на которую опирается квалиметрия при построении части своих оценок.

Что касается **квалиметрии**, то ее задача в значительной степени состоит в нахождении количественных измерений и оценок, необходимых для обоснования качественного содержания объектов и принятия решений. Такие квалиметрические оценки получаются часто путем измерения и сравнения физических, экономических, эстетических и других показателей с лучшими образцами (эталоны). Наряду с метрологическими эталонами существуют эталоны квалиметрические, эталоны качества.

**Стандартизация** – процесс разработки стандартов и норм, а также адаптации стандартов и норм к международным нормам и нормам других стран, в целях их добровольного многократного использования, направленный на достижение упорядоченности в сферах производства.

Влияние **стандартизации** на улучшение качества продукции осуществляется через комплексную разработку стандартов на сырье, материалы, комплектующие изделия, оборудование и готовую продукцию, а также через установление в стандартах технологических требований и показателей качества, единых методов испытаний и средств контроля.

**Стандартизацию** следует рассматривать как эффективное средство обеспечения качества, совместимости, взаимозаменяемости продукции и ее составных частей.

**Измерение** – это процесс, заключающийся в определении количественных значений тех или иных свойств, сторон изучаемого объекта, явления с помощью специальных технических устройств.

**Измерения** — важнейший этап деятельности исследователей и экспериментаторов во всех отраслях науки и техники.

**Измерительная аппаратура** — основное оборудование научно-исследовательских институтов и лабораторий, неотъемлемая часть оснастки любого технологического процесса.

**Процесс измерения** современными измерительными устройствами состоит в целенаправленном преобразовании измеряемой величины в форму, наиболее удобную для конкретного использования (восприятия) человеком или машиной. Например, смысл действия всех электроизмерительных приборов (амперметров, вольтметров, гальванометров и др.) заключается в том, что с их помощью измеряемая электрическая величина, изменения которой непосредственно органами чувств человека не могут быть оценены количественно, преобразуется в определённое механическое перемещение указателя (стрелки или светового луча). Таково же назначение и многих механических измерительных приборов и измерительных преобразователей, с помощью которых разнообразные физические величины преобразуются в механическое перемещение (штангенциркуль, микрометр, пружинные весы, ртутный термометр, пружинный манометр или барометр, волосной гигрометр и т. п.)

**Обеспечение единства измерений (метрологическое обеспечение)** – деятельность, направленная на достижение и поддержание единства измерений в соответствии с требованиями законодательства Республики Беларусь об обеспечении единства измерений.

**Метрологическое обеспечение производства (МОП)** включает в себя установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.

**Обеспечение единства измерений является** одной из ключевых позиций повышения качества надежности и долговечности любых изделий промышленности, а измерительная информация как результат МОП, становится основой управления качеством.

**Научной основой** обеспечения единства измерений является метрология.

Организационной основой является государственная метрологическая служба (ГМС) и метрологические службы республиканских органов государственного управления и юридических лиц.

**Технической основой МОП являются**

- ✓ система национальных эталонов единиц физических величин;
- ✓ система передачи размеров единиц физических величин;
- ✓ система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих средств измерений;
- ✓ система стандартных образцов состава и (или) свойств веществ (материалов), стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;
- ✓ метрологический контроль, включающий утверждение типа средств измерений; метрологическую аттестацию средств измерений; поверку; калибровку; метрологическое подтверждение пригодности МВИ.

## ТЕМА 2. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ИХ ЕДИНИЦЫ

**Физическая величина** - это свойство, общее в качественном отношении многим объектам (системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

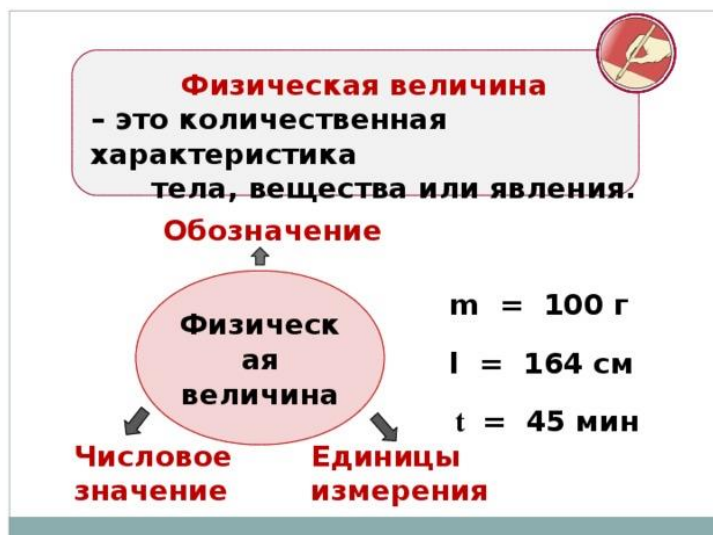
**Физическая величина отображает** свойства объектов, которые можно выражать количественно в принятых единицах.

**Размер физической величины** - это количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, процессу или явлению.

**Значение физической величины** - это выражение физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц измерения.

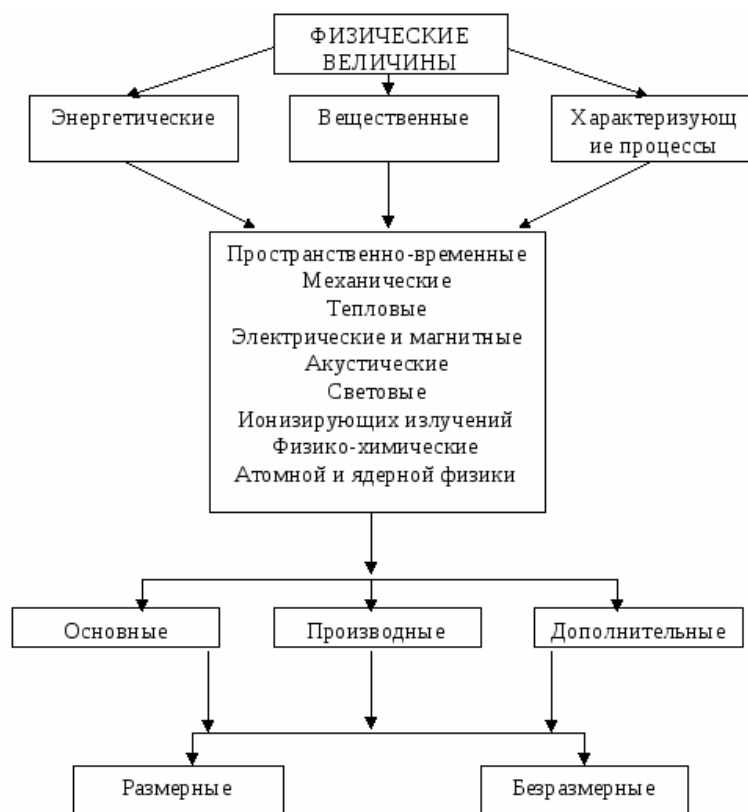
**Истинное значение физической величины** – это значение физической величины, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном соотношении соответствующую физическую величину.

**Единица физической величины** — физическая величина, которой по определению придано значение, равное единице.



Можно сказать также, что единица физической величины — такое ее значение, которое принимают за основание для сравнения с ним физических величин того же рода при их количественной оценке.





Для построения системы единиц выбирают произвольно несколько физических величин. **Они называются основными.** Величины, определяемые через основные, **называются производными.** Совокупность основных и производных величин **называется системой физических величин.**

**Система физических величин используется для построения системы единиц физических величин.**

Единица физической величины представляет собой значение этой величины, принятое за основание для сравнения с ней значений величин того же рода при их количественной оценке. Ей по определению присвоено числовое значение, равное 1.

Единицы величин, входящих в систему, **называются системными.** **Внесистемные единицы** — это единицы, не входящие в систему (единица мощности — лошадиная сила, единица энергии - киловатт-час, единицы времени - час, сутки, единица температуры - градус Цельсия и многие другие).

**Кратной единицей** называется такая, которая в целое число раз больше системной или внесистемной единицы: килогерц, мегаватт.

**Дольной единицей** называется такая, которая в целое число раз меньше системной или внесистемной единицы: миллиампер, микровольт.

**Относительные величины** могут выражаться в безразмерных относительных единицах, в процентах, в промилле.

**Логарифмическая величина** представляет собой логарифм безразмерного отношения двух одноименных величин: бел (Б)

**Системы единиц физических величин**

**Система СГС.** основными единицами являются сантиметр как единица длины, грамм как единица массы и секунда как единица времени, была установлена в 1881 г.

**Система МКГСС.** Применение килограмма как единицы веса, а в последующем как единицы силы вообще, привело в конце XIX века к формированию системы единиц физических величин с тремя основными единицами: метр - единица длины, килограмм-сила - единица силы и секунда - единица времени.

**Система МКСА.** Основы этой системы были предложены в 1901 г. итальянским ученым Джорджи. Основными единицами системы МКСА являются метр, килограмм, секунда и ампер.

В 1954 г. X Генеральная конференция по мерам и весам установила шесть основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин и свеча) практической системы единиц.

Система, основанная на утвержденных в 1954 г. шести основных единицах, была названа Международной системой единиц, сокращенно СИ

(**SI**- начальные буквы французского наименования Systeme International). Был утвержден перечень шести основных, двух дополнительных и первый список двадцати семи производных единиц, а также приставки для образования кратных и дольных единиц.

| МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (СИ) |               |                 |                       |                              |                                |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------------|
| ВЕЛИЧИНА                          | НАИМЕНОВАНИЕ  | ОБОЗНАЧЕНИЕ     | ВЕЛИЧИНА              | НАИМЕНОВАНИЕ                 | ОБОЗНАЧЕНИЕ                    |
| ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ                  |               |                 | ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ   |                              |                                |
| ДЛИНА                             | метр          | м               | ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЕМКОСТЬ | фарад                        | Ф [1Ф = 1Кл/В]                 |
| МАССА                             | килограмм     | кг              | ЧАСТОТА               | герц                         | Гц                             |
| ВРЕМЯ                             | секунда       | с               | СКОРОСТЬ              | метр в секунду               | м/с                            |
| СИЛА ТОКА                         | ампер         | А               | УСКОРЕНИЕ             | метр в секунду в квадрате    | м/с <sup>2</sup>               |
| СИЛА СВЕТА                        | кандела       | кд              | ПЛОТНОСТЬ             | килограмм на кубический метр | кг/м <sup>3</sup>              |
| ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА     | кельвин       | К               | СИЛА                  | ньютон                       | Н [1н = 1кг·м/с <sup>2</sup> ] |
| КОЛИЧЕСТВО ВЕЩЕСТВА               | моль          | моль            | ИМПУЛЬС               | килограмм на метр в секунду  | кг·м/с                         |
| ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ               |               |                 | ДАВЛЕНИЕ              | паскаль                      | Па [1Па = 1Н/м <sup>2</sup> ]  |
| ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД               | кулон         | Кл [1Кл = 1А·с] | РАБОТА, ЭНЕРГИЯ       | джоуль                       | Дж [1Дж = 1Н·м]                |
| ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ, ЭДС     | вольт         | В [1В = 1Дж/Кл] | МОЩНОСТЬ              | ватт                         | Вт [1Вт = 1Дж/с]               |
| НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ | вольт на метр | В/м             | МАГНИТНЫЙ ПОТОК       | вебер                        | Вб [1Вб = 1Тл·м <sup>2</sup> ] |
| ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ       | ом            | Ом [1Ом = 1В/А] | ИНДУКТИВНОСТЬ         | генри                        | Гн [1Гн = 1Вб/А]               |
|                                   |               |                 | МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ    | тесла                        | Тл [1Тл = 1В/(А·м)]            |

#### Приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц

| Кратные   |             |                  | Дольные   |             |                   |
|-----------|-------------|------------------|-----------|-------------|-------------------|
| Приставка | Обозначение | Множитель        | Приставка | Обозначение | Множитель         |
| экса      | Э           | 10 <sup>18</sup> | атто      | а           | 10 <sup>-18</sup> |
| пета      | П           | 10 <sup>15</sup> | фемто     | ф           | 10 <sup>-15</sup> |
| тера      | Т           | 10 <sup>12</sup> | пико      | п           | 10 <sup>-12</sup> |
| гига      | Г           | 10 <sup>9</sup>  | нано      | н           | 10 <sup>-9</sup>  |
| мега      | М           | 10 <sup>6</sup>  | микро     | мк          | 10 <sup>-6</sup>  |
| кило      | к           | 10 <sup>3</sup>  | милли     | м           | 10 <sup>-3</sup>  |
| гекто     | г           | 10 <sup>2</sup>  | санти     | с           | 10 <sup>-2</sup>  |
| дека      | да          | 10 <sup>1</sup>  | деци      | д           | 10 <sup>-1</sup>  |

### ТЕМА 3. ИЗМЕРЕНИЕ. ВИДЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ. КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

**Измерение** — процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной физической величины с известной, принятой за единицу измерения.

**Измерение** - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Результатом процесса является значение физической величины:

$$Q = q \cdot U$$

где  $q$  - числовое значение физической величины в принятых единицах;

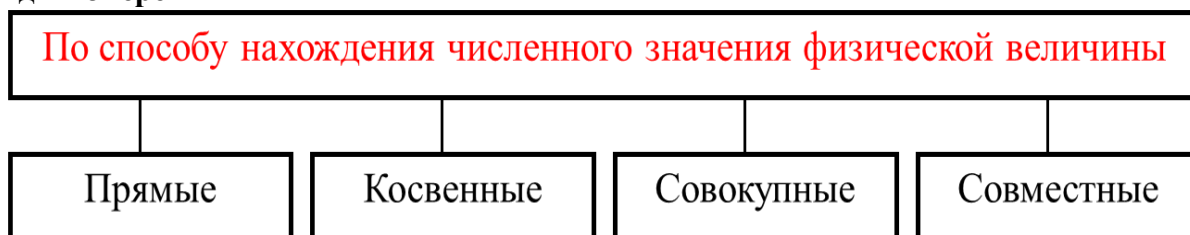
$U$  - единица физической величины.

Значение физической величины  $Q$ , найденное при измерении, называют **действительным**.

**Принцип измерений** - это совокупность физических явлений, на которых основаны измерения. Например, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта; измерение расхода газа по перепаду давления в сужающем устройстве.

Конкретные методы измерений определяются видом измеряемых величин, их размерами, требуемой точностью результата, быстротой процесса измерения, условиями, при которых проводятся измерения, и рядом других признаков.

#### Виды измерений

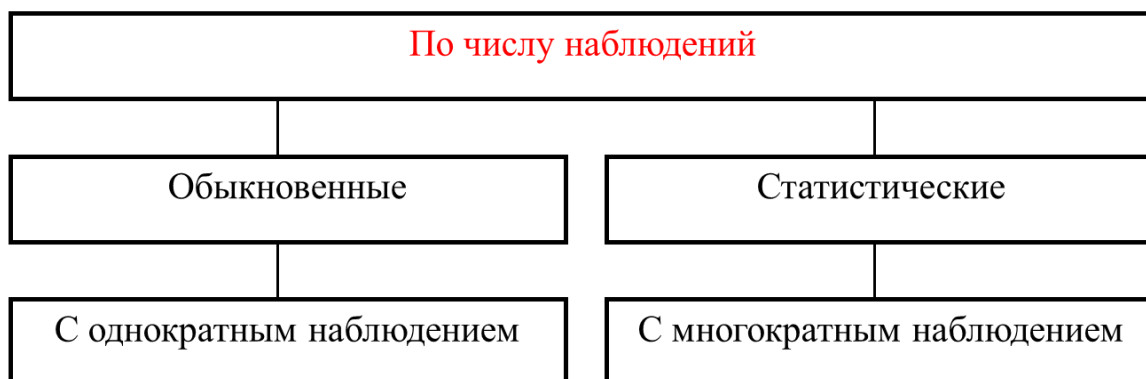


**Прямым измерением** называют измерение, при котором значение измеряемой физической величины находят непосредственно из опытных данных.

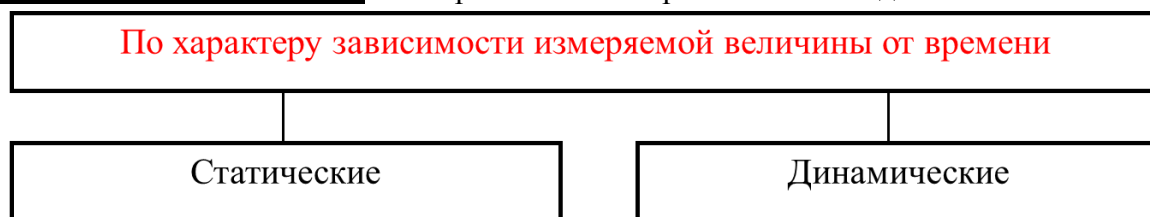
**Косвенными измерениями** называют измерения, при которых значение величины определяют на основании известной зависимости между искомой величиной и величинами, значения которых находят прямыми измерениями.

**Совокупные измерения** это такие измерения, при которых значения измеряемых величин определяют по результатам повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер или этих величин. Значение искомой величины определяют решением системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений.

**Совместные измерения** - это измерения, производимые одновременно двух или нескольких разноименных величин для нахождения функциональной зависимости между ними.

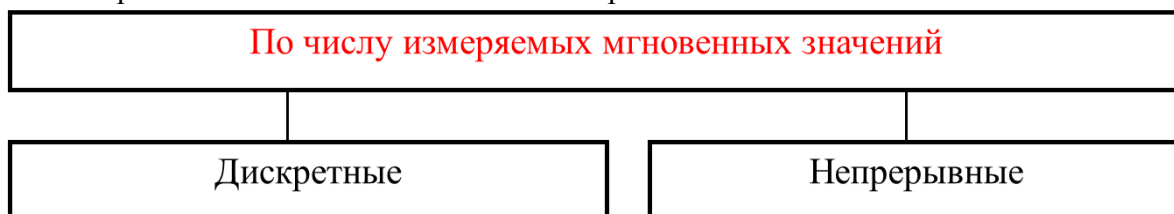


**Обыкновенные измерения** - измерения, выполняемые с однократным наблюдением;  
**Статистические измерения** - измерения с многократными наблюдениями.



**Статические** – это вид измерения, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени в процессе измерения;

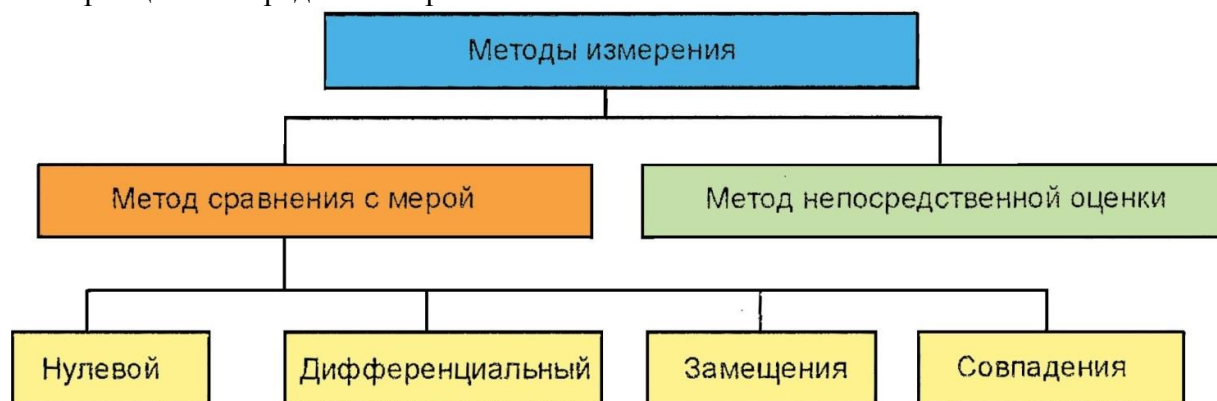
**Динамические** – это вид измерения, при которых измеряемая величина изменяется в процессе измерения и является непостоянной во времени.



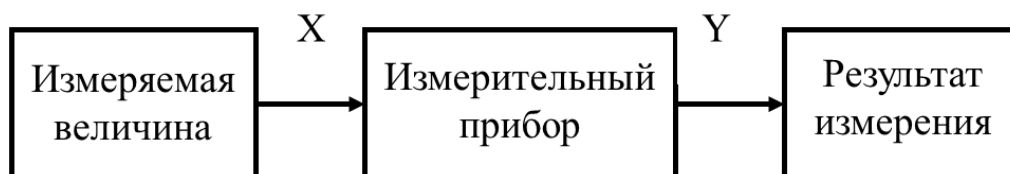
**Дискретные измерения** – измерения, при которых на заданном интервале времени число измеряемых мгновенных значений конечно.

**Непрерывные (аналоговые)** – измерения, при которых на заданном интервале времени число измеряемых мгновенных значений бесконечно.

**Методы измерений** - часть области измерений, состоящая в различии приемов использования принципов и средств измерений.



**Метод непосредственной оценки** характеризуется тем, что значение измеряемой величины определяется непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора, заранее градуированного в единицах измеряемой величины. Этот метод является наиболее простым и поэтому широко применяется при измерении различных величин, например: измерение веса тела на пружинных весах, силы электрического тока стрелочным амперметром, разности фаз цифровым фазометром и т.д.



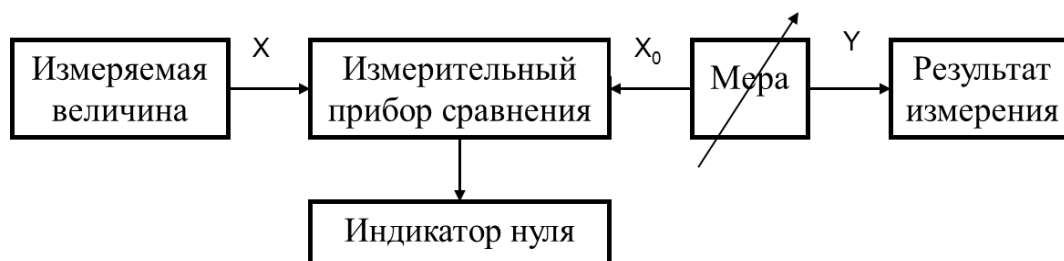
**Метод сравнения с мерой** – метод измерений, в которых известную величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Эти методы по сравнению с методом непосредственной оценки более точны, но несколько сложны.

Пример: измерение длины линейкой.

**Группа методов сравнения с мерой включает в себя следующие методы:**

- нулевой,
- дифференциальный,
- совпадения
- замещения.

**Нулевой метод** является разновидностью метода противопоставления, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Этим методом измеряют электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравниванием.



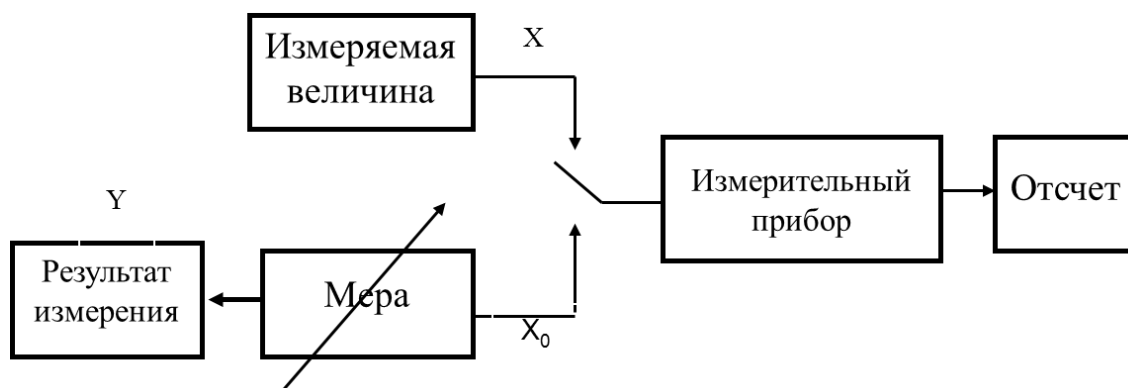
**Дифференциальный метод** представляет собой метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор (обязательно прибор сравнения) воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой, причем эта разность не доводится до нуля, а измеряется измерительным прибором прямого действия.



**Метод совпадений (или метод «нониуса»)** представляет собой метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.



**Метод замещения** представляет собой метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов.



### Качество измерений

**Точность измерения** – это степень приближения результатов измерений к истинному значению измеряемой величины.

**Термин «точность» применим** лишь для сравнения результатов или относительной характеристики методов измерений, например, точность измерения длины с помощью микрометра больше, чем при измерении с помощью штангенциркуля.

**Правильность** — свойство измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в их результатах. Результаты измерений правильны, когда они не искажены систематическими погрешностями.

**Сходимость** — свойство измерений, отражающее близость друг другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях, одним и тем же средством измерения, одним и тем же оператором.

**Воспроизводимость** — свойство измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях — в разное время, в разных местах, разными методами и средствами измерений. В процедурах испытаний продукции воспроизводимость, как и сходимость, также является важнейшей характеристикой.

**Достоверность измерений** – это характеристика, определяющая степень доверия к полученным результатам измерений.

По реализованной точности и по степени рассеяния результатов при многократном повторении измерений одной и той же величины различают:

**Равноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.

**Неравноточные измерения** – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях.

Измерения в двух сериях считают **равнорассеянными**.

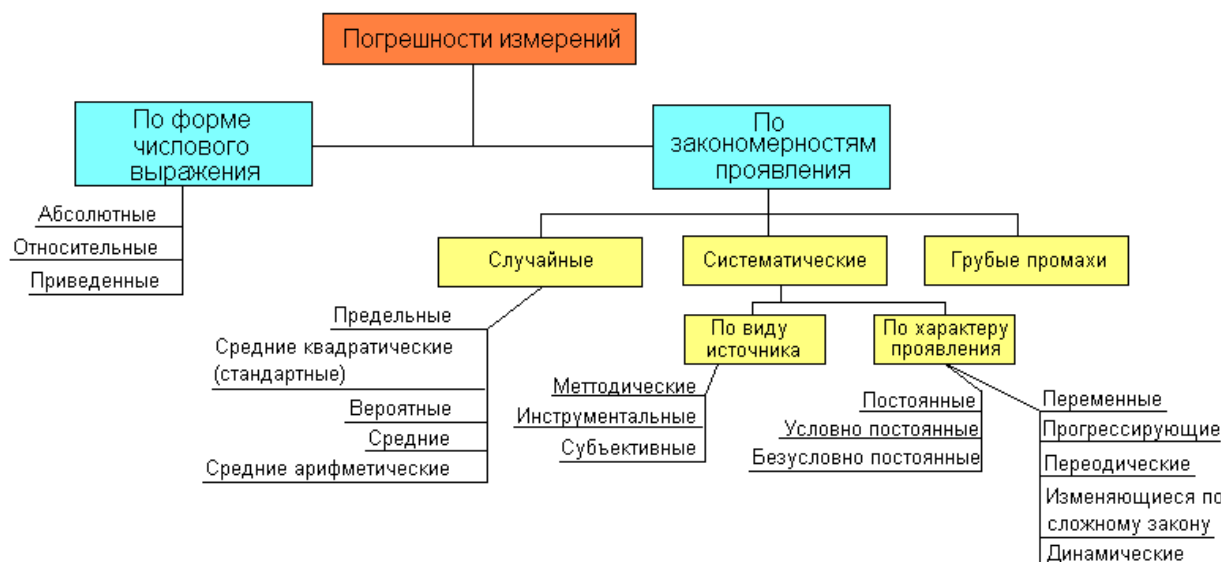
**Неравнорассеянными** измерения в зависимости от совпадения или различия оценок случайных составляющих погрешностей измерений сравниваемых серий 1 и 2.

При измерительном контроле одного объекта либо группы однотипных объектов представительными могут считаться только те результаты, которые адекватно отражают исследуемые свойства объекта или группы объектов.

### Погрешности измерений.

**Погрешность измерения** – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

**Причины появления погрешностей** – неверный выбор методов измерения, неверный подбор средств измерения и невнимательность оператора.



**Источниками появления погрешностей при измерениях** могут служить различные факторы, основными из которых являются несовершенство конструкции средств измерений или принципиальной схемы метода измерения, неточность изготовления средств измерений, несоблюдение внешних условий при измерениях, субъективные погрешности и т. д.

**Применяются четыре способа исключения погрешностей:**

1. Ликвидация источников погрешностей до начала измерения (профилактика измерений).
2. В процессе измерений (экспериментальное исключение).
3. По окончании измерений путем добавления поправок (вычислением).
4. Перевод не исключенных систематических погрешностей в разряд случайных и выполнение многократных измерений

**Случайной погрешностью** измерения называют погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях изменяется случайным образом по знаку и (или) величине. Случайная составляющая погрешности возможна из-за трения в опорах подвижной части прибора, колебаний температуры окружающего воздуха, влияния магнитных и электрических промышленных потерь и пр.

**Систематической погрешностью** измерения называется погрешность, которая при повторных измерениях одной и той же величины в одних и тех же условиях остается постоянной или закономерно изменяется. Источником систематической погрешности может служить, например, неточное нанесение отметок на шкалу стрелочного прибора, деформация стрелки.

При измерениях могут появляться также очень большие **грубые погрешности (промахи)**, которые возникают, как правило, из-за ошибок или неправильных действий оператора, а также из-за кратковременных отказов или сбоев в работе измерительных приборов и других резких изменений условий проведения измерений.

**Наиболее характерными из них являются:** неправильный отсчет по шкале измерительного устройства, неправильная запись результата наблюдения (описка), неправильная запись значений отдельных мер использованного набора и т. п., ошибки при действиях с приборами, если они повторяются при измерениях.

## ТЕМА 4. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

### Виды систематических погрешностей.

#### **По виду источника:**

**Методические** – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

**Инструментальные** – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная погрешностью применяемого средства измерения.

**Субъективные** – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора.

**По характеру проявления:**

**Постоянные** – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная неправильной установкой начала отсчета, неправильной градуировкой и юстировкой средств измерения и остаются постоянной при всех повторных наблюдениях.

**Переменные** – меняющиеся с течением времени. **Они делятся:**

**Прогрессирующие** – непрерывно возрастающие или убывающие погрешности (погрешности вследствие износа измерительных наконечников, контактирующих с деталью при контроле )

**Периодические** – погрешности, значение которых является периодической функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора.

**Изменяющиеся по сложному закону** – погрешности, которые происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей.

**Статическая погрешность** – это погрешность, которая возникает в процессе измерения постоянной (не изменяющейся во времени) величины.

**Динамическая погрешность** – это погрешность, численное значение которой вычисляется как разность между погрешностью, возникающей при измерении непостоянной (переменной во времени) величины, и статической погрешностью (погрешностью значения измеряемой величины в определенный момент времени).

**По степени полноты информации об их характере и значениях:**

**Определенные** можно отнести любые известные по числовому значению и знаку погрешности.

**Неопределенные** следует отнести невыявленные систематические, а также погрешности случайные (собственно случайные) и грубые погрешности, значения которых не были определены экспериментально.

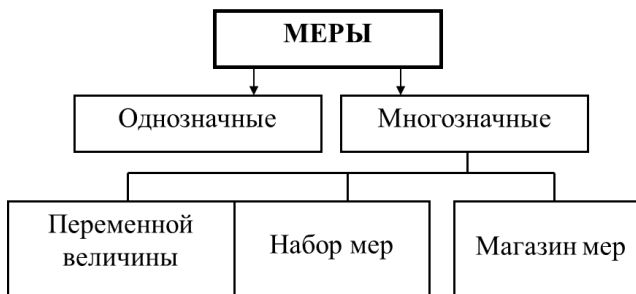
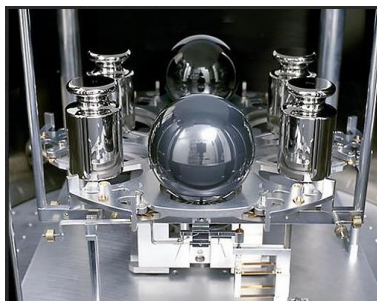
**Неисключенные остатки систематических погрешностей** имеют место при любом, даже самом тщательном выявлении и исключении систематических составляющих. В принципе эти погрешности могут быть выявлены и исключены (как систематические), однако иногда они остаются невыявленными из-за сложности технического решения такой задачи.

## ТЕМА 5. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН



**Средство измерения (СИ)** - это техническое средство или совокупность средств, применяющееся для осуществления измерений и обладающее нормированными метрологическими характеристиками. При помощи средств измерения физическая величина может быть не только обнаружена, но и измерена.

**Меры** – это средства измерения определенного фиксированного размера, многократно используемые для измерения.



**Измерительный преобразователь** – средство измерения, которое преобразует сигнал измерительной информации в форму, удобную для его передачи, последующего преобразования, а затем обработки и хранения.



**Измерительный преобразователь давления**



**Измерительный преобразователь частоты переменного тока**

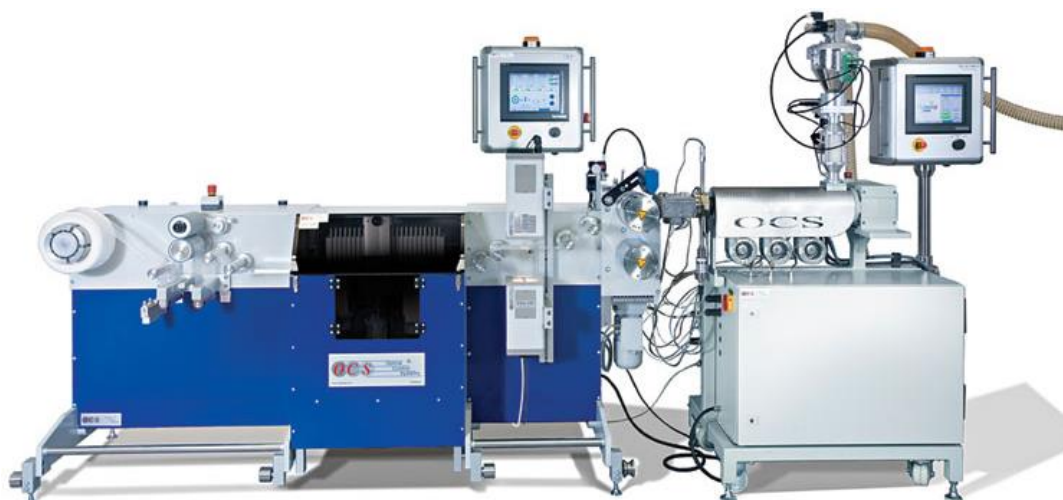


**Измерительный преобразователь давления**

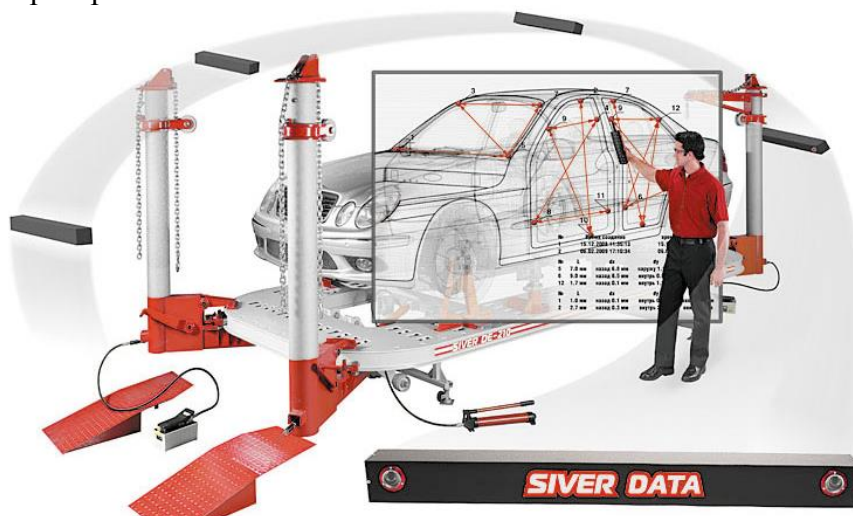
**Измерительный прибор** – средство измерения, которое, в отличие от преобразователя, служит для выработки сигнала в форме, которая доступна для непосредственного восприятия наблюдателем.



**Измерительные установки** – это совокупность средств измерений (меры, измерительные приборы и преобразователи) и вспомогательных устройств, объединенных функционально.



**Измерительные системы** – представляет собой такую же совокупность, но составляющие ее звенья соединены между собой каналами связи, которые размещены в разных точках контролируемого пространства.



**Система измерения геометрии кузова автомобиля**

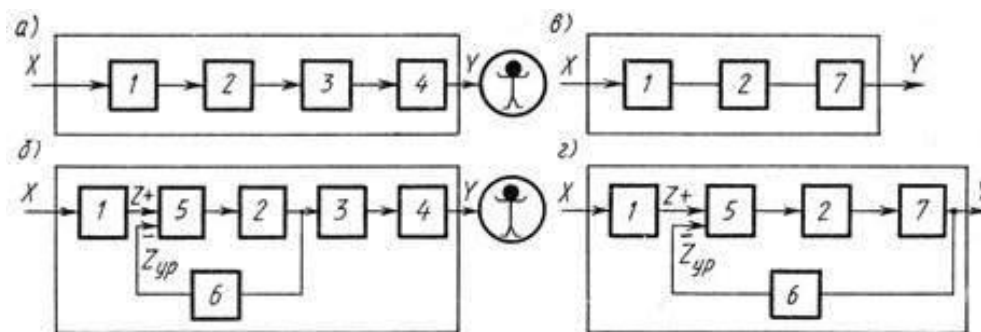
**Измерительные индикаторы** – представляет собой такую же совокупность, но составляющие ее звенья соединены между собой каналами связи, которые размещены в разных точках контролируемого пространства.



### Структурная схема средств измерений

На рис. приведены структурные схемы измерительных устройств прямого действия (а, в) и сравнения (б, г).

Первое часто называют измерительными устройствами прямого преобразования, а второе – измерительными устройствами уравнивающего, или компенсационного, преобразования.



- 1). Чувствительный элемент; 2). Промежуточный преобразовательный элемент;
- 3). Измерительный механизм; 4). Выходной сигнал;
- 5). Преобразовательный элемент;



**Метрологические характеристики средств измерения** — характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и его погрешность.

Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативными документами на средства измерений, называют нормируемыми метрологическими характеристиками, а определяемые экспериментально — действительными.

Выделяют следующие метрологические характеристики измерительного инструмента:

- 1) Диапазон измерения;
- 2) Стабильность средств измерений;
- 3) Градуировочная характеристика средств измерений;
- 4) Погрешность средств измерения

#### **Статические характеристики средств измерений:**

1. **Функция (характеристика) преобразования** — функциональная зависимость выходной величины от входной, которая может быть задана формулой, таблицей, графиком;
2. **Чувствительность преобразования** - отношение изменения выходной величины прибора или измерительного преобразователя к вызвавшему ее изменению входной величины;
3. **Порог чувствительности** - изменение значения измеряемой величины, способное вызвать наименьшее обнаруживаемое изменение выходной величины.
4. **Статические погрешности средств измерений.**

#### **Частные метрологические характеристики**

**Цена деления шкалы** — разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы;

**Предел показаний и измерений** – это минимальное (нижний предел) и максимальное (верхний предел) значения шкалы прибора.

**Диапазон показаний** – область значений шкалы прибора, ограниченная начальной и конечной отметками шкалы.

**Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности прибора.

- ✓ Выходной код;
- ✓ Число разрядов кода;
- ✓ Номинальная цена единицы наименьшего разряда кода;
- ✓ Номинальная ступень квантования.

## РАЗДЕЛ II НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ

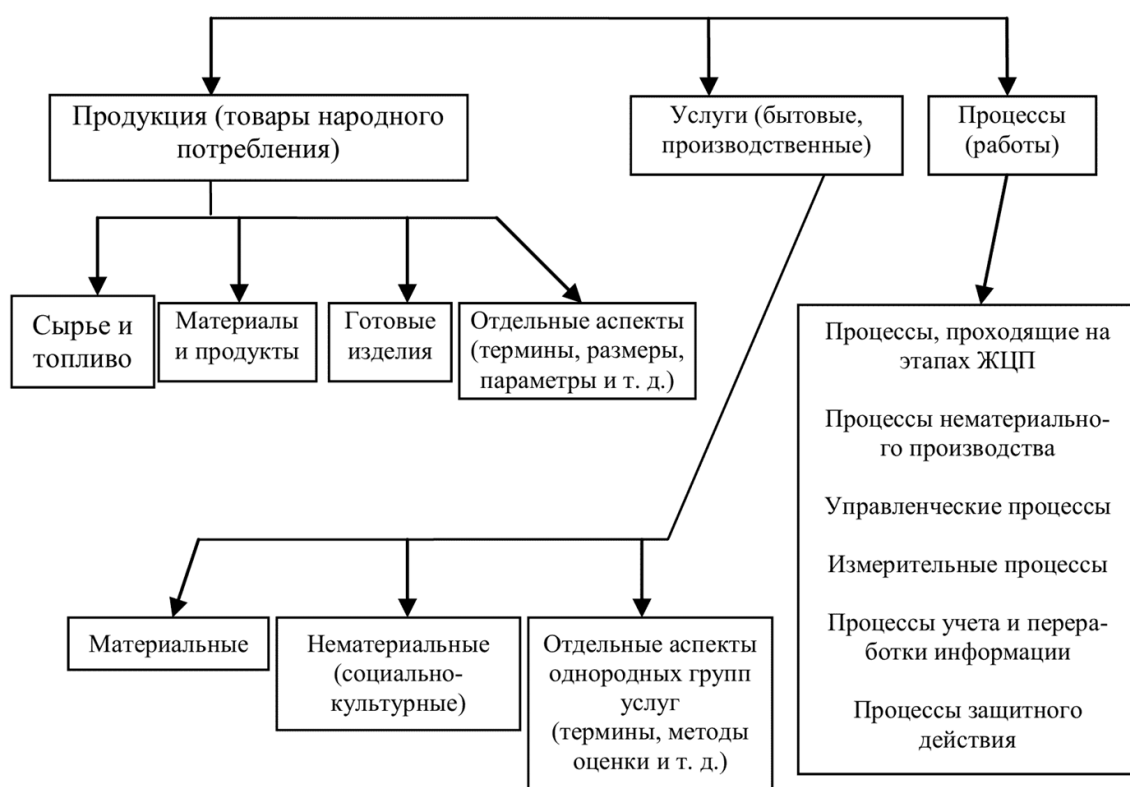
### ТЕМА 1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ

**Система технического нормирования и стандартизации** – совокупность технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, субъектов технического нормирования и стандартизации, а также правил и процедур функционирования системы в целом.

**Стандартизация** – деятельность по установлению технических требований в целях их всеобщего и многократного применения в отношении постоянно повторяющихся задач, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в области разработки, производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказания услуг.

**Техническое нормирование** – деятельность по установлению обязательных для соблюдения технических требований, связанных с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказания услуг.

**объекты технического нормирования и стандартизации** – продукция, процессы ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказание услуг.



#### Цели технического нормирования и стандартизации:

- защита жизни, здоровья и наследственности человека, имущества и охраны окружающей среды;
- повышение конкурентоспособности продукции (услуг);
- техническая и информационная совместимость, а также взаимозаменяемость продукции;

- единство измерений;
- национальная безопасность;
- устранение технических барьеров в торговле;
- рациональное использование ресурсов.

#### **Принципы технического нормирования и стандартизации:**

- обязательность применения технических регламентов;
- доступность технических регламентов, технических кодексов и государственных стандартов, информации о порядке их разработки, утверждения и опубликования для пользователей и иных заинтересованных лиц;
- приоритетное использование международных и межгосударственных (региональных) стандартов;
- использование современных достижений науки и техники;
- обеспечение права участия юридических и физических лиц, включая иностранные, и технических комитетов по стандартизации в разработке технических кодексов, государственных стандартов;
- добровольное применение государственных стандартов.

#### **Нормативные документы по стандартизации:**

В соответствии с новой системой технического нормирования и стандартизации к техническим нормативным правовым актам в области технического нормирования и стандартизации относятся:

- технические регламенты;
- технические кодексы установившейся практики;
- государственные стандарты Республики Беларусь;
- стандарты организаций;
- технические условия.

## **ТЕМА 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ И СТАНДАРТИЗАЦИИ**

**Метод стандартизации** – это прием или совокупность приемов, с помощью которых достигаются цели стандартизации.



**Стандартизация** – это не только вид деятельности, но и комплекс методов, позволяющих достигнуть оптимального решения повторяющейся задачи и узаконить его в качестве норм и правил.

**Упорядочение объектов стандартизации** – упорядочение прежде всего означает сокращение разнообразия.

Результатом работ по упорядочиванию являются ограничительные перечни комплектующих изделий для конечной готовой продукции, типовые формы технических и управленческих документов и т. д.

**Систематизация объектов стандартизации** – заключается в научно обоснованном последовательном классифицировании совокупности конкретных объектов стандартизации. Примером систематизации продукции является классификатор промышленной и сельскохозяйственной продукции.

**Селекция объектов стандартизации** – заключающаяся в отборе таких конкретных объектов, которые признаются целесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве.

**Типизация объектов стандартизации** – деятельность по созданию типовых (образцовых) объектов-конструкций, технологических правил, форм документации.

**Оптимизация объектов стандартизации** деятельность, заключающаяся в нахождении главных оптимальных параметров (параметров назначения), а также значений всех других показателей качества и экономичности.

**Симплификация объектов стандартизации** – деятельность, заключающаяся в определении таких конкретных объектов, которые признаются нецелесообразными для дальнейшего производства и применения в общественном производстве.

**Унификация продукции** – это деятельность по рациональному сокращению числа типов деталей, агрегатов одинакового функционального назначения.

**Агрегатирование** – это метод создания машин, приборов и оборудования из отдельных стандартных унифицированных узлов, многократно используемых при создании различных изделий на основе геометрической и функциональной взаимозаменяемости.

**Степень унификации характеризуется уровнем унификации продукции** – насыщенностью продукции унифицированными, в том числе стандартизированными, деталями, узлами и сборочными единицами.

Одним из показателей уровня унификации является коэффициент применяемости (унификации)  $K_{\pi}$ , который вычисляют по формуле

$$K_{\pi} = \frac{n - n_0}{n} 100\%,$$

где  $n$  – общее число деталей в изделии, шт.;  $n_0$  – число оригинальных деталей (разработаны впервые), шт.

**Комплексная стандартизация** – осуществляются целенаправленное и планомерное установление и применение системы взаимоувязанных требований как к самому объекту комплексной стандартизации в целом, так и к его основным элементам в целях оптимального решения конкретной проблемы.

**Опережающая стандартизация** – заключается в установлении повышенных по отношению к уже достигнутому на практике уровню норм и требований к объектам стандартизации, которые согласно прогнозам будут оптимальными в последующее время.

**Параметрическая стандартизация** – это когда параметрические ряды машин, приборов, тары рекомендуется строить согласно системе предпочтительных чисел, изменяющихся в геометрической прогрессии.

- размерные параметры (размер одежды, обуви, емкость посуды);
- весовые параметры (масса отдельных видов инвентаря);
- параметры, характеризующие производительность машин и приборов (скорость движения);
- энергетические параметры (мощность двигателя).

В стандартизации применяют ряды чисел, члены которых являются членами арифметической или геометрической прогрессий

| Обозначение ряда | Знаменатель прогрессии   | Количество членов прогрессии |
|------------------|--------------------------|------------------------------|
| R5               | $^5\sqrt{10} = 1,6$      | 5                            |
| R10              | $^{10}\sqrt{10} = 1,25$  | 10                           |
| R20              | $^{20}\sqrt{10} = 1,12$  | 20                           |
| R40              | $^{40}\sqrt{10} = 1,059$ | 40                           |
| R80              | $^{80}\sqrt{10} = 1,029$ | 80                           |

### ТЕМА 3. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

**Взаимозаменяемость** – это свойства изготовленных изделий, обеспечивать возможность использования при сборке одного изделия вместо другого без дополнительной обработки (пригонки) с сохранением заданного качества изделия, в состав которого он входит, работоспособного состояния и надежности.



**Полная взаимозаменяемость** обеспечивается тогда, когда размеры выполнены с точностью, позволяющей проводить сборку машин, прибора или замены деталей при ремонте без какой-либо дополнительной обработки, подбора или регулирования.

*Пример – сборка электродвигателей.*

**Неполная (ограниченная) взаимозаменяемость** применяется в тех случаях, когда технология производства деталей не может обеспечивать заданную точность сборки. Эта взаимозаменяемость предполагает дополнительные технологические или конструктивные приемы.

*Пример – сборка подшипников.*

**Функциональная взаимозаменяемость** обеспечивает соблюдение геометрических, механических, электрических, химических и других параметров, которые называются функциональными в связи с эксплуатационными показателями, чтобы достичь определенной точности деталей, узлов, изделий.

*Пример – на величину крутящего момента (эксплуатационный параметр), передаваемого неподвижным коническим соединением, оказывает влияние точность изготовления углов конусов (функциональный параметр).*

**Внешняя взаимозаменяемость** - это взаимозаменяемость, главным образом, комплектующих изделий по эксплуатационным показателям и геометрическим параметрам присоединительных поверхностей.



## ТЕМА 4. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

**Номинальный размер** – это основной размер, определенный исходя из функционального назначения детали и служащий началом отсчета отклонений.

**Действительный размер** – это размер, полученный в результате непосредственного измерения с допустимой погрешностью.

**Предельный размер** – это два предельных значения размера, между которыми должен находиться действительный размер.

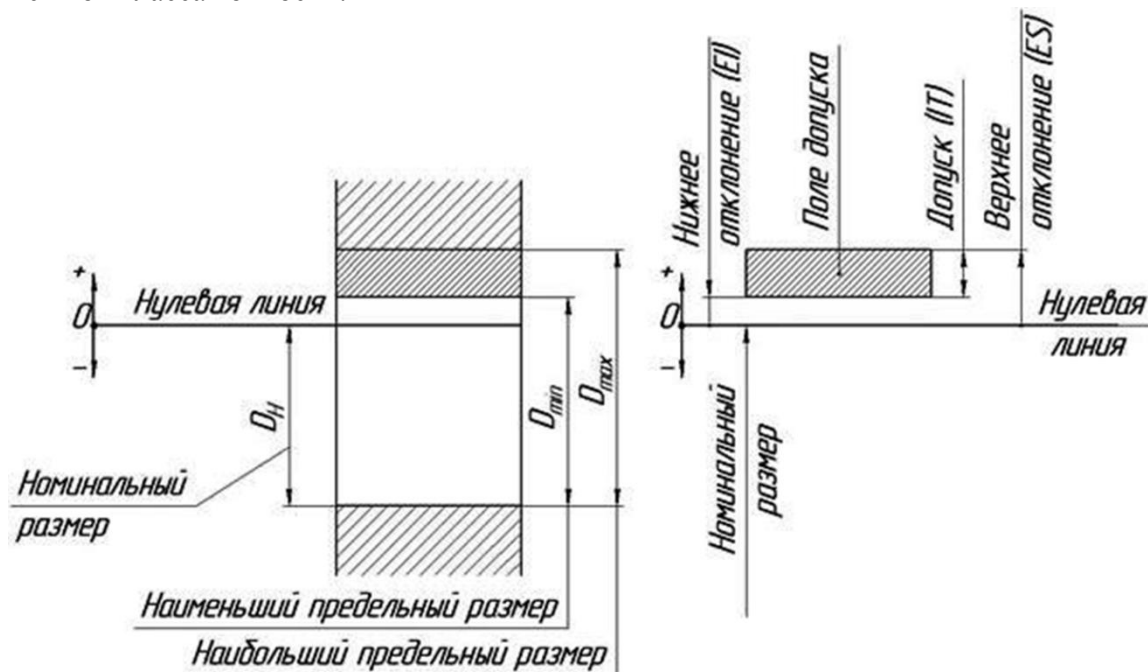
**Нулевая линия** – это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения.

**Верхнее предельное отклонение** – это разность между наибольшим предельным размером и номинальным.

**Нижнее предельное отклонение** – это разность между наименьшим предельным размером и номинальным.

**Допуск размера** – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

**Поле допуска** – это интервал значений размеров, ограниченный предельными размерами. Зависит от класса точности.



**Посадка** – это характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров и натягов.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадки подразделяются на три группы:

**С зазором** (подвижные), при которых обеспечивается зазор в соединении.

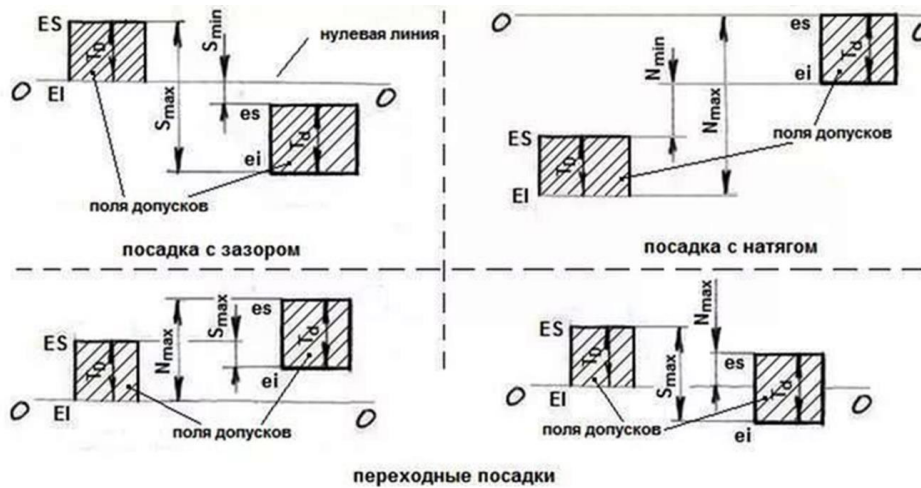
**С натягом** (неподвижные), при которых обеспечивается натяг в соединении.

**Переходные**, при которых соединения могут осуществляться как с зазором, так и с натягом.

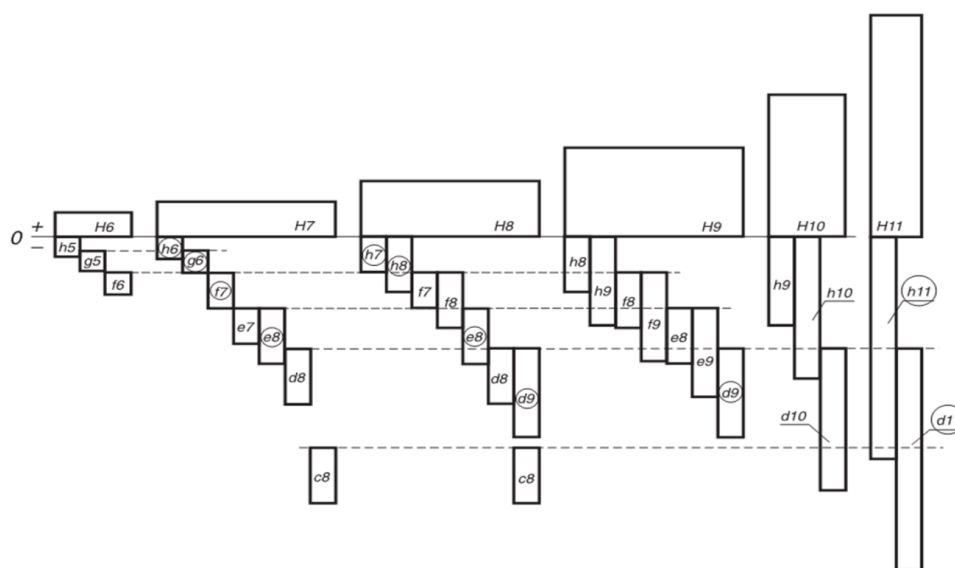
Кроме допусков размера вала и отверстия, существует также допуск посадки.

**Допуск посадки** – это разность между наибольшим и наименьшим зазорами (в посадках с зазором) или наибольшим и наименьшим натягами (в посадках с натягом).

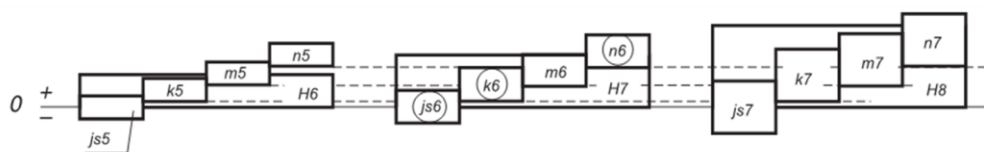
В переходных посадках допуск посадки равен разности между наибольшим и наименьшим натягами или сумме наибольшего натяга и наименьшего зазора.



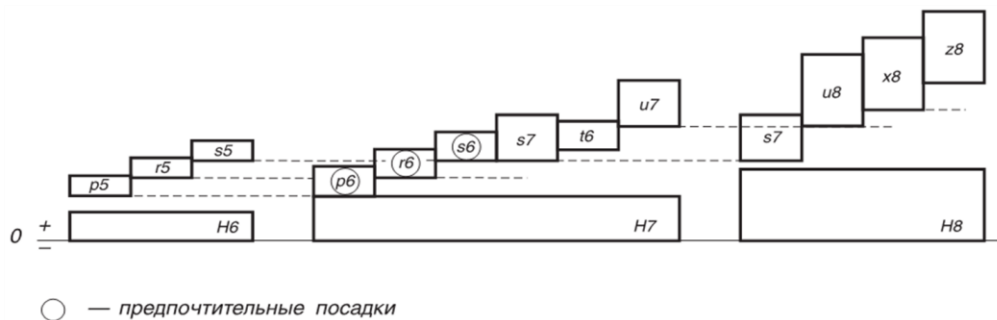
### ПОСАДКИ С ЗАЗОРОМ



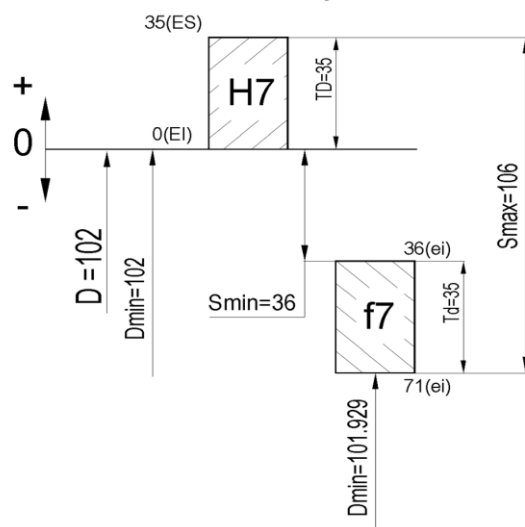
### ПЕРЕХОДНЫЕ ПОСАДКИ



### ПОСАДКИ С НАТЯГОМ



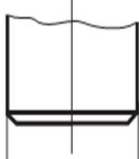
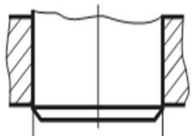
## Схема полей допусков посадки $\varnothing 102 \frac{H7}{f7}$



### Обозначение полей допусков на чертежах деталей для обеспечения точности размеров

На чертежах применяют три способа обозначения допусков и посадок :

- 1 – буквенное (условное);
- 2 – цифровое (числовое);
- 3 – смешанное (условное и числовое).

| Способ указания на чертежах предельных отклонений                       |  |  |                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Условное обозначение полей допусков                                  | $\varnothing 64 k6$                                                                 | $\varnothing 64 H7$                                                                  | $\varnothing 64 \frac{H7}{k6}$                                                                                                           |
| 2. Указание числовых значений предельных отклонений                     | $\varnothing 64 \begin{smallmatrix} +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$             | $\varnothing 64 \begin{smallmatrix} +0,03 \end{smallmatrix}$                         | $\varnothing 64 \begin{smallmatrix} +0,030 \\ +0,021 \\ +0,002 \end{smallmatrix}$                                                        |
| 3. Условное обозначение полей допусков с указанием их числовых значений | $\varnothing 64 k6 \begin{smallmatrix} (+0,021) \\ (+0,002) \end{smallmatrix}$      | $\varnothing 64 H7 \begin{smallmatrix} (+0,03) \end{smallmatrix}$                    | $\varnothing 64 \frac{H7 \begin{smallmatrix} (+0,030) \end{smallmatrix}}{k6 \begin{smallmatrix} (+0,021) \\ (+0,002) \end{smallmatrix}}$ |

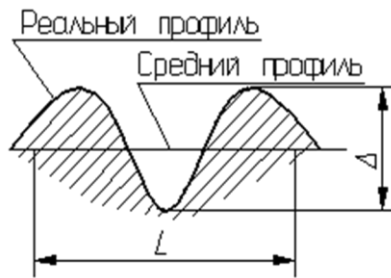
## ТЕМА 5. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДОПУСКОВ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

### Отклонения и допуски формы поверхностей.

Отклонения и допуски формы (ГОСТ24462-83)

**ОТКЛОНЕНИЕ ФОРМЫ** - отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля.

**СРЕДНИЙ ЭЛЕМЕНТ** - поверхность (профиль), имеющая форму номинальной поверхности (профиля).



При отсчете от среднего элемента отклонение формы равно сумме абсолютных значений наибольших отклонений точек реальной поверхности (профиля) по обе стороны от среднего элемента (рис.)

**Количественно отклонение формы оценивается** наибольшим расстоянием от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающей поверхности (профиля) по нормали к прилегающей поверхности (профилю).

**Допуск формы (T)** - наибольшее допустимое значение отклонения формы.

**Поле допуска формы** - область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реального рассматриваемого элемента в пределах нормируемого участка (L).

Ширина или диаметр поля допуска определяется значением допуска, а расположение относительно реальной поверхности определяется прилегающим элементом.

**К отклонениям и допускам формы относятся:**

- отклонение от плоскостности, допуск плоскостности;
- отклонение от прямолинейности, допуск прямолинейности;
- отклонение от круглости, допуск круглости;
- отклонение от цилиндричности, допуск цилиндричности;
- отклонение и допуск профиля продольного сечения цилиндрической поверхности.

**Приняты следующие условные обозначения:**

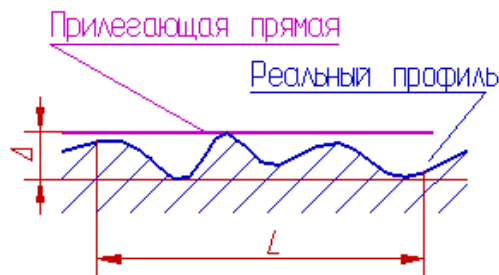
$\Delta$  — отклонение формы или отклонение расположения поверхностей;

$T$  — допуск формы или допуск расположения;

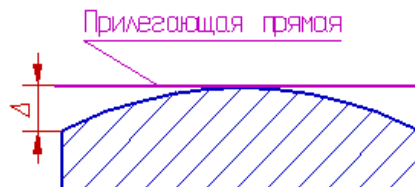
$L$  — длина нормируемого участка.



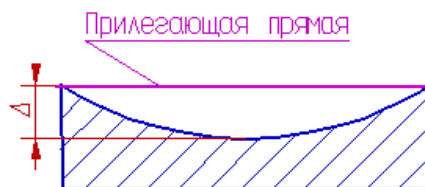
**Отклонение от прямолинейности в плоскости** - наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка.



Частными видами отклонения от прямолинейности являются **выпуклость** и **вогнутость**.



**Выпуклость** - отклонение от прямолинейности, при котором удаление точек реального профиля от прилегающей прямой уменьшается от краев к дине.

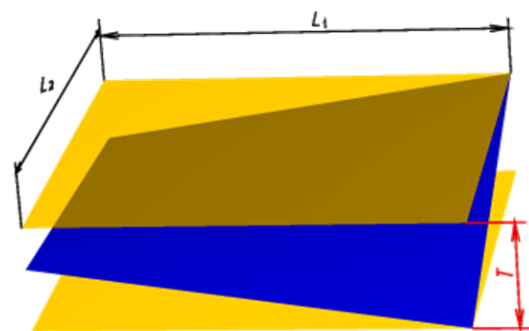
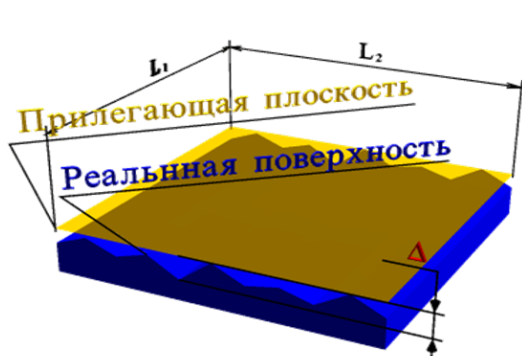


**Вогнутость** — отклонение от, прямолинейности при котором удаление точек реального профиля от прилегающей прямой увеличивается от краев к середине.

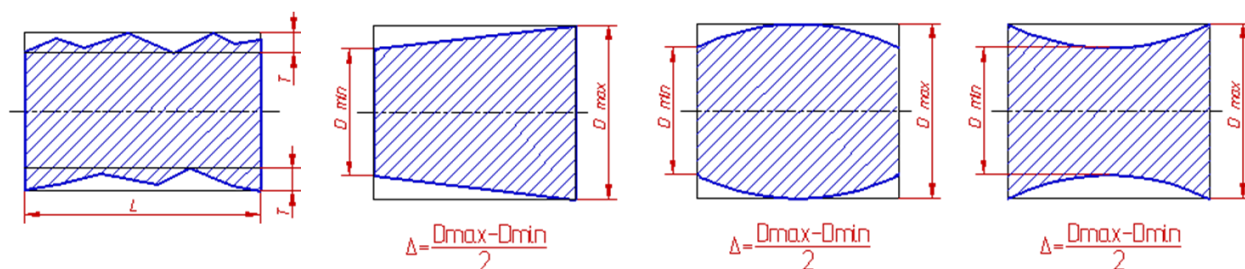
**Отклонение от плоскостности** - наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка.

Частными видами отклонения от прямолинейности являются

**выпуклость** и **вогнутость**.



**Отклонение профиля продольного сечения цилиндрической поверхности** - наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка.



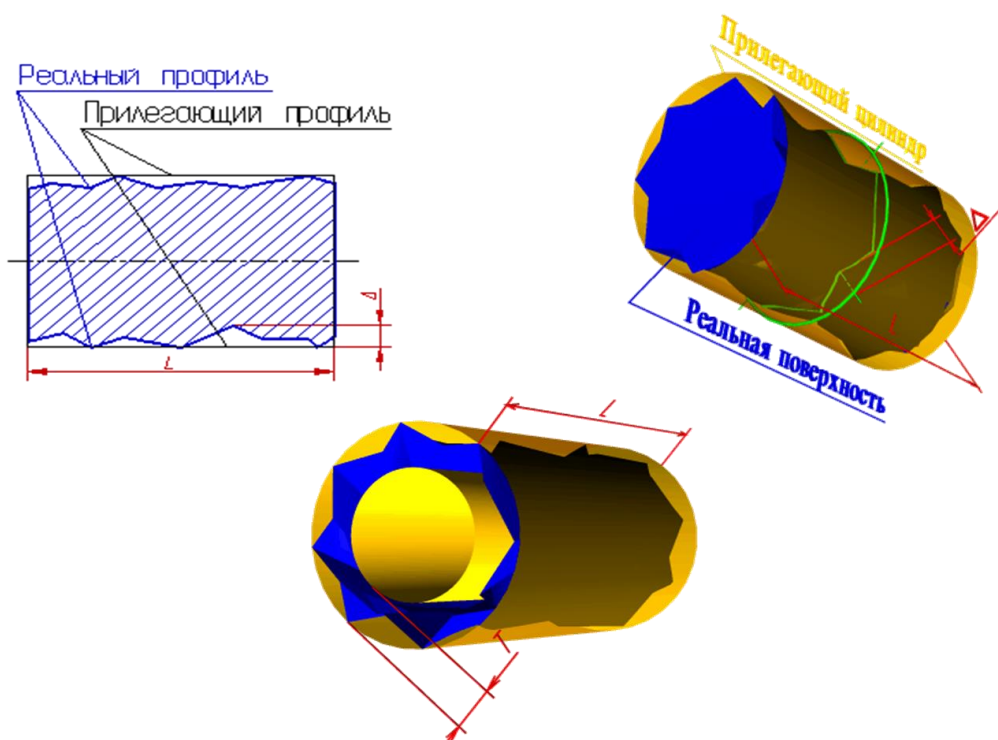
Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются **конусообразность**, **бочкообразность** и **седлообразность**.

**Конусообразность** - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны.

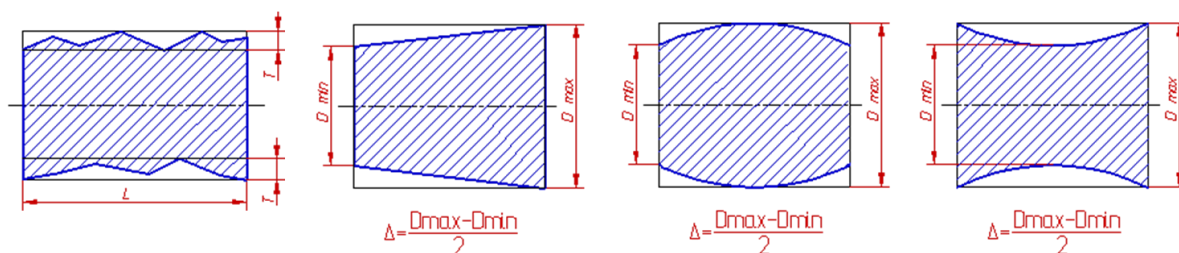
**Бочкообразность** - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения.

**Седлообразность** - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения.

**Отклонение от цилиндричности** - наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка.



**Отклонение профиля продольного сечения цилиндрической поверхности** - наибольшее расстояние  $\Delta$  от точек образующих реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка.



Частными видами отклонения профиля продольного сечения являются **конусообразность, бочкообразность и седлообразность**.

**Конусообразность** - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны.

**Бочкообразность** - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения.

**Седлообразность** - отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения.

**Отклонения и допуски расположения поверхностей.**

**Отклонением расположения  $ER$**  называется отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. Под **номинальным** понимается расположение определяемое номинальными линейными и угловыми размерами.

Для оценки точности расположения поверхностей назначаются **базы** (элемент детали, по отношению к которому задается допуск расположения и определяется соответствующее отклонение).

**Допуском расположения** называется предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения поверхностей.

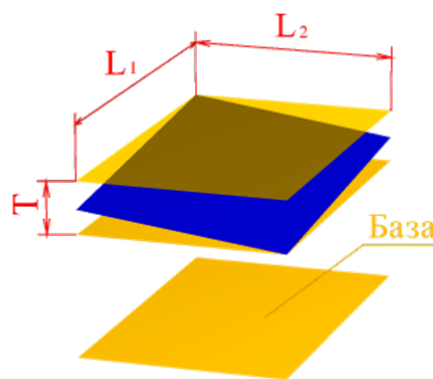
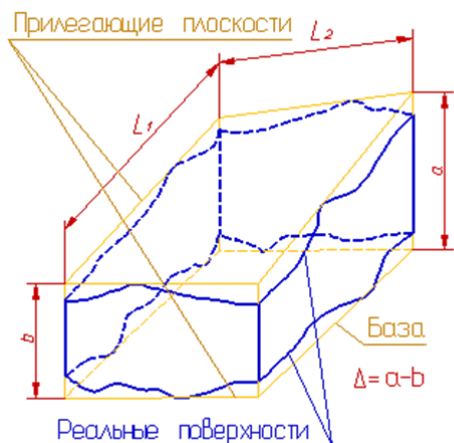
**Поле допуска расположения  $TR$**  – область в пространстве или заданной плоскости, внутри которой должен находиться прилегающий элемент или ось, центр, плоскость симметрии в пределах нормируемого участка, ширина или диаметр которой определяется значением допуска, а расположение относительно баз – номинальным расположением рассматриваемого элемента.

**Стандартом установлено 7 видов отклонений расположения поверхностей:**

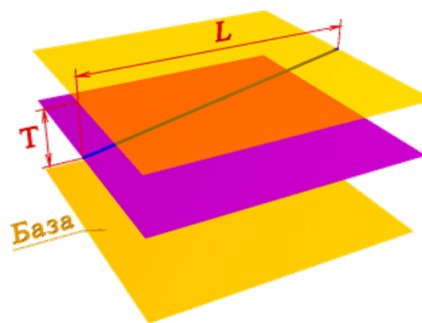
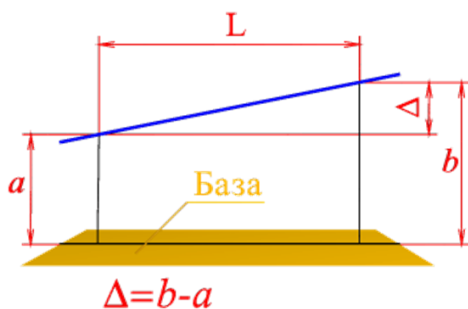
- от параллельности; - от перпендикулярности; - наклона;
- от соосности; - от симметричности; - позиционное;

Отклонение и допуски расположения (ГОСТ 24642-83)

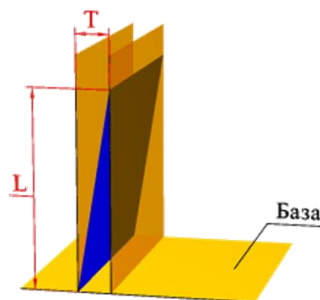
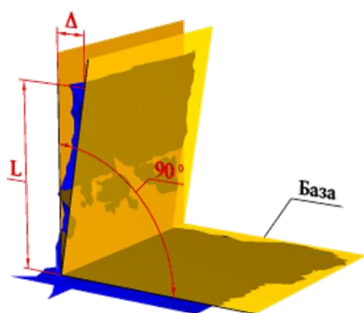
**Отклонение от параллельности плоскостей** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями в пределах нормируемого участка



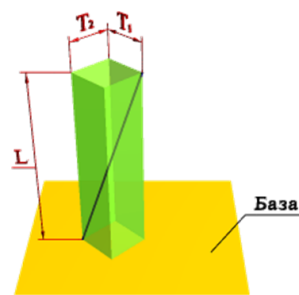
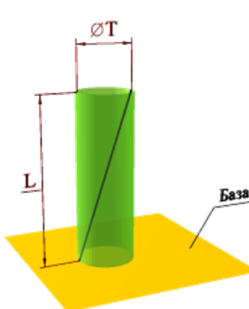
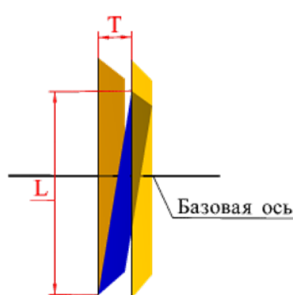
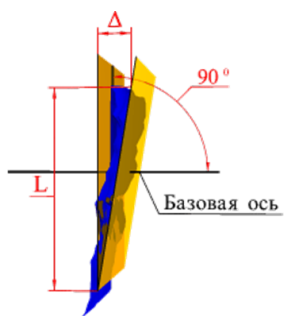
**Отклонение от параллельности оси (или прямой) и плоскости** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний между осью (прямой) и плоскостью на длине нормируемого участка



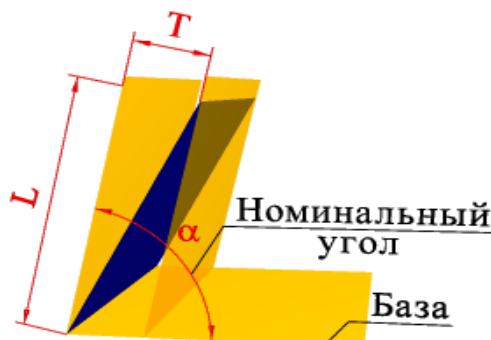
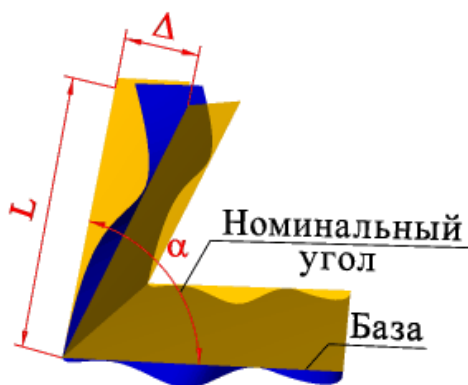
**Отклонение от перпендикулярности плоскостей** - отклонение угла между плоскостями от прямого угла ( $90^\circ$ ), выраженное в линейных единицах  $\Delta$  на длине нормируемого участка.



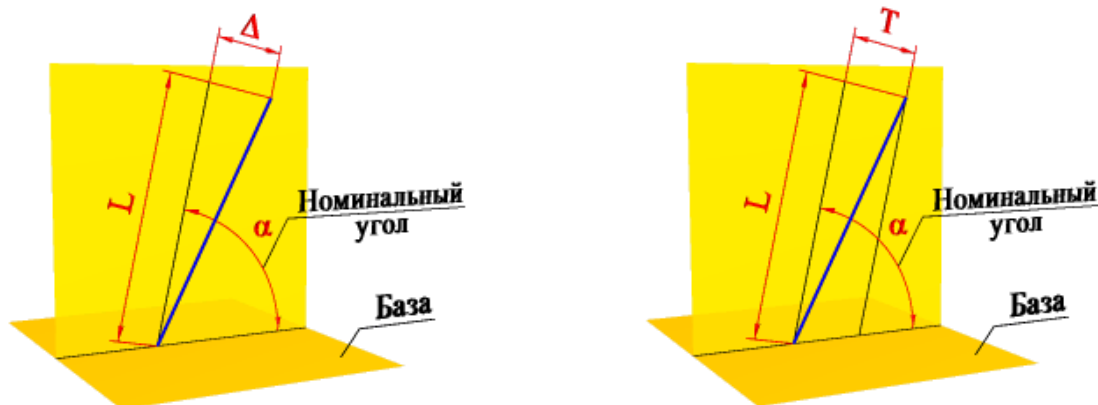
**Отклонение от перпендикулярности плоскости или оси (или прямой) относительно оси (прямой)** - отклонение угла между плоскостью или осью (прямой) и базовой осью от прямого угла ( $90^\circ$ ), выраженное в линейных единицах  $\Delta$  на длине нормируемого участка



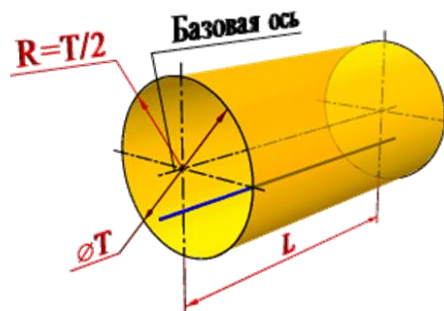
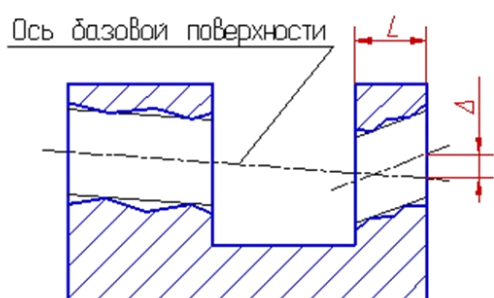
**Отклонение наклона плоскости относительно плоскости или оси (или прямой)** - отклонение угла между плоскостью и базовой плоскостью или базовой осью (прямой) от номинального угла, выраженное в линейных единицах  $\Delta$  на длине нормируемого участка.



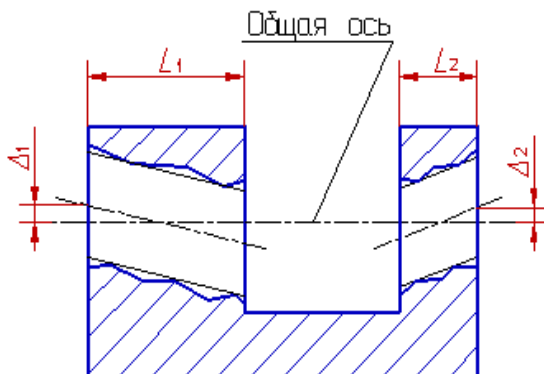
**Отклонение наклона оси (или прямой) относительно оси (прямой) или плоскости** - отклонение угла между осью поверхности вращения (прямой) и базовой осью или базовой плоскостью от номинального угла, выраженное в линейных единицах  $\Delta$  на длине нормируемого участка



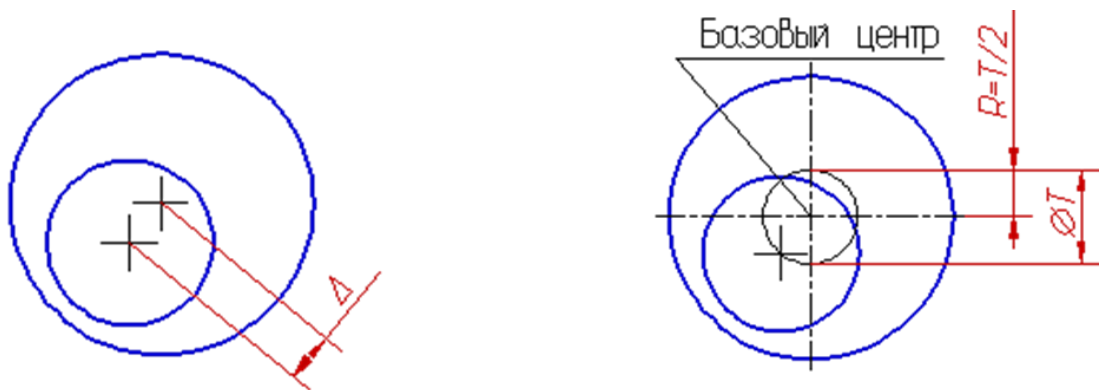
**Отклонение от соосности относительно оси базовой поверхности** - наибольшее расстояние  $\Delta$  между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка.



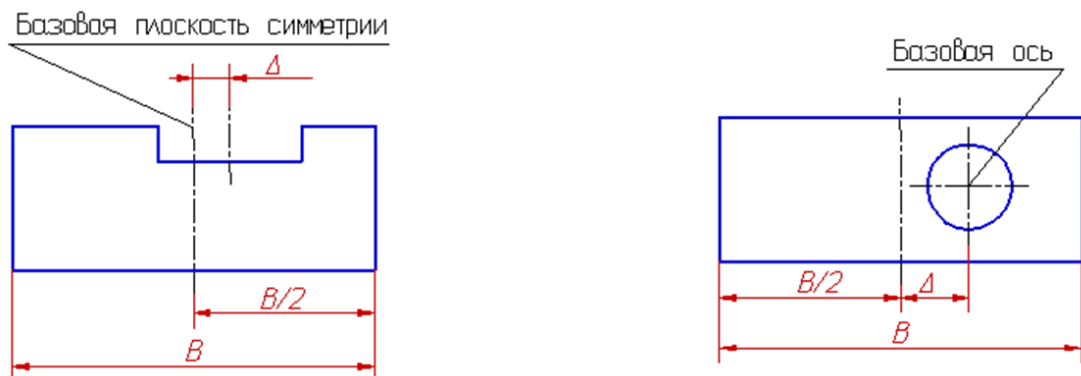
**Отклонение от соосности относительно общей оси** - наибольшее расстояние ( $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ ) между осью рассматриваемой поверхности вращения и общей осью двух или нескольких поверхностей вращения на длине нормируемого участка



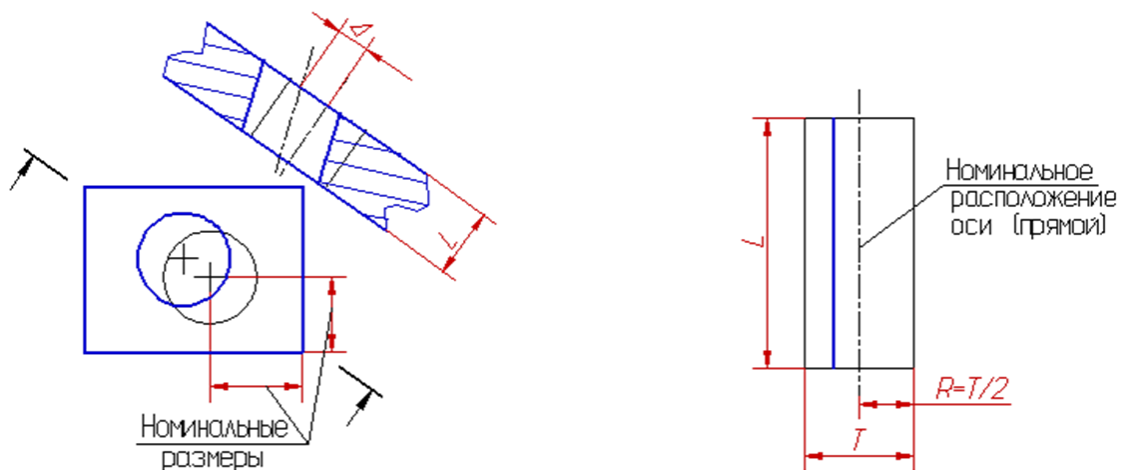
**Отклонение от concentricity** - отклонение от concentricity — расстояние в заданной плоскости между центрами профилей (линий), имеющих номинальную форму окружности.



**Отклонение от симметричности относительно базового элемента** - наибольшее расстояние  $\Delta$  между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента (или элементов) и плоскостью симметрии базового элемента в пределах нормируемого участка



**Позиционное отклонение** - наибольшее расстояние  $\Delta$  между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка.



**Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей.**

**Суммарное отклонение формы и расположения** - отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонения формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности или рассматриваемого профиля относительно заданных баз.

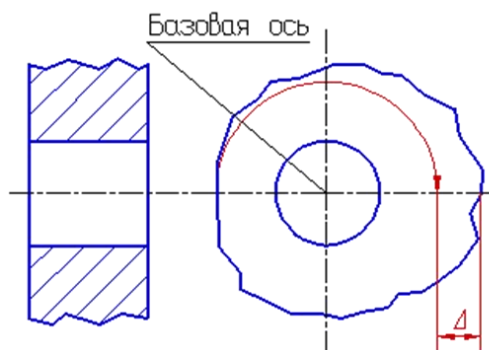
**Суммарный допуск формы и расположения** – предел ограничивающий допускаемое значение с отклонения формы и расположения.

**Поле суммарного допуска формы и расположения** – область в пространстве или на заданной поверхности, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности (профиля) в пределах нормируемого участка.

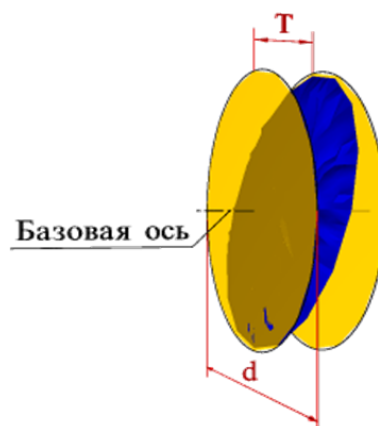
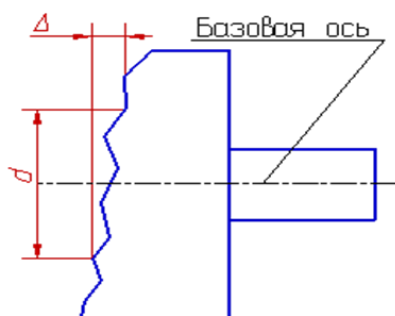
### Виды суммарного отклонения и допуска формы расположения поверхностей:

- Радиальное биение и допуск радиального биения.
- Торцовое биение и допуск торцового биения.
- Биение и допуск биения в заданном направлении.
- Полное радиальное биение и допуск полного радиального биения.
- Полное торцовое биение и допуск полного торцового биения.
- Отклонение и допуск формы заданного профиля.
- Отклонение и допуск формы заданной поверхности.

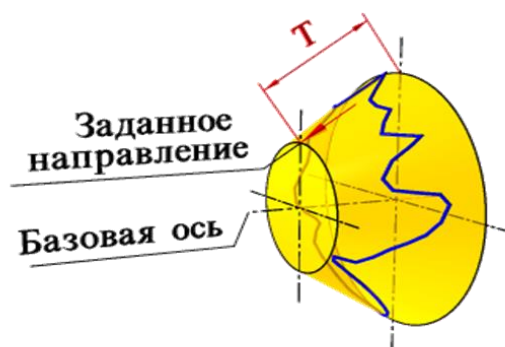
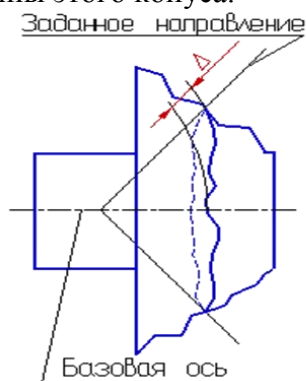
**Радиальное биение** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси.



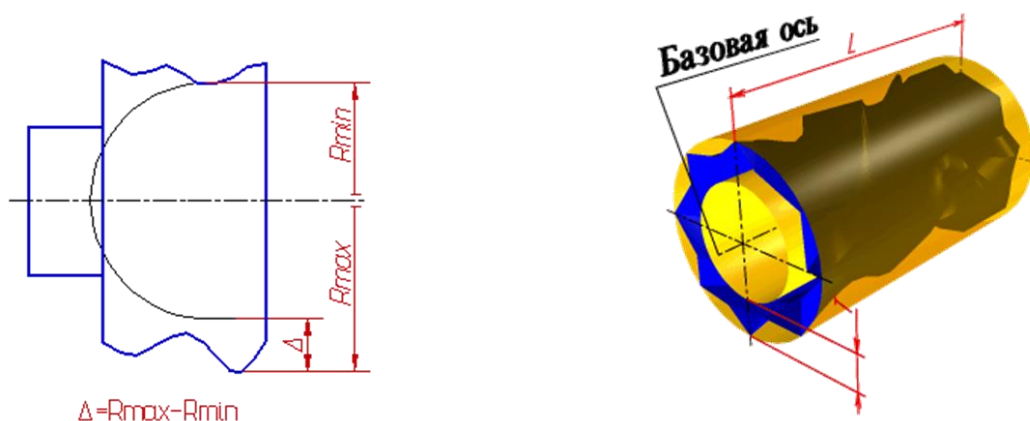
**Торцовое биение** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности, до плоскости, перпендикулярной базовой оси.



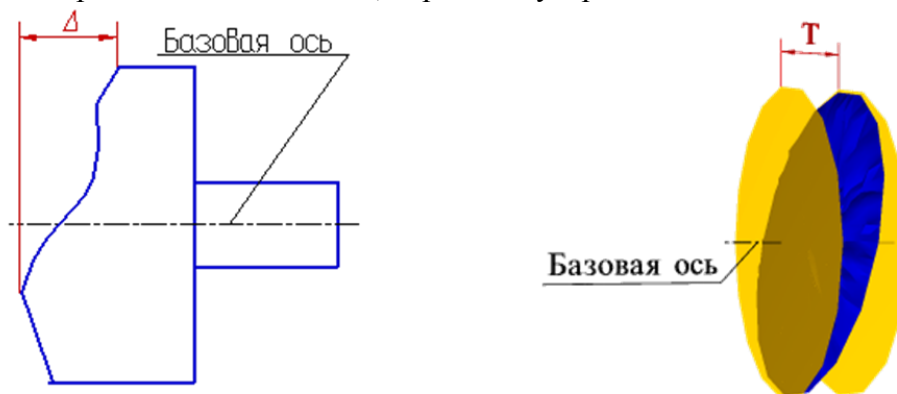
**Биение в заданном направлении** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения в сечении рассматриваемой поверхности конусом, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление, до вершины этого конуса.



**Полное радиальное биение** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси.



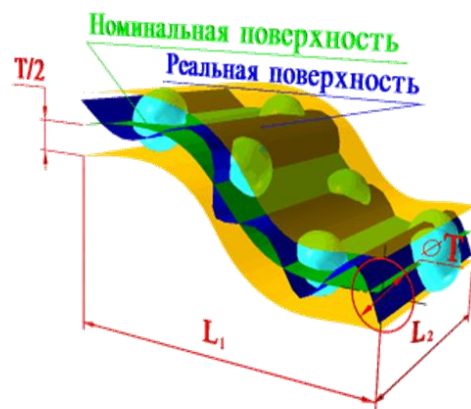
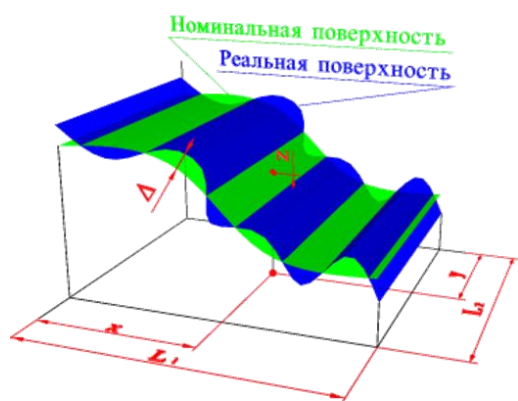
**Полное торцевое биение** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси.



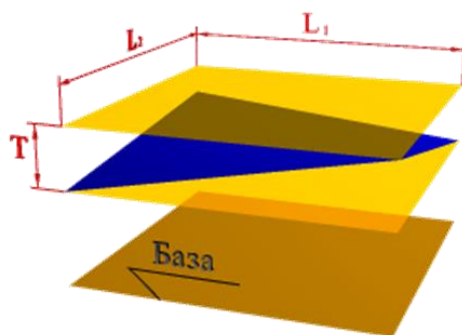
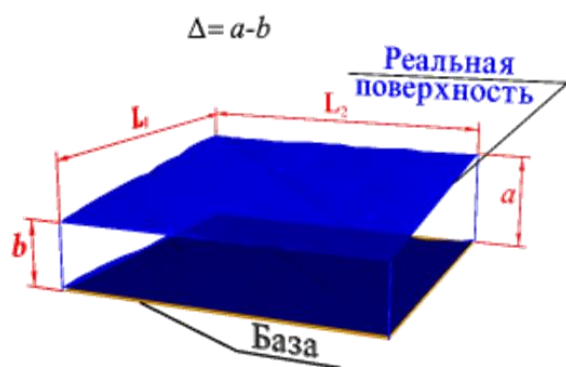
**Отклонение формы заданного профиля** - наибольшее отклонение  $\Delta$  точек реального профиля от номинального профиля, определяемое по нормали к номинальному профилю в пределах нормируемого участка.



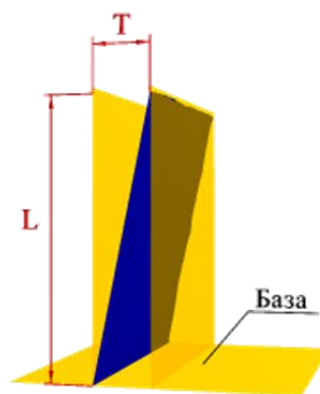
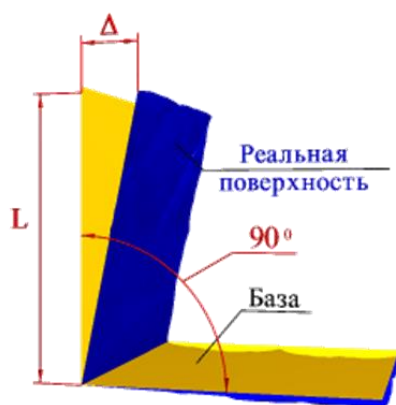
**Отклонение формы заданной поверхности** - наибольшее отклонение  $\Delta$  точек реальной поверхности от номинальной поверхности, определяемое по нормали к номинальной поверхности в пределах нормируемого участка.



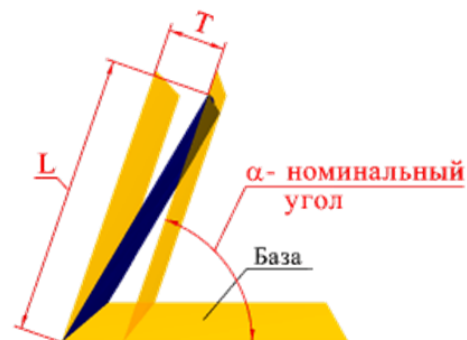
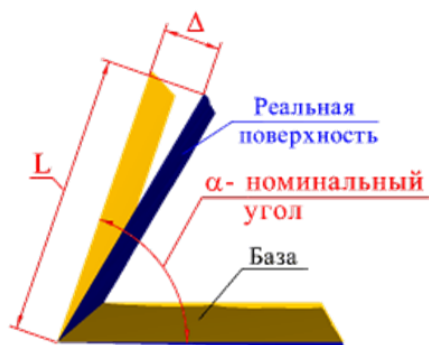
**Суммарное отклонение от параллельности и плоскостности** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой плоскости в пределах нормируемого участка.



**Суммарное отклонение от перпендикулярности и плоскостности** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой плоскости или базовой оси в пределах нормируемого участка.



**Суммарное отклонение от номинального наклона и плоскостности** - разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до плоскости, расположенной под заданным номинальным углом относительно базовой плоскости или базовой оси, в пределах нормируемого участка.



### Указание допусков формы и расположения поверхностей на чертежах.

| Пример нанесения допуска на чертеже по ГОСТ 2.308—79 | Изображение допуска и отклонения                                                                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Допуск и отклонение от цилиндричности             |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                      | <p>Прилегающий цилиндр</p> <p>Реальная поверхность</p> <p>Отклонение от цилиндричности <math>EFZ \leq 0.01</math></p> <p>Допуск цилиндричности <math>TFZ = 0.01</math></p>                                                                                                      |
| 2. Допуск и отклонение от круглости                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                      | <p>Прилегающая окружность</p> <p>Отклонение от круглости <math>EFK \leq 0.01</math></p> <p>Реальная поверхность</p> <p>Допуск круглости <math>TFK = 0.01</math></p>                                                                                                             |
| 3. Допуск и отклонение профиля продольного сечения   |                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                                                      | <p>Прилегающий профиль</p> <p>Отклонение от профиля продольного сечения <math>EFP \leq 0.01</math></p> <p>Допуск профиля продольного сечения <math>TFP = 0.01</math></p> <p>Допуск профиля продольного сечения <math>TFP = 0.01</math></p> <p>Реальная поверхность</p> <p>L</p> |

В соответствии с ГОСТ 2.308—79, вид допуска формы и расположения поверхностей должен быть обозначен в чертеже знаками (графическими символами), приведенными в таблице 1.

**Таблица 1** – Классификация допусков формы и расположения по ГОСТ 24642–81 и условные знаки допусков по ГОСТ 2.308–79

| Группа допусков      | Вид допуска                        | Знак |
|----------------------|------------------------------------|------|
| Допуск формы         | Допуск прямолинейности             | —    |
|                      | Допуск плоскостности               | ▱    |
|                      | Допуск круглости                   | ○    |
|                      | Допуск цилиндричности              | ⊘    |
|                      | Допуск профиля продольного сечения | ≡    |
| Допуски расположения | Допуск параллельности              | //   |
|                      | Допуск перпендикулярности          | ⊥    |
|                      | Допуск наклона                     | ∠    |
|                      | Допуск соосности                   | ◎    |
|                      | Допуск симметричности              | ≡    |
|                      | Позиционный допуск                 | ⊕    |
|                      | Допуск пересечения осей            | ×    |

| Группа допусков                        | Вид допуска                          | Знак |
|----------------------------------------|--------------------------------------|------|
| Суммарные допуски формы и расположения | Допуск радиального биения            | ↗    |
|                                        | Допуск торцевого биения              |      |
|                                        | Допуск биения в заданном направлении |      |
|                                        | Допуск полного радиального биения    | ↗↗   |
|                                        | Допуск полного торцевого биения      |      |
|                                        | Допуск формы заданного профиля       | ⌒    |
|                                        | Допуск формы заданной поверхности    | ⌒    |

## ТЕМА 6. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВОЛНИСТОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

**Шероховатость поверхности регламентируется следующими стандартами:**

ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения;

ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики;

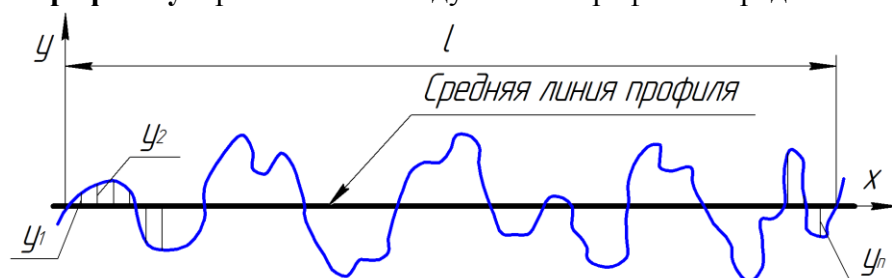
ГОСТ 2.309-73. Обозначение шероховатости поверхностей.

### Основные термины и определения

**Базовая длина  $l$**  – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности.

**Длина оценки  $L$**  – длина, на которой оцениваются значения параметров шероховатости. Она может содержать одну или несколько базовых длин.

**Отклонение профиля  $y$**  – расстояние между точкой профиля и средней линией:

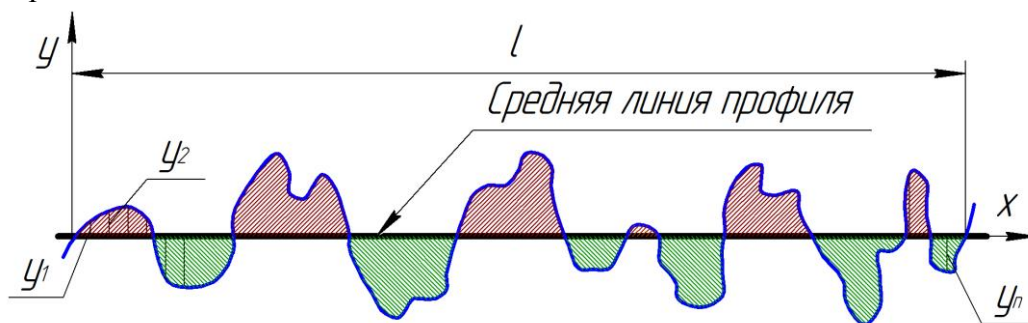


**Средняя линия профиля** ( $m$ ) – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, что в пределах базовой длины среднее квадратическое отклонение профиля до этой линии минимально.

**Среднее квадратическое отклонение профиля**  $R_q$  – среднеквадратическое отклонение профиля в пределах базовой длины (т.е. корень квадратный из суммы квадратов расстояний точек профиля от средней линии):

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l y^2(x) dx}.$$

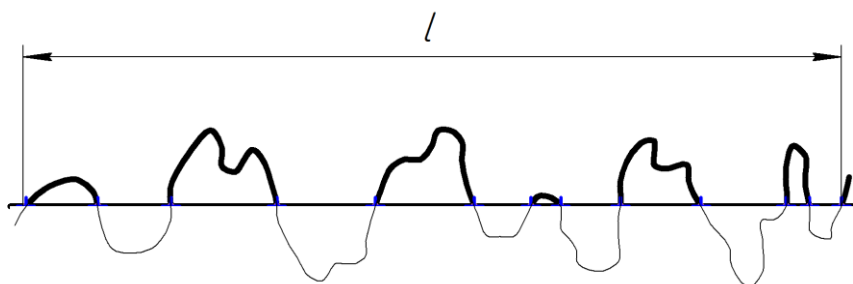
**Центральная линия профиля** – базовая длина, имеющая форму номинального профиля, расположенная эквидистантно общему направлению профиля и делящая профиль так, что в пределах базовой длины суммы площадей, заключенных между этой линией и профилем, по обе ее стороны одинаковы:



**Эквидистанта** (лат. *aequidistans* — равноудалённый) для данной плоской кривой  $L$  – это множество концов равных отрезков, отложенных в определённом направлении на нормалях к данной плоскости  $L$ .

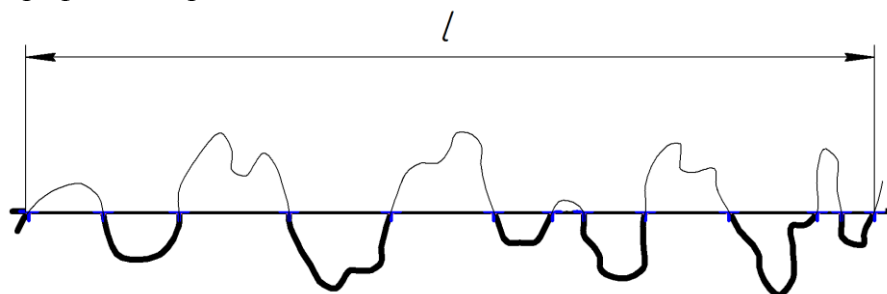
**Система средней линии** – система отсчета, используемая при оценке параметров шероховатости поверхности, в которой в качестве базовой линии используется средняя линия.

**Выступ профиля** – часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией профиля, направленная из тела:



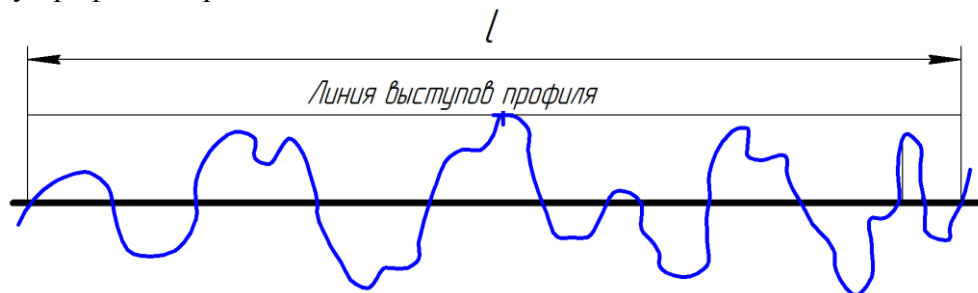
Примечание. Часть профиля, направленная из тела, в начале или конце базовой длины должна всегда рассматриваться как выступ профиля.

**Впадина профиля** – часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией профиля, направленная в тело:

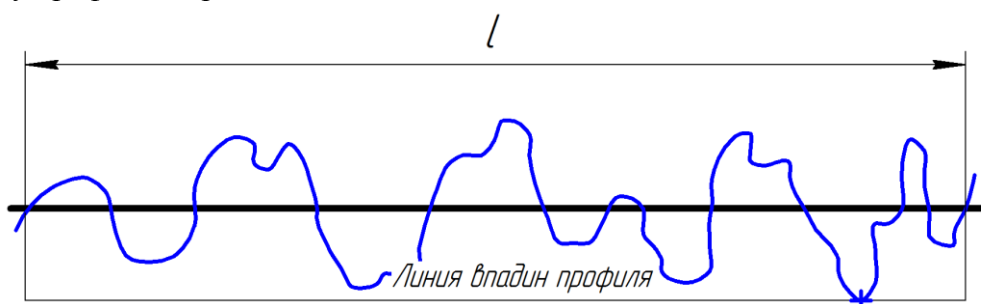


Примечание. Направленная в тело часть профиля в начале или конце базовой длины всегда должна рассматриваться как впадина.

**Линия выступов профиля** – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины:



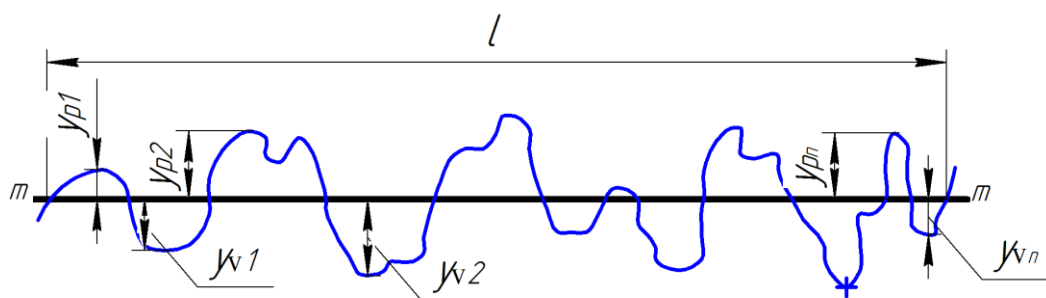
**Линия впадин профиля** – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через низшую точку профиля в пределах базовой длины:



**Уровень сечения профиля  $r$**  – расстояние между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль эквидистантно линии выступов профиля.

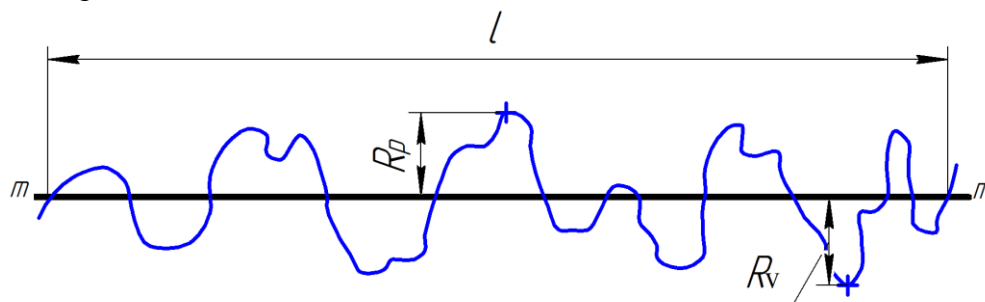
**Высота выступа профиля  $y_p$**  – расстояние от средней линии профиля до высшей точки выступа профиля:

**Глубина впадины профиля  $y_v$**  – расстояние от средней линии профиля до низшей точки впадины профиля:

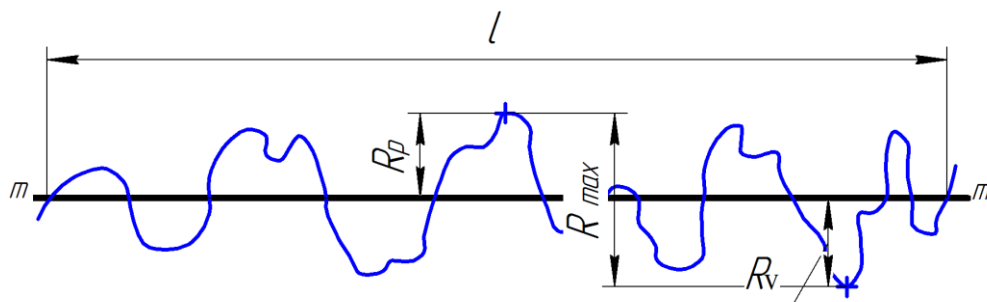


**Высота наибольшего выступа профиля  $R_p$**  – расстояние от средней линии до высшей точки профиля в пределах базовой длины:

**Глубина наибольшей впадины профиля  $R_v$**  – Расстояние от низшей точки профиля до средней линии в пределах базовой длины:



**Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{\max}$**  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины:



Волнистость поверхности в настоящее время не стандартизована ни в одной из стран мира. В 1952 г. была предложена градация волнистости только по высоте на девять классов в диапазоне от 1 до 250 мкм.

Волнистость поверхности – это совокупность периодически повторяющихся неровностей, у которых расстояние между соседними вершинами или впадинами превышает базовую длину  $l$ .

**Шероховатость поверхности** – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенных с помощью базовой длины.

Параметры шероховатости (один или несколько) выбираются из приведенной номенклатуры:

**$R_a$**  – среднее арифметическое отклонение профиля;

**$R_z$**  – высота неровностей профиля по десяти точкам;

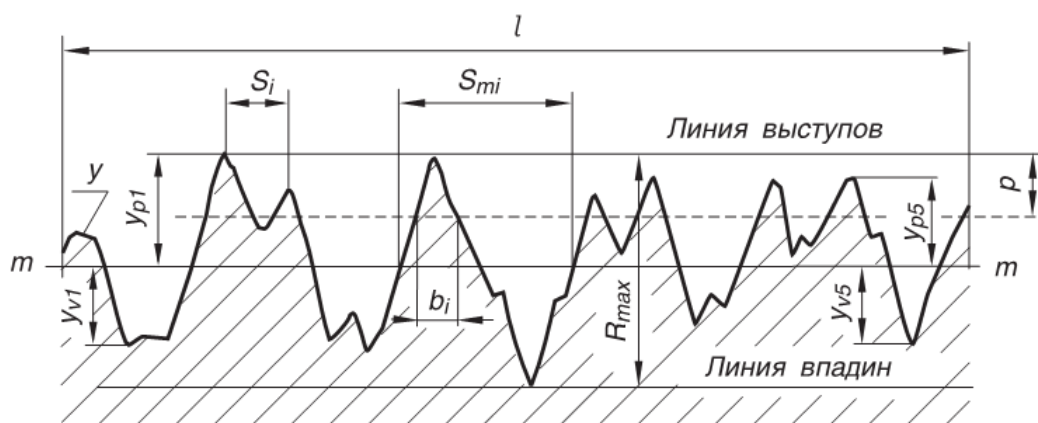
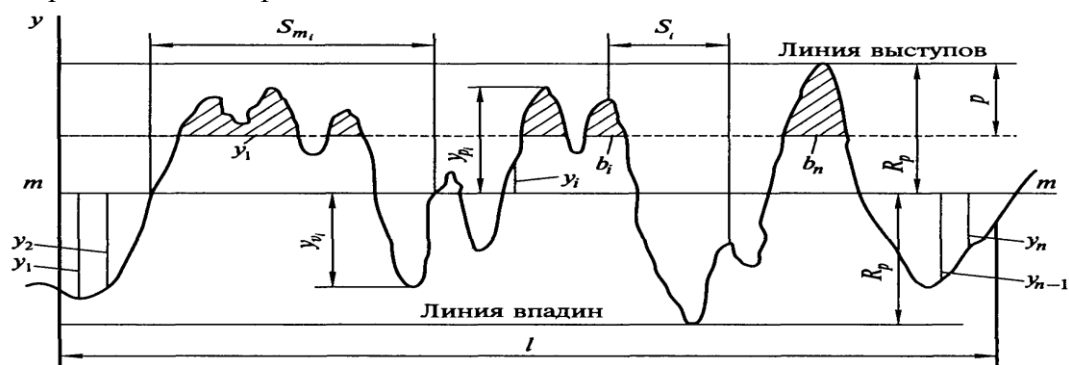
**$R_{\max}$**  – наибольшая высота профиля;

**$S_m$**  – средний шаг неровностей;

**$S$**  – средний шаг местных выступов профиля;

**$tp$**  – относительная опорная длина профиля, где  $p$  - значения уровня сечения профиля.

Параметр  **$R_a$**  является предпочтительным.



**Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$**  – это среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx,$$

где  $l$  – базовая длина;

$y$  – отклонение профиля от средней линии.

При дискретном способе обработки профилограммы параметр  **$R_a$**  рассчитывается по формуле:

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|,$$

где  $y_i$  – измерение отклонения профиля в дискретных точках;

$n$  – число измеренных дискретных отклонений на базовой длине.

**Высота неровностей профиля по десяти точкам  $R_z$**  – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин в пределах базовой длины:

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5},$$

где  $y_{pi}$  – высота  $i$ -го наибольшего профиля;

$y_{vi}$  – глубина  $i$ -й наибольшей впадины профиля.

**Наибольшая высота неровностей профиля  $R_{max}$**  – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины:

$$R_{max} = R_p + R_v.$$

Соотношения базовой длины  $l$  и высотных параметров  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  (стандартных)

| Диапазон $R_a$ , мкм | Диапазон $R_z$ , $R_{max}$ , мкм | Базовая длина $l$ , мм |
|----------------------|----------------------------------|------------------------|
| До 0,025             | До 0,10                          | 0,08                   |
| Св. 0,025 до 0,4     | Св. 0,10 до 1,6                  | 0,25                   |
| Св. 0,4 до 3,2       | Св. 1,6 до 12,5                  | 0,8                    |
| Св. 3,2 до 12,5      | Св. 12,5 до 50                   | 2,5                    |
| Св. 12,5 до 100      | Св. 50 до 400                    | 8 (25)                 |

**Средний шаг неровностей профиля  $S_m$**  – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины. (**Шаг неровностей профиля** – отрезок средней линии профиля, содержащий неровность профиля).

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi},$$

где  $n$  – число шагов в пределах базовой длины;

$S_{mi}$  – шаг неровностей профиля, равных длине отрезка средней линии, пересекающий профиль в трех соседних точках и ограниченно двумя крайними точками.

**Средний шаг местных выступов  $S$**  – среднее значение шагов местных выступов профиля, находящихся в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где  $n$  – число шагов неровностей по вершинам в пределах базовой длины;

$S_i$  – шаг неровностей профиля по вершинам, равный длине отрезка средней линии между

**Относительная опорная длина профиля  $t_p$**  – отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \left( \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i \right) \cdot 100\%,$$

где  $\sum_{i=1}^n b_i$  – опорная длина профиля (сумма длин отрезков, отсекаемых на заданном

уровне  $p$  в материале профиля линией, эквидистантой средней линии в пределах базовой длины).

Уровень сечения профиля  $p$  выражается в процентах от  $R_{max}$  и выбирается из ряда, (%): 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90. Относительная опорная длина профиля  $t_p$  задается в процентах от базовой длины  $l$  выбирается из ряда, (%): 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90.

Дополнительно качественные параметры:

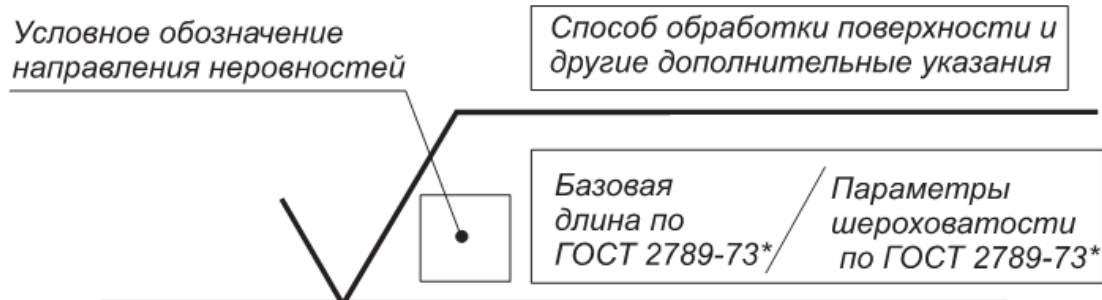
– Способ обработки. Указывается в том случае, когда шероховатость поверхности следует получить только определенным способом;

– Тип направления неровностей. Указывается только в ответственных случаях, когда это необходимо по условиям работы детали и сопряжения.

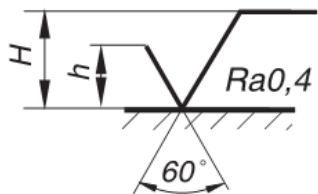
| № п/п | Тип направлений неровностей | Схематическое изображение | Обозначение           | № п/п | Тип направлений неровностей | Схематическое изображение | Обозначение      |
|-------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|-------|-----------------------------|---------------------------|------------------|
| 1     | Параллельное                |                           | $\sqrt{= Ra0,4}$      | 5     | Точечное                    |                           | $\sqrt{P Ra0,4}$ |
| 2     | Перпендикулярное            |                           | $\sqrt{\perp Ra0,8}$  | 6     | Кругообразное               |                           | $\sqrt{C Ra0,4}$ |
| 3     | Перекрещивающееся           |                           | $\sqrt{\times Ra1,6}$ | 7     | Радиальное                  |                           | $\sqrt{R Ra1,6}$ |
| 4     | Произвольное                |                           | $\sqrt{M Ra0,4}$      |       |                             |                           |                  |

Шероховатость поверхности обозначают на чертеже для всех выполняемых по данному чертежу поверхностей изделия, независимо от методов их образования, кроме, поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкций.

Структура обозначения шероховатости поверхности показана на рисунке



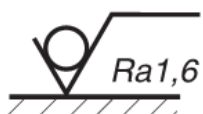
Применяют следующие знаки на чертежах



Знак наиболее предпочтительный.  
Высота  $h$  равна высоте размерных чисел  
 $H = (1,5 \dots 5,0) h$ .  
Параметр  $R_a$  не должен превышать 0,4 мкм.



Знак, показывающий, что поверхность образована путем удаления слоя металла.  
Параметр  $R_z$  должен находиться в пределах 0,8...0,32 мкм.

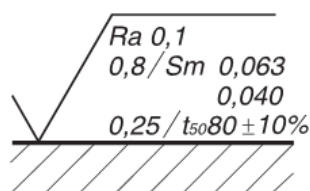


Знак, показывающий, что поверхность образована без снятия слоя металла.  
Параметр  $R_a$  не должен превышать 1,6 мкм.



Знак, показывающий, что поверхность не обрабатывается по данному чертежу.

Пример



При указании двух и более параметров шероховатости в обозначении шероховатости значения параметров записываются сверху вниз в следующем порядке:

- параметр высоты неровностей профиля;
- параметр шага неровностей профиля;
- относительная опорная длина профиля.

В данном случае

Среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  не более 0,1 мкм на базовой длине  $l = 0,25$  мм. (длина не указана, т.к. определена стандартом для данной высоты неровностей).

Средний шаг неровностей профиля  $S_m$  должен находиться в пределах от 0,063 мм до 0,04 мм на базовой длине  $l = 0,8$  мм.

Относительная опорная длина профиля на 50 % уровне сечения должна находиться в пределах  $80 \pm 10 \%$  на базовой длине  $l = 0,25$  мм.

## ТЕМА 7. КАЛИБРЫ И КОНТРОЛЬ ТОЧНОСТИ КАЛИБРАМИ

### Классификация калибров.

**Калибры** – средства измерительного контроля, предназначенные для проверки соответствия действительных размеров, формы и расположения поверхностей деталей заданным требованиям.

Калибры применяют для контроля деталей в массовом и серийном производствах.



**Нормальный калибр** – однозначная мера, которая воспроизводит среднее значение (значение середины поля допуска) контролируемого размера. При использовании нормального калибра о годности детали судят, например, по зазорам между поверхностями детали и калибра, либо по «плотности» возникающего сопряжения между контролируемой деталью и нормальным калибром.

**Предельный калибр** – мера или комплект мер обеспечивающие контроль геометрических параметров деталей по наибольшему и наименьшему предельным значениям. Изготавливают предельные калибры для проверки размеров гладких цилиндрических и конических поверхностей, глубины и высоты уступов, параметров резьбовых и шлицевых поверхностей деталей. Изготавливают также калибры для контроля расположения поверхностей деталей, нормированных позиционными допусками, допусками соосности и др.

При контроле предельными калибрами деталь считается годной, если проходной калибр под действием силы тяжести проходит, а непроходной калибр не проходит через контролируемый элемент детали.

**По технологическому назначению** калибры делятся на рабочие калибры, используемые для контроля изделий в процессе изготовления и приемки готовых изделий и контрольные калибры (контркалибры) для проверки рабочих калибров.

**По числу контролируемых элементов** различают комплексные калибры, контролирующие одновременно несколько элементов изделия (например, резьбовой проходной калибр) и простые (элементные) калибры, проверяющие один элемент (размер) изделия.

**По характеру контакта с изделием** различают калибры с поверхностным контактом (пробка), с линейным контактом (скоба) и точечным контактом (нутромер).

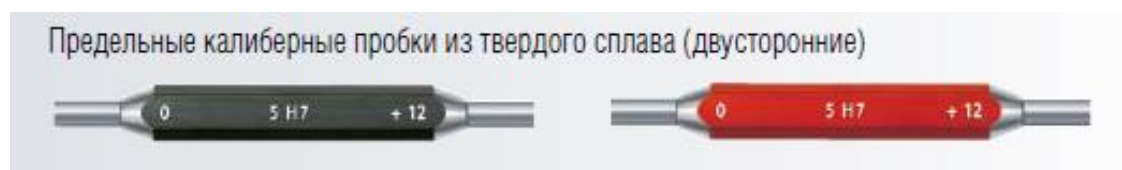
**По конструктивным признакам** различают калибры однопредельные с раздельным выполнением проходного и непроходного калибров, двухпредельные (односторонние и двухсторонние), представляющие конструктивное объединение проходного и непроходного калибров.

**Проходной калибр (ПР)**, номинальный размер которого равен наибольшему предельному размеру вала или наименьшему предельному размеру отверстия;

**Непроходной калибр (НЕ)**, номинальный размер которого равен наименьшему предельному размеру вала или наибольшему предельному размеру отверстия.



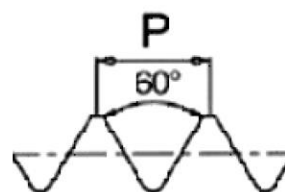
## Калибры для контроля отверстий и валов небольшого диаметра



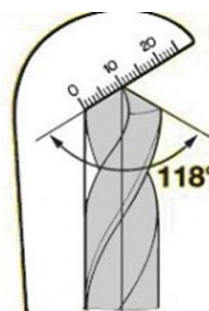
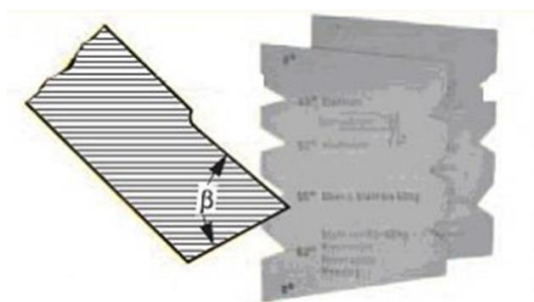
## Калибры для контроля конусов



## Калибры для контроля резьбы

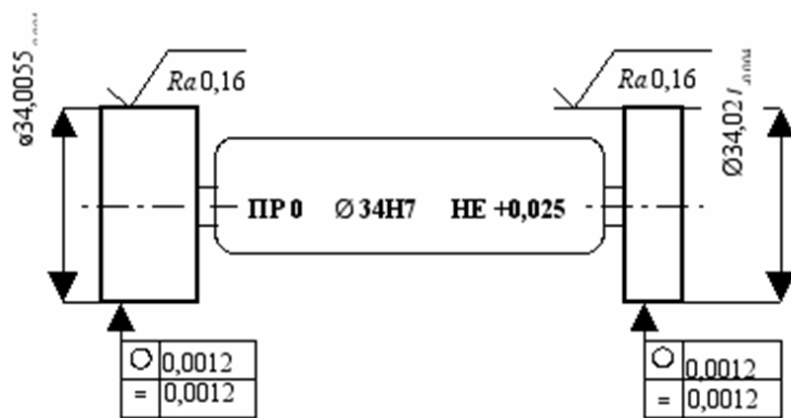
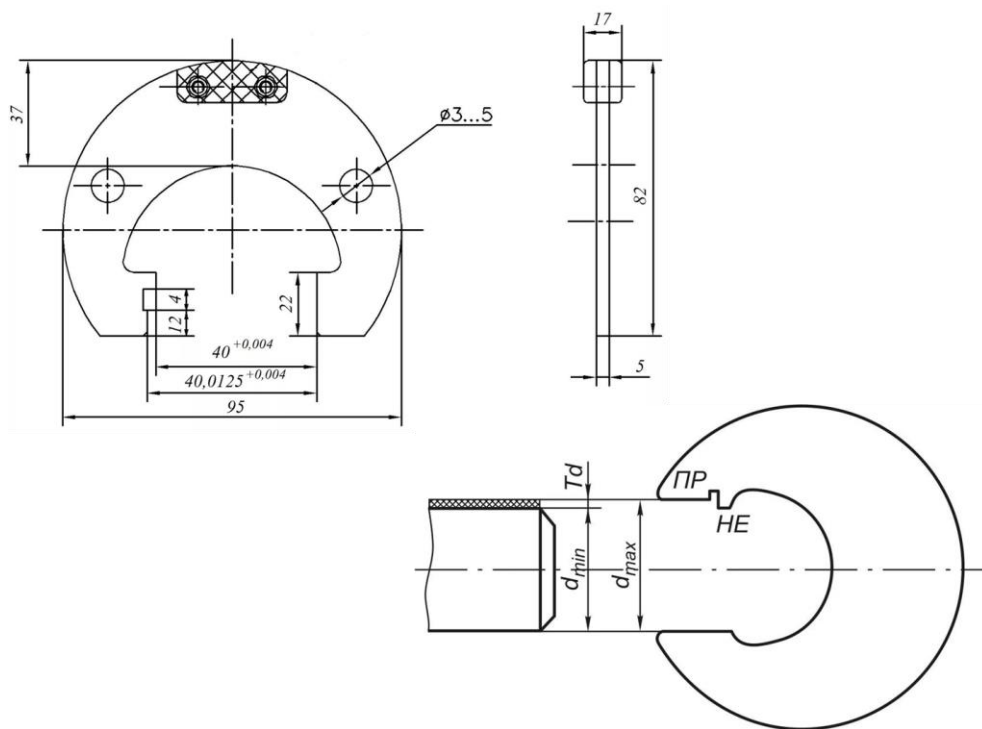


## Шаблоны

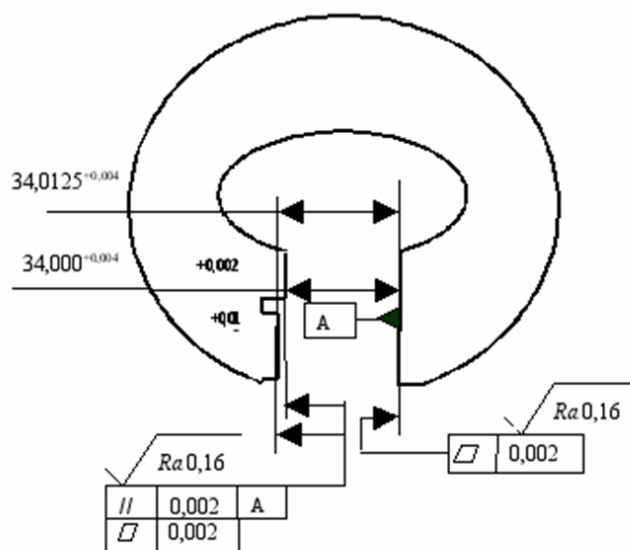


В основу конструирования гладких калибров положен принцип Тейлора или принцип подобия, согласно которому проходные калибры должны являться прототипом сопрягаемой детали и контролировать в комплексе все виды погрешностей данной поверхности (проверка диаметра и погрешности формы, включая отклонения от прямолинейности оси отверстий).

Это обеспечивает собираемость соединения. Непроходные калибры должны обеспечивать поэлементный контроль (контроль собственно размеров), следовательно, контакт между рабочими поверхностями калибров и контролируемой поверхностью должен быть точечным.



a)



б)

**Полностью отвечающий принципу Тейлора рабочий калибр для контроля отверстия** должен иметь проходную сторону в виде цилиндра с длиной, равной длине сопряжения или контролируемой поверхности (полная пробка), и непроходную сторону в виде неполной пробки в виде стержня со сферическими наконечниками. Рабочий калибр для контроля вала должен иметь проходную сторону в виде кольца с длиной, равной длине сопряжения или контролируемой поверхности, и непроходную сторону в виде скобы с ножевыми поверхностями.

#### **Основные требования, предъявляемые к калибрам:**

- точность изготовления;
- высокая жёсткость при малом весе;
- износостойчивость;
- производительность и удобство контроля;
- постоянство рабочих размеров во времени;
- коррозионная стойкость.

#### **Стандартизация норм точности калибров.**

Допуски на изготовление гладких калибров и контркалибров установлены **СТ СЭВ 157-75**. Номинальные размеры калибров должны соответствовать предельным размерам детали.

Исполнительными размерами калибров являются *предельные размеры*, по которым изготавливают новые калибры и проверяют износ калибров, находящихся в эксплуатации.

**Для пробок указывают** наибольший предельный размер и допуск на изготовление «на минус», а **для скоб** – наименьший предельный размер с допуском «в плюс».

Для рабочих проходных калибров дополнительно указывают предельный размер изношенного калибра.

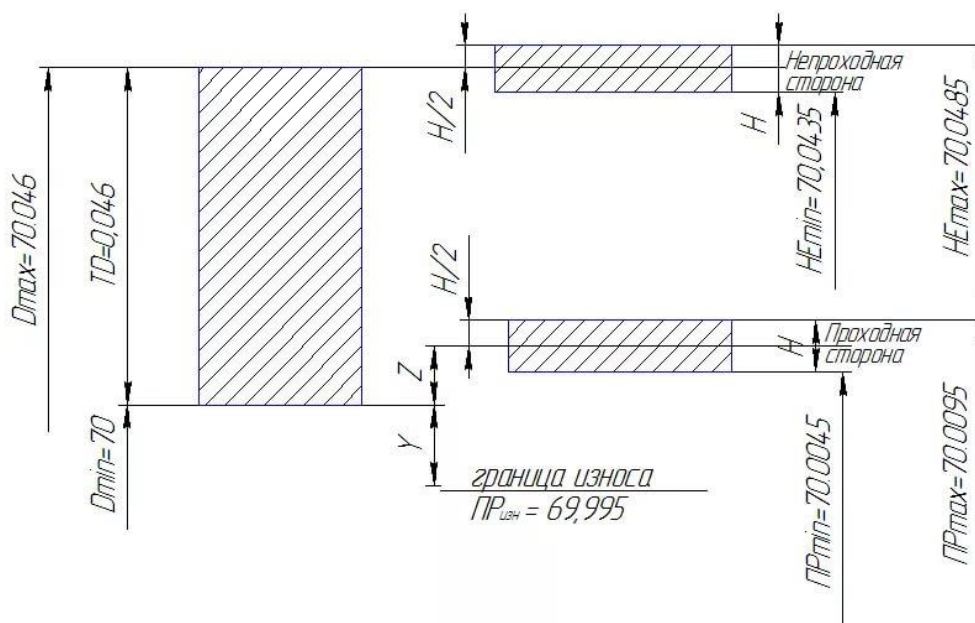
Исполнительные размеры калибров определяют путём алгебраического суммирования предельного размера изделия с соответствующим предельным отклонением.

#### **В зависимости от степени износа калибры делятся на:**

новые – рабочие калибры;

частично изношенные – калибры контролёра;

изношенные до установленного предела – приёмочные калибры.



$H$  – допуск на изготовление калибров для отверстия;

$H_s$  – допуск на изготовление калибров со сферическими измерительными поверхностями (для отверстия);

$H_1$  – допуск на изготовление калибров для вала;

$H_p$  – допуск на изготовление контрольного калибра для скобы.

$Y$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия

$Y_1$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала.

**Конструкция калибров, маркировка. Правила контроля калибрами.**

Предельные калибры состоят из проходной и непроходной сторон. Конструктивно могут выполняться регулируемые и нерегулируемые.

Могут быть однопредельными и двухпредельными.

На гладкие калибры наносят маркировку, в которой указывают параметры контролируемых деталей:

- *номинальный размер;*
- *обозначение поля допуска и предельные отклонения;*
- *условные обозначения калибров.*

**Маркировку наносят на калибры (скобы) и на ручки (пробки).**

**1) на калибр – пробке:**

- на калибр-пробке ПР – «30Н7ПР»;
- на калибр-пробке НЕ – «30Н7НЕ»;
- на ручке со стороны пробки ПР – «0» и ПР;
- в середине ручки – «30Н7»;
- со стороны пробки НЕ – «НЕ» и «+0,021»;

**2) на калибр-скобе:**

- около проходной стороны «ПР» и «-0,007»;
- около непроходной стороны – «НЕ» и «-0,020».

**Правила контроля калибрами:**

- пользоваться только аттестованными калибрами;
- тщательно очищать их от пыли, грязи;
- применять выдержку калибров рядом с деталями в течение определённого времени для выравнивания их температуры;
- калибры больших размеров поддерживать руками только за теплоизолирующие накладки;
- не применять больших усилий, так как калибры должны входить в отверстие или находить на валы под действием собственного веса.

## **ТЕМА 8. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

**Подшипник** – это конструктивный узел, предназначенный для подвижных соединений деталей и являющееся частью опоры или упора, которое поддерживает вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью.

Подшипники качения стандартизованы, то есть это наиболее распространенные стандартные сборочные единицы, изготавливаемые на специализированных предприятиях. Они обладают полной внешней взаимозаменяемостью по присоединительным поверхностям, что обеспечивает простой монтаж и замену изношенного подшипника при сохранении рассчитанного или заданного функционального режима в полном объеме.

Подшипники, являясь опорами для подвижных частей, определяют их положение в механизме и несут значительные нагрузки.

Подшипники качения имеют следующие основные преимущества по сравнению с подшипниками скольжения:

- обеспечивают более точное центрирование вала
- имеют более низкий коэффициент трения
- имеют небольшие осевые размеры

К недостаткам подшипников качения можно отнести:

- повышенную чувствительность к неточностям монтажа и установки

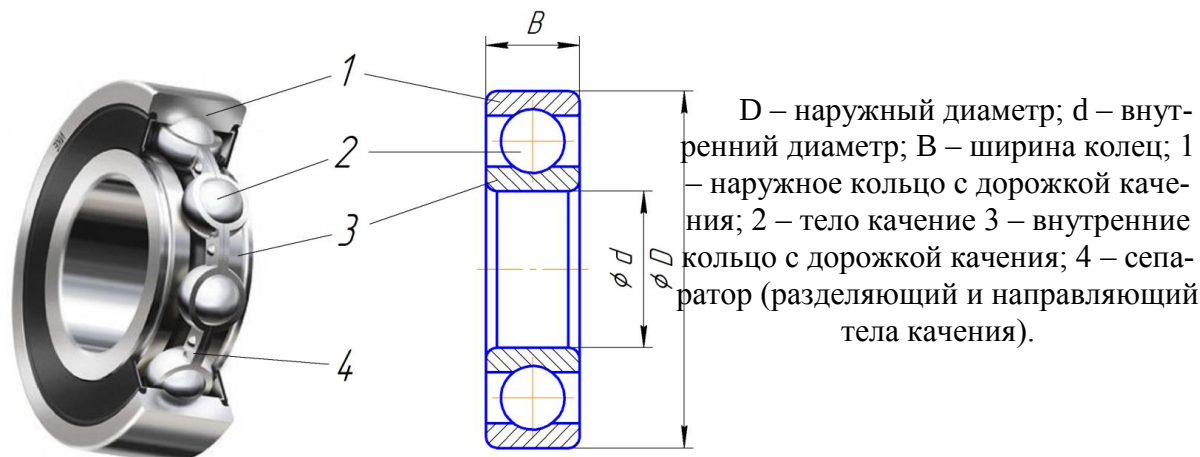
- жесткость работы, отсутствие демпфирования колебаний нагрузки (принудительное подавление колебаний)

- относительно большие радиальные размеры

### Принято считать:

Внешняя поверхность наружного кольца сопрягается с поверхностью отверстия детали, в которую вкладывается подшипник. Эту деталь принято называть корпусом (на пример корпус редуктора, КПП, вращающая на валу шестерню).

Поверхность отверстия внутреннего кольца сопрягается с цилиндрической, на которую надевается подшипник – она называется вал.



### Маркировка подшипников качения.

Система условных обозначений подшипников и размеров регламентируется следующими стандартами:

ГОСТ 3189-89. Подшипники шариковые и роликовые. Система условных обозначений;

ГОСТ 3478-79. Подшипники качения. Основные размеры.

ГОСТ 520-2002. Подшипники качения. Общие технические условия.

| Дополнительное обозначение (слева) |                         |                           |                | Основное обозначение до 10 мм |                           |                           |                 |                   |                    |   |      | Дополнительное обозначение (справа) |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|------------------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---|------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------|----------------|
| X                                  | X                       | X                         | X              | –                             | X                         | X                         | X               | X                 | X                  | X | X    | –                                   | X                           | X           | X                              | X                        | X                        | X                                  | X                   | X                       | X                |                |
| Категория подшипника               | Код ряда момента трения | Группа радиального зазора | Класс точности |                               | 7                         | 6                         | 5               | 4                 | 3                  | 2 | 1    |                                     | Повышенная грузоподъемность | Конструкция | Материалы, отличные от обычных | Конструктивные изменения | Модифицированный контакт | Специальные технические требования | Температура отпуска | Марка пластичной смазки | Уровень вибрации | Особые отличия |
|                                    |                         |                           |                | Серия ширин                   | Конструктивное исполнение | Тип подшипника            | Знак «0»        | Серия диаметров   | Диаметр отверстия  |   |      |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                | от 10 до 495 мм               |                           |                           |                 |                   |                    |   |      |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                | –                             | X                         | X                         | X               | X                 | X                  | X | X    | –                                   |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                |                               | 7                         | 6                         | 5               | 4                 | 3                  | 2 | 1    |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                | Серия ширин                   | Конструктивное исполнение | Тип подшипника            | Серия диаметров | Диаметр отверстия |                    |   |      |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                | от 500 и более мм             |                           |                           |                 |                   |                    |   |      |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                | –                             | X                         | X                         | X               | X                 | X                  | / | XXXX | –                                   |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                |                               | 7                         | 6                         | 5               | 4                 | 3                  | 2 | 1    |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |
|                                    |                         |                           |                |                               | Серия ширин               | Конструктивное исполнение | Тип подшипника  | Серия диаметров   | Внутренний диаметр |   |      |                                     |                             |             |                                |                          |                          |                                    |                     |                         |                  |                |

Согласно ГОСТ 3189-89 описывает 4 диапазона диаметров, обозначение которых имеет специфическое отличия:

1 – диаметр до 10 мм (кроме 0,6; 1,5 и 2,5 мм);

2 – от 10 до 20 мм;

3 – от 20 до 495 мм (кроме 22; 28 и 32 мм);

4 – от 500 и более мм.

Для первого диапазона диаметры 0,6; 1,5 и 2,5 мм обозначаются через дробь.

– 1 цифра равняется значению диаметра внутреннего кольца подшипника в мм (*шаг один миллиметр*);

– 2 цифра равна 5 если диаметр внутреннего кольца подшипника имеет дробное значение.

Для второго диапазона

– 1 и 2 цифры равняется значению диаметра внутреннего кольца подшипника в мм согласно кодировке:

| Внутренний диаметр, мм | Округление<br>(если необходимо), мм | Код внутреннего диаметра |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------|
| 10                     |                                     | 00                       |
| 11                     | 10                                  | 00                       |
| 12                     |                                     | 01                       |
| 13                     | 12                                  | 01                       |
| 14                     | 15                                  | 02                       |
| 15                     |                                     | 02                       |
| 16                     | 17                                  | 03                       |
| 17                     |                                     | 03                       |
| 18                     | 17                                  | 03                       |
| 19                     | 17                                  | 03                       |

– Для ненормализованных диаметров 3-ья цифра равняется 9, например для диаметра 11 мм маркировка 900

Для третьего диапазона

– 1 и 2 цифра диаметр внутренних колец подшипников с шагом 5 мм (умножаем на 5);

– Для ненормализованных диаметров 3-ья цифра равняется 9. (если диаметр внутреннего кольца не целое число).

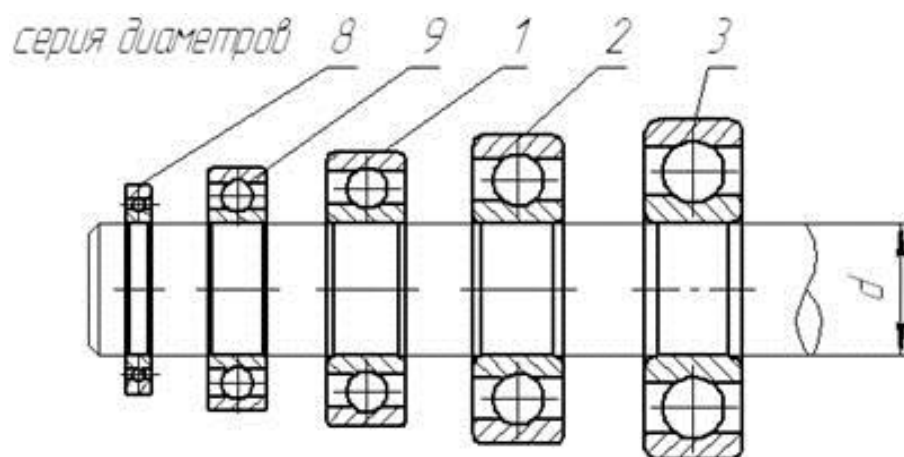
Для четвертого диапазона диаметры внутренних колец подшипников указываются в явном виде.

**Исключение** – диаметры внутреннего кольца 0,6; 1,5; 2,5; 22 ; 28 и 32 мм, маркируются с помощью дроби. Цифра перед дробью указывает серию диаметров.

**Серия диаметров 3 цифра**

Серия диаметров указывает диаметр внешнего кольца подшипника при неизменном диаметре внутреннего кольца и обозначается в порядке увеличения диаметра наружного диаметра 3 цифра:

| Код | Серии диаметров |
|-----|-----------------|
| 0   | Нулевая         |
| 8   | Сверхлегкая     |
| 9   | Сверхлегкая     |
| 1   | Особо легкая    |
| 7   | Особо легкая    |
| 2   | Легкая          |
| 5   | Легкая широкая  |
| 3   | Средняя         |
| 6   | Средняя широкая |
| 4   | Тяжелая         |



Исключение если нет серии ширин в коде, то 7 – нестандартный внешний диаметр; 8 – нестандартный по значению ширины подшипник; 9 – ненормализованный размер.

#### Тип подшипников 4 цифра

Шариковые однорядные



Шариковые двухрядные



Роликовые



Игольчатые



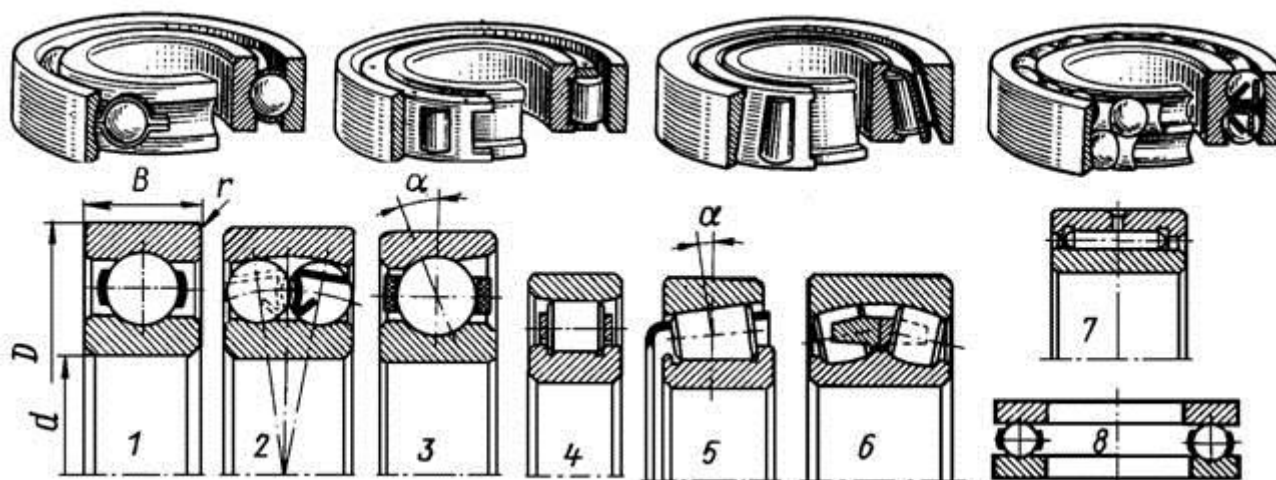
Радиально-упорные



Конические роликовые



|   |                                                                          |
|---|--------------------------------------------------------------------------|
| 0 | Шариковый радиальный                                                     |
| 1 | Шариковый радиальный сферический                                         |
| 2 | Роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами                |
| 3 | Роликовый радиальный со сферическими роликами                            |
| 4 | Роликовый радиальный с длинными цилиндрическими или игольчатыми роликами |
| 5 | Роликовый радиальный с витыми роликами                                   |
| 6 | Шариковый радиально-упорный                                              |
| 7 | Роликовый конический                                                     |
| 8 | Шариковый упорный, шариковый упорно-радиальный                           |
| 9 | Роликовый упорный, роликовый упорно-радиальный                           |



**Радиальные шариковые подшипники**– наиболее простые и дешевые. Они допускают небольшие перекосы вала (до  $1/4^\circ$ ) и могут воспринимать осевые нагрузки, но меньшие радиальных. Эти подшипники широко распространены в машиностроении.

**Радиальные роликовые подшипники** благодаря увеличенной контактной поверхности допускают значительно большие нагрузки, чем шариковые. Однако они не воспринимают осевые нагрузки и плохо работают при перекосах вала. В роликовых цилиндрических и конических подшипниках с комбинированными (бочкообразными) роликами концентрация нагрузки от неизбежного перекоса вала существенно снижается. *Аналогичное сравнение можно провести и между радиально-упорными шариковыми* (рис. 3) и роликовыми (рис. 5) подшипниками.

**Самоустанавливающиеся шариковые** (рис. 2) и роликовые (рис. 6) подшипники применяются в тех случаях, когда допускают значительный перекося вала (до  $2...3^\circ$ ). Они имеют сферическую поверхность наружного кольца и ролики бочкообразной формы. Эти подшипники допускают небольшие осевые нагрузки.

**Применение игольчатых подшипников** (рис. 7) позволяет уменьшить габариты (диаметр) при значительных нагрузках. Упорный подшипник (рис. 8) воспринимает только осевые нагрузки и плохо работает при перекося оси.

#### **Разновидность конструкции подшипника 5 и 6 цифра.**

Указывается тип сепаратора, количество рядов тел вращения, вид тел вращения, применение бортов на кольцах подшипника и т.д.

#### **Серия Ширин 7цифра**

**серия ширин 7, 8, 9, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6.**

Перечень серий ширин или высот указан в порядке увеличения размера ширины или высоты.

**Существует зависимость между серией диаметров и серии шин.**

7,8 – особо узкие; 9 – узкие, 0,1 – нормальные; 2 – широкие; 3,4,5,6 особо широкие.

**Так же в обозначении важно знать класс точности подшипника (Дополнительное обозначение (слева))** – существует шесть основных классов точности 0 (нормальный), 6, 5, 4, 2, Т и два особо грубых 8 и 7. Самый точный класс – Т, грубый – 0.

– могут быть поставлены подшипники более грубых классов: 8 и 7.

– 0, 6, 5, 4, 2, Т – для шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников;

0, 6, 5, 4, 2 – для упорных и упорно-радиальных подшипников;

– 0, 6, 5, 4, 2 – для роликовых конических подшипников.

Кроме того, установлены дополнительные классы точности 8 и 7 грубее класса точности 0 для применения по заказу потребителей в неответственных узлах.

**Нули в обозначении не ставятся, если нет слева обозначения значащего символа.**

#### **Характеристика основных видов нагружения колец подшипников качения.**

Во время работы кольца подшипника испытывают различные режимы постоянных и переменных нагрузок, и в результате можно выделить три вида нагружения: местное, циркуляционное и колебательное.

**Местное нагружение** – на подшипник действует результирующая радиальная нагрузка, которая воспринимается одним и тем же ограниченным участком дорожки качения и передается соответствующему участку посадочной поверхности вала или отверстия.

Кольца, которые попадают под действие местного нагружения, должны монтироваться с **гарантированным зазором или по переходной посадке при минимальном натяге**. Это необходимо для того, чтобы кольцо, подвергаемое местному нагружению, при пусках машины или кратковременных перегрузках, проворачивалось бы на небольшой угол. При этом под воздействие нагрузки подводится новый участок кольца, что обеспечивает более равномерный его износ.

**Циркуляционное нагружение** – возникает, когда кольцо вращается относительно постоянной по направлению радиальной нагрузки, а также, когда нагрузка вращается относительно неподвижного или подвижного кольца. Действующая на подшипник радиальная нагрузка воспринимается и передается телами качения в процессе вращения последовательно по всей длине окружности.

При циркуляционном нагружении кольцо должно монтироваться по посадке с **небольшим натягом**, чтобы исключить проскальзывание относительно посадочной поверхности.

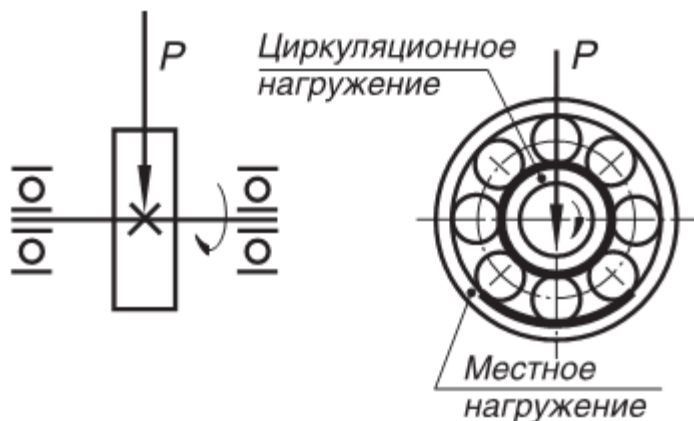
**Колебательным нагружением** – называется такой его вид, при котором неподвижное кольцо подвергается одновременному воздействию постоянной по направлению  $F$  и вращающейся  $F_g$ , меньшей по величине, радиальных нагрузок. Результирующая этих нагрузок совершает колебательное движение относительно неподвижной радиальной силы.

При колебательном нагружении кольцо должно монтироваться **по переходной посадке с минимальным натягом** для получения возможности проворота кольца в процессе работы с целью обеспечения более равномерного износа.

**Вид нагружения кольца подшипника качения существенно влияет на выбор его посадки. Рассмотрим типовые схемы механизмов и особенности работы подшипников в них.**

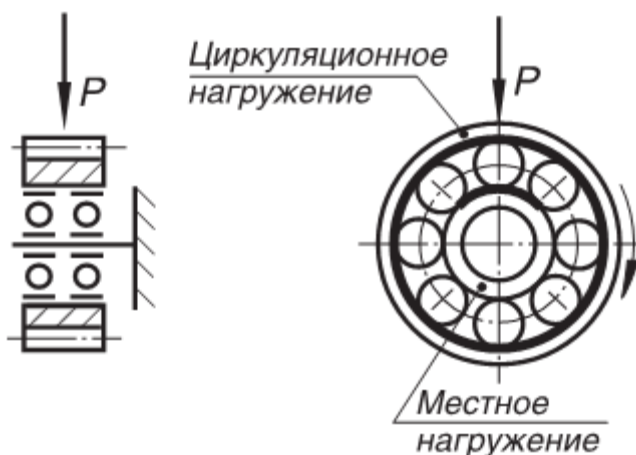
#### **Первая типовая схема.**

Внутренние кольца подшипников вращаются вместе с валом, наружные кольца, установленные в корпусе, неподвижны. Радиальная нагрузка  $P$  постоянна по величине и не меняет своего положения относительно корпуса.



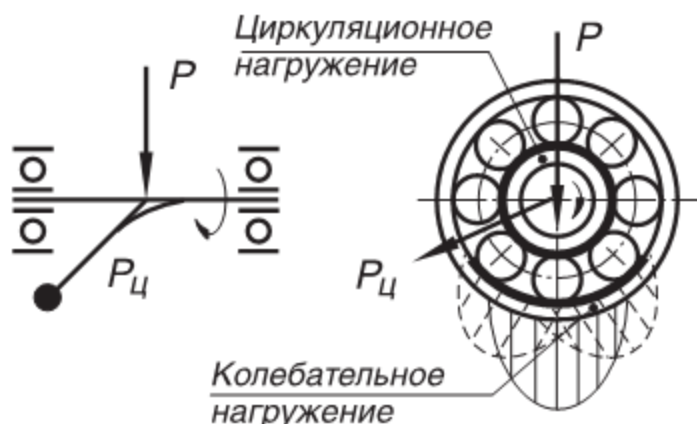
#### **Вторая типовая схема.**

Наружные кольца подшипников вращаются вместе с зубчатым колесом. Внутренние кольца подшипников, посаженные на ось, остаются неподвижными относительно корпуса. Радиальная нагрузка  $P$  постоянна по величине и не меняет своего положения относительно корпуса.



#### **Третья типовая схема.**

Внутренние кольца подшипников вращаются вместе с валом, наружные кольца, установленные в корпусе, – неподвижны. На кольца действуют две радиальные нагрузки, одна постоянна по величине и по направлению  $P$ , другая, центробежная, вращающаяся вместе с валом.



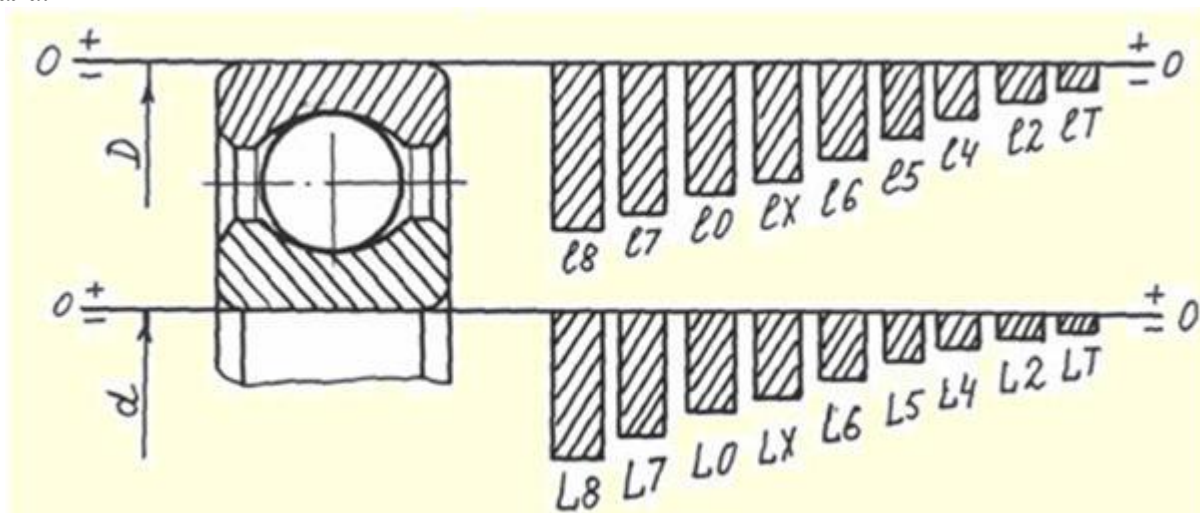
### Поля допусков по присоединительным размерам. Методика выбора посадок подшипников качения.

Подшипник качения изготавливается таким образом, что устанавливается в качестве опоры для вращения детали без всякой дополнительной обработки. Следовательно, внутреннее кольцо является готовым посадочным отверстием, а наружное кольцо – готовым посадочным валом.

Классы точности подшипников характеризуются допуском на размер, а для получения посадки необходимо нормировать основное отклонение и направление расположения допуска относительно номинального размера, т.е. нормировать поле допуска.

Основное отклонение посадочного места внутреннего кольца обозначается прописной буквой *L*, а наружного – строчной буквой *l*. Поле допуска образуется основным отклонением и допуском соответствующего класса точности. Таким образом, для внутреннего диаметра подшипника установлены поля допусков и квалитеты L8, L7, L0, L6, LX, L5, L4, L2, LT, а для наружного диаметра – l8, l7, l0, lX, l6, l5, l4, l2, lT.

Наружное кольцо подшипника устанавливается в отверстие корпуса и считается как основной вал, то есть поле допуска кольца *l* относительно номинального размера расположено вниз от нулевой линии D (рисунок ниже) и посадки вследствие этого подбираются по системе вала.



Как видно из схемы самый грубый допуск на изготовление имеет квалитет 8, а самый точный квалитет Т.

Внутреннее кольцо монтируется на валу и поэтому считается основным отверстием и посадки подбираются или рассчитываются в системе отверстия. Но если в системе допусков и посадок у основного отверстия и основного вала поля допусков расположены в «тело дета-

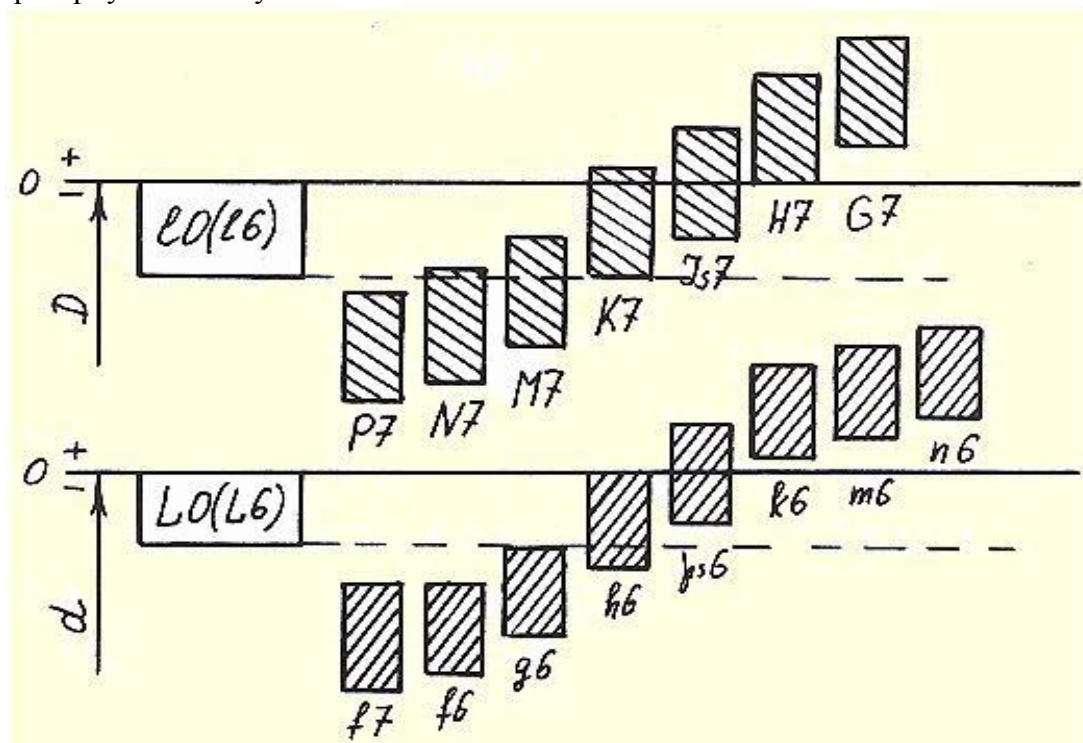
ли», то есть отклонения со знаком плюс для основного отверстия и со знаком минус для основного вала, то поле допуска внутреннего кольца  $L$  расположено из «тела детали».

Расположение поля допуска посадочного отверстия в минус от номинального диаметра объясняется необходимостью иметь в посадке небольшие по величине натяги. Кольца подшипника являются ажурными деталями: при больших значениях натягов они значительно деформируются, что может привести к получению отрицательного посадочного зазора, приводящего к заклиниванию подшипника. Стандартные посадки с натягом, особенно те, которые определялись ранее применяемой в нашей стране системой допусков и посадок по ГОСТ (до 1977г.) давали значительные натяги. Поэтому, чтобы не изобретать специальные посадки именно для подшипников качения, стали использовать поля допусков валов предназначенные для образования переходных посадок. В системе отверстия переходные посадки могут дать как зазор, так и натяг, а при перевернутом в «минус» поле допуска основного отверстия, будут получаться гарантированные, но небольшие по значению натяги.

Расположение полей допусков при образовании посадок с подшипниками классов точности 0 и 6 приведено на рисунке ниже.

Если сравнить поля допусков для присоединительных поверхностей, то видно, что допуски для отверстий на один квалитет больше, чем для валов, то есть точность отверстия на 60% меньше чем у вала. Объясняется это тем, что при прочих равных условиях изготовить и проконтролировать отверстие сложнее и дороже чем вал.

Таким образом, посадки по наружному диаметру подшипника осуществляются по системе вала, а по внутреннему валу – по системе отверстия, хотя поле допуска внутреннего кольца перевернуто в «минус».



В табл. 1 указаны категории и классы точности подшипников, для которых они предусмотрены, и те дополнительные технические требования, которые они устанавливают (таблица дана в сокращении).

Таблица 1 – Посадки шариковых и роликовых радиальных  
и упорно-радиальных подшипников

| вид кольца                                                                                                                                                                                                                       | вид нагружения | рекомендуемые посадки                                                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| внутреннее кольцо,<br>посадка на вал                                                                                                                                                                                             | циркулярное    | L0 / п6, L0 / m6, L0 / k6, L0 / js6<br>L6 / п6, L6 / m6, L6 / k6, L6 / js6    |
|                                                                                                                                                                                                                                  | местное        | Д0 . оы6б Д0 . лбб Д0 . пбб Д0 .<br>аб<br>Д6 . оы6б Д6 . лбб Д6 . пбб Д6 . аб |
|                                                                                                                                                                                                                                  | колебательное  | L0 / js6, L6 / js6                                                            |
| наружное кольцо,<br>посадка в корпус                                                                                                                                                                                             | циркулярное    | N7 / l0, M7 / l0, K7 / l0, P7 / l0<br>N7 / l6, M7 / l6, K7 / l6, P7 / l6      |
|                                                                                                                                                                                                                                  | местное        | H7 / l0, H7 / l6                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                  | колебательное  | Js7 / l0, Js7 / l6                                                            |
| примечания:<br>• рекомендуются при осевой регулировке колец радиально-упорных подшипников<br>• при регулируемом наружном кольце с циркуляционным нагружением радиально-упорных подшипников рекомендуются посадки Js7/l0 и Js7/l6 |                |                                                                               |

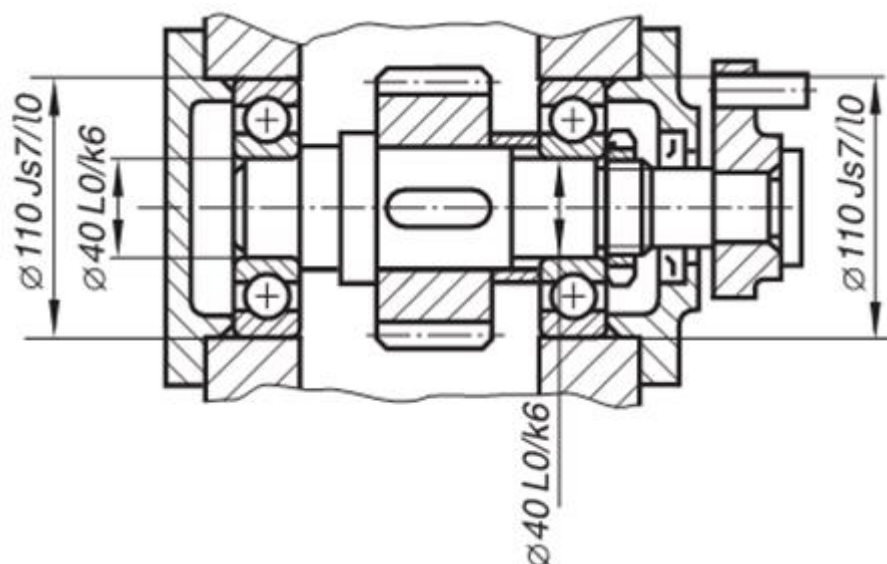
Одним из условий безупречной работы подшипника является его посадка. Т.е. вид соединения подшипника с корпусом и валом. Посадкой регламентируется положение наружного и внутреннего колец подшипников в радиальном направлении, а также фиксация от проворота относительно корпусных деталей. Посадочная поверхность корпусной детали должна плотно соприкасаться с поверхностью подшипника, поэтому на ней недопустимы выступы, заусенцы, разные неровности, которые будут снижать грузоподъемность подшипника. При наличии недопустимого зазора между посадочными поверхностями подшипника и корпусной детали между ними может возникнуть скольжение, что способствует быстрому износу или повреждению посадочной поверхности. Подшипники должны быть смонтированы таким образом, чтобы температурные изменения не вызывали их защемления или недопустимых зазоров. Наконец, в большинстве машин требуется, чтобы подшипник можно было легко монтировать и демонтировать.

#### Обозначение посадок подшипников качения на чертежах.

Структура обозначения подшипниковых посадок точно такая же, как и в общей системе допусков и посадок, то есть в виде дроби, когда в числителе указывается поле допуска отверстия, а в знаменателе – поле допуска вала (рисунок ниже).

Хотя традиционно посадки принято записывать в таком виде, стандартом установлены и другие формы обозначений.

- обозначение посадки подшипника на вал (в системе отверстия):  
или Ø 60L0-k6, или Ø60L0/k6
- обозначение посадки подшипника в отверстие корпуса (в системе вала):  
или Ø 130Js7-l0, или Ø130 Js7/l0



## ТЕМА 9. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ УГЛОВ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ, КОНИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И СОПРЯЖЕНИЙ

**Классификация расположенных под произвольным углом призматических элементов деталей и конических деталей и соединений.**

Углы деталей делят по пространственной форме этих элементов на

- ✓ призматические с углами, образованными плоскостями
- ✓ конические элементы

Угловые размеры бывают

- ✓ независимыми (фаски, скосы, наклонные поверхности, штамповочные и литейные уклоны)
- ✓ угловыми параметрами.

Углы координируют оси отверстий, но реже встречаются угловые размеры, влияющие на эксплуатационные свойства.

Особыми свойствами конических соединений являются:

- самоцентрируемость деталей;
- регулируемость характера сопряжения;
- простота обеспечения герметичности;
- в неподвижных соединениях передают большие вращающие моменты.

**Нормальные углы, нормальные конусности и углы конусов.**

Углом в плоскости называют геометрическую фигуру, образованную двумя лучами, выходящими из одной вершины.

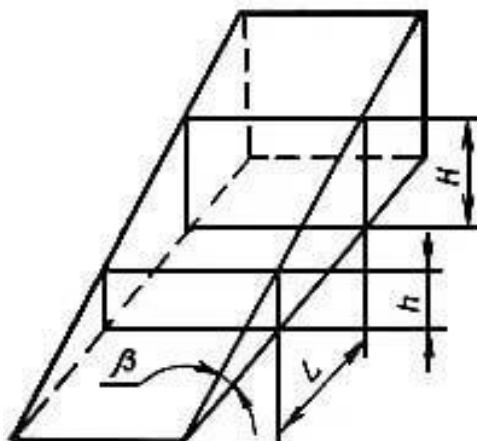
Двугранный угол — фигура в пространстве, состоящая из двух плоскостей (граней), выходящих из одной прямой (ребра) и часть пространства между ними.

Для угловых размеров, не связанных расчетными зависимостями с другими принятыми размерами установлены три ряда нормальных углов

- ✓ **1-й ряд включает 8 значений:**  $0^\circ$ ;  $5^\circ$ ;  $15^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $60^\circ$ ;  $90^\circ$  и  $120^\circ$ .
- ✓ **2-й ряд включает 16 значений:** причем дополнительные 8 значений вставлены в промежутки между значениями 1-го ряда:  $0^\circ 30'$ ;  $1^\circ$ ;  $2^\circ$ ;  $3^\circ$ ;  $8^\circ$ ;  $10^\circ$ ;  $20^\circ$  и  $75^\circ$ .
- ✓ **3-й ряд включает 43 значений:** причем 22 дополнительных значения вставлены между значениями 2-го ряда и добавлено пять значений, превышающих  $120^\circ$ , а именно  $135^\circ$ ;  $150^\circ$ ;  $180^\circ$ ;  $270^\circ$  и  $360^\circ$ .

В соответствии с принципом предпочтительности первый ряд имеет приоритет перед вторым, второй перед третьим.

Для **призматических деталей**, кроме нормальных углов ГОСТ 8908—81 допускает применять шесть стандартных уклонов  $S$  от 1 : 500 до 1 : 10.



Уклон в этих случаях представляет собой отношение перепада высот  $(H - h)$  точек наклонной стороны от второй (базовой) стороны к расстоянию  $L$  между местами их измерения:

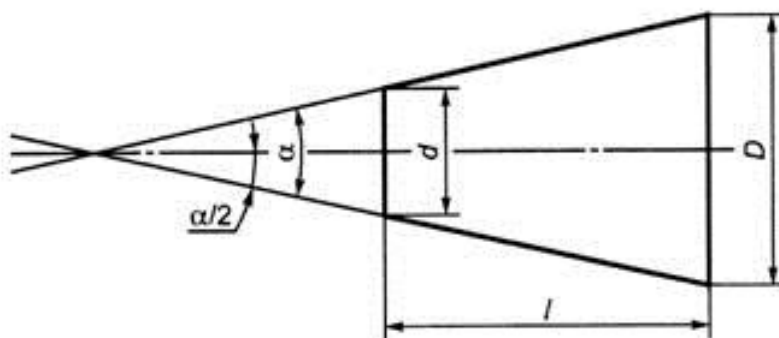
$$S = (H - h)/L = \operatorname{tg}\beta.$$

Допуски углов призматических элементов деталей и углов конусов установлены ГОСТ 8908—81.

**Угловые допуски задаются в зависимости от номинальной длины конуса** (при конусности  $C \leq 1 : 3$ ) или **в зависимости от длины образующего конуса  $L_1$**  (при  $C > 1 : 3$ , т. е. для  $\alpha > 30^\circ$ ); для призматических элементов деталей — всегда в зависимости от длины меньшей стороны угла, обозначаемой  $L_1$ .

**Угол конуса  $\alpha$**  — гол между образующими в продольном сечении конуса.

**Конусность  $C$**  — отношение разности диаметров в двух поперечных сечениях конуса к расстоянию между этими сечениями.



**Примечание 1** - Конусность является безразмерной величиной.

**Примечание 2** - Запись « $C = 1:20$ » означает, что разность диаметров конуса  $D - d$  в двух поперечных сечениях, расположенных на расстоянии  $L = 20$  мм друг от друга, равна 1 мм и (или) что:

$$\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = 20.$$

### Углы конусов нормальных конусностей

| Ряды конусностей |      | Угол конуса |            | Примеры применения                                                                                                                                   |
|------------------|------|-------------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                | 2    | в градусах  | в радианах |                                                                                                                                                      |
| 1:500            |      | 0°6'52,5"   | 0,002      | Конические оправки; неподвижные                                                                                                                      |
| 1:200            |      | 0°17'11,3"  | 0,005      | конические соединения для передачи больших крутящих моментов                                                                                         |
| 1:100            |      | 0°34'22,6"  | 0,010      | Конические оправки, клиновые шпонки                                                                                                                  |
| 1:50             |      | 1°8'45,2"   | 0,019      | Конические штифты, хвостовики калибров пробок, шпонки клиновые и тангенциальные                                                                      |
|                  | 1:30 | 1°54'34,9"  | 0,033      | Конические шейки шпинделей, конуса насадных режущих инструментов                                                                                     |
| 1:20             |      | 2°51'51,1"  | 0,0499     | Метрические конуса инструментов                                                                                                                      |
|                  | 1:15 | 3°49'5,9"   | 0,0666     | Конические соединения деталей при усилиях вдоль оси (поршень со штоком)                                                                              |
|                  | 1:12 | 4°46'18,8"  | 0,0832     | Шейки шпинделей под регулируемый ролик-коподшипник                                                                                                   |
|                  |      |             |            |                                                                                                                                                      |
| 1:10             |      | 5°43'29,3"  | 0,0999     | Конуса инструментов, уплотнительные кольца, насосы поршневые, соединительные муфты валов                                                             |
|                  | 1:8  | 7°9'9,6"    | 0,1248     | Пробки кранов арматуры                                                                                                                               |
|                  | 1:7  | 8°10'16,4"  | 0,1426     | Концы шлифовальных шпинделей, краны пробковые, сальниковые                                                                                           |
| 1:5              |      | 11°25'16,3" | 0,1993     | Конические хвосты цапф, соединительные муфты (легко разъединяются), арматура                                                                         |
|                  | 1:4  | 14°15'0,1"  | 0,2487     | Фланцевые концы шпинделей станков, планшайб, патронов                                                                                                |
| 1:3              |      | 18°55'28,7" | 0,3303     | Шток в поршне, отверстие насадных торцевых фрез, концы шлифовальных шпинделей                                                                        |
| 1:0,866          |      | 60°         | 1,047      | Потайные головки заклёпок диаметром от 16 до 24, центры станков, центровые отверстия                                                                 |
| 1:0,5            |      | 90°         | 1,5707     | Потайные головки заклёпок и винтов диаметром до 8 мм, фаски валов и других деталей, конусы вентиля и клапанов. Центровые отверстия для тяжёлых валов |

**Допуски углов, степени точности, интервалы определяющих размеров, выражение допусков в угловых и линейных единицах.**

Угловые допуски задаются в зависимости от длины меньшей стороны угла.

Установлено 17 степеней точности, обозначаемых в порядке убывания точности цифрами 1, 2, ..., 17. В технической документации номер степени проставляют после условного обозначения допуска угла.

Точность угла зависит от длины его сторон. При малой длине сторон трудно добиться

высокой точности, а при больших сторонах большие отклонения формы сторон.

Установлено 13 интервалов длин меньшей стороны угла до 2500 мм.

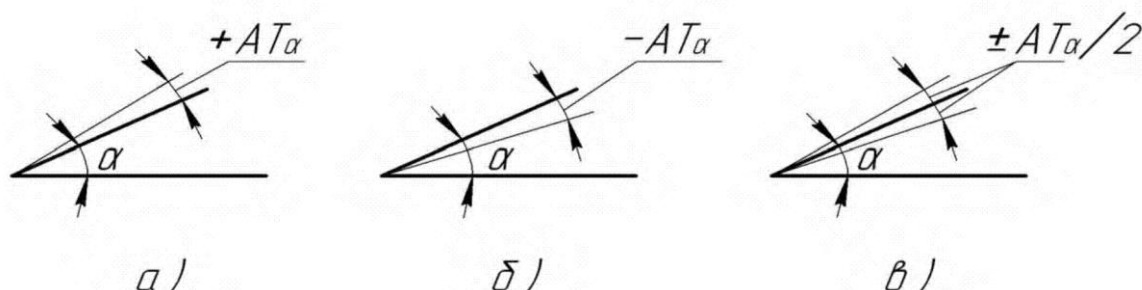
**Допуск угла  $AT$**  — разность между наибольшим и наименьшим предельными значениями угла. Допуски даны в нескольких вариантах. Исходными являются значения  $AT_\alpha$ , в микрорадианах, в виде линейных величин  $AT_h$  (для призматических элементов) и  $AT_D$  (для конических поверхностей). Основное распространение имеют значения допусков углов  $AT'_\alpha$  в градусах, минутах, секундах.

При обозначении допуска угла нужной точности к обозначению допуска угла  $AT$  добавляется номер степени точности:  $AT7$ ,  $AT12$ .

**Поля допуска** — это область, в пределах которой может находиться реальная образующая угла. Положение полей допусков угловых размеров не установлено. Есть три основных варианта расположения полей допусков:

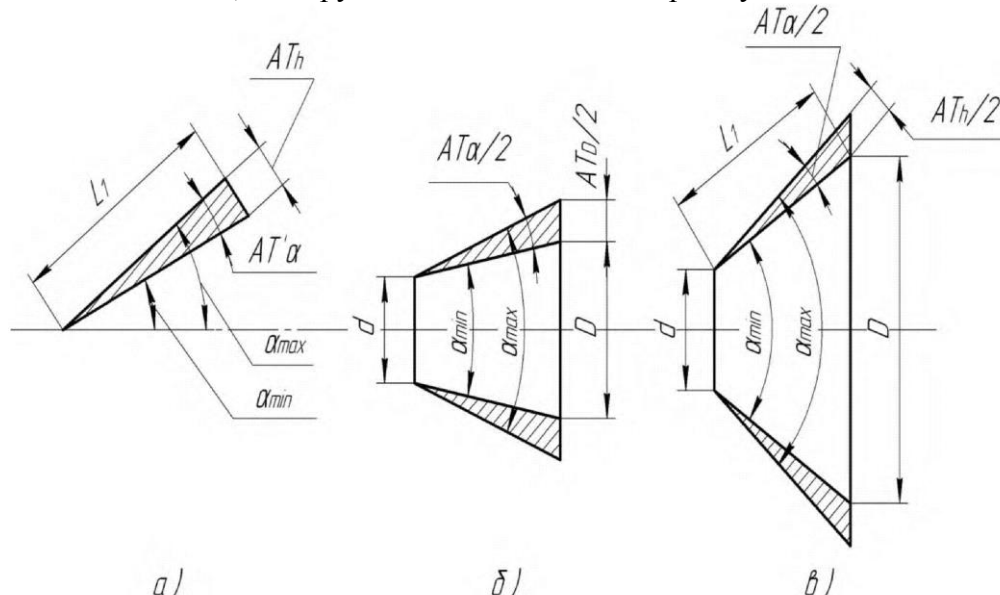
- ✓ «в плюс» (в таком случае оно имеет условное обозначение  $+AT$ ),
- ✓ «в минус» ( $-AT$ ) или симметрично ( $\pm AT/2$ ) относительно номинального угла.

Возможны варианты с двумя положительными или отрицательными отклонениями, асимметричное отклонение с разными знаками и др.



### Выбор норм точности угловых размеров

Допуски углов назначаются в зависимости от номинальной длины меньшей стороны угла, так как чем меньше длина, тем труднее изготовить и измерить угол:



Виды допусков углов:

а) допуск угла; б) - конусность  $C < 1:3$ ; в) - конусность  $C > 1:3$

$AT_\alpha$  - в угловых единицах рад; мкрад;

$AT_h$ ;  $AT_d$  - допуски угла в метрической системе единиц (мкм).

-  $AT_h$  - длина противолежащего отрезка на перпендикуляре к стороне угла на расстояние  $L$  от вершины угла (рис 3а и рис. 3в);

-  $ATd$  - разность диаметров в двух сечениях конуса на расстояние  $L$  между ними (рис. 36).

**Конусность  $C$**  определяется по формуле  $C=(D - d)/L=2tg(\alpha/2)$ .

✓ Для малых углов ( $C<1:3$ ):  $ATd = ATh$ .

Связь между допусками углов в угловых и линейных единицах определяется по формуле:

$$ATh = 10^{-3} ATa L ,$$

где  $ATh$  - мкм;

$ATa$  - мкрад;

$L$  - мм.

✓ Для конусов с конусностью больше, чем 1:3, значение  $ATD$  определяется по формуле.

$$ATD = ATh/\cos(\alpha/2) ,$$

где  $\alpha$  - номинальный угол конуса.

**Конические соединения, их параметры, система допусков и посадок, допуски формы, выбор посадки.**

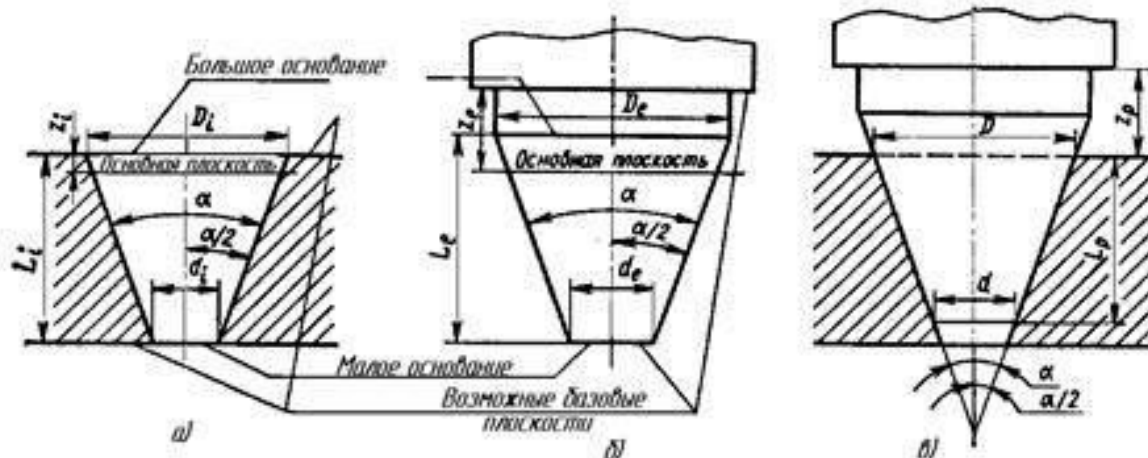
Конические соединения имеют ряд преимуществ по сравнению с цилиндрическими: обеспечивают точное центрирование сопрягаемых деталей при частой разборке и сборке (установка режущего инструмента в шпиндель станка); обеспечивают плотность и герметичность соединения за счет притирки друг к другу.

**Коническое соединение** — соединение наружного и внутреннего конусов, имеющих одинаковые номинальные углы конусов, характеризуется большим диаметром  $D$ , малым диаметром  $d$ , длиной конического соединения  $L$  и базорасстоянием соединения  $z_p$ .

**Базорасстоянием  $z_p$** - расстояние между основной и базовой плоскостями конуса(определяет относительное осевое расположение конических деталей).

**Основными параметрами конического соединения являются:**

диаметр, конусность, базорасстояние



### Система допусков и посадок.

При заданных конусности и размерах поверхности определяющими показателями конического соединения являются параметры конической посадки и базорасстояние соединения.

**Посадки в конических соединениях аналогично цилиндрическим характеризуют зазором или натягом**, значение которых определяется разностью (до сборки) диаметров внутреннего и наружного конусов в их поперечных сечениях, совмещаемых после фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых деталей.

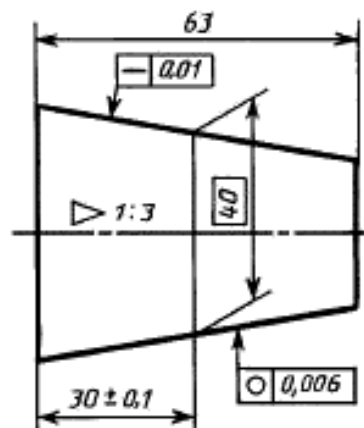
Для образования конических посадок отобран ряд полей допусков из ГОСТ 25346—89, которые в ГОСТ 25307—82 указаны посредством синоптической таблицы.

В соединениях с фиксацией конусов по конструктивным элементам или заданному базорасстоянию при назначении посадок следует применять поля допусков 4 ... 9-го квалитетов с

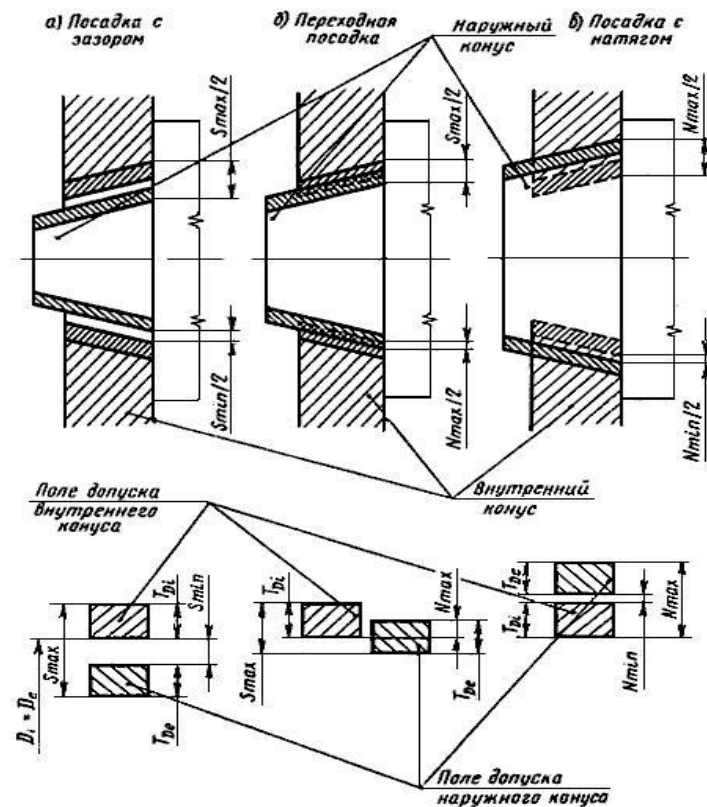
Рекомендуется в посадках сочетать поля допусков одного качества, допускается в обоснованных случаях повышать точность наружного конуса, но не более чем на два качества.



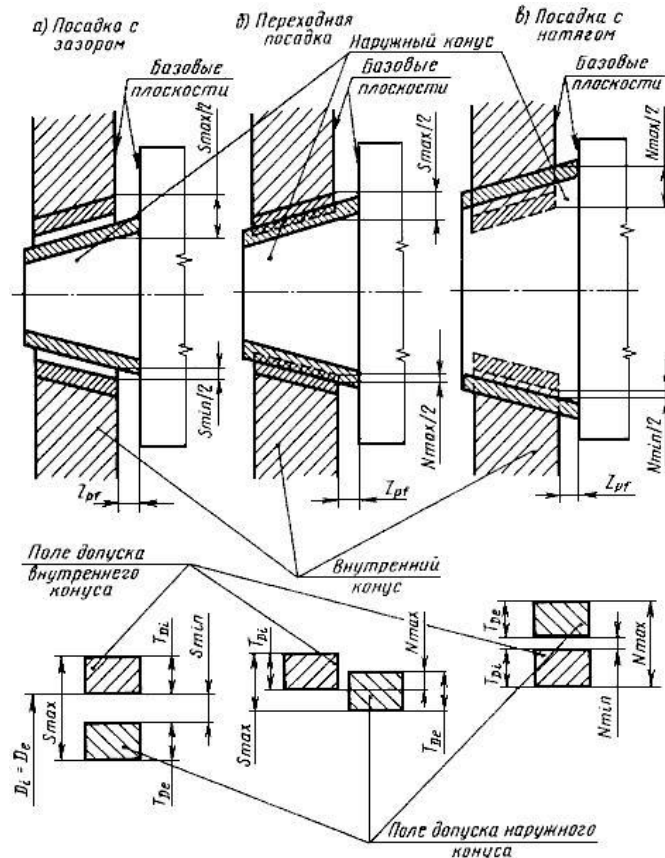
Technical drawing of a tapered shaft. The total length is 50. The diameter at the left end is  $\Phi 45_{-0,011}^{+0,011}$ . The diameter at the right end is  $\Phi 40_{-0,006}^{+0,008}$ . The taper is indicated by a triangle with a slope of 1:3 and a tolerance of  $\pm 0,02$ . A fillet with a radius of 15 is shown at the left end. Surface texture symbols are present: a circle with 0,008 and a square with 0,006.



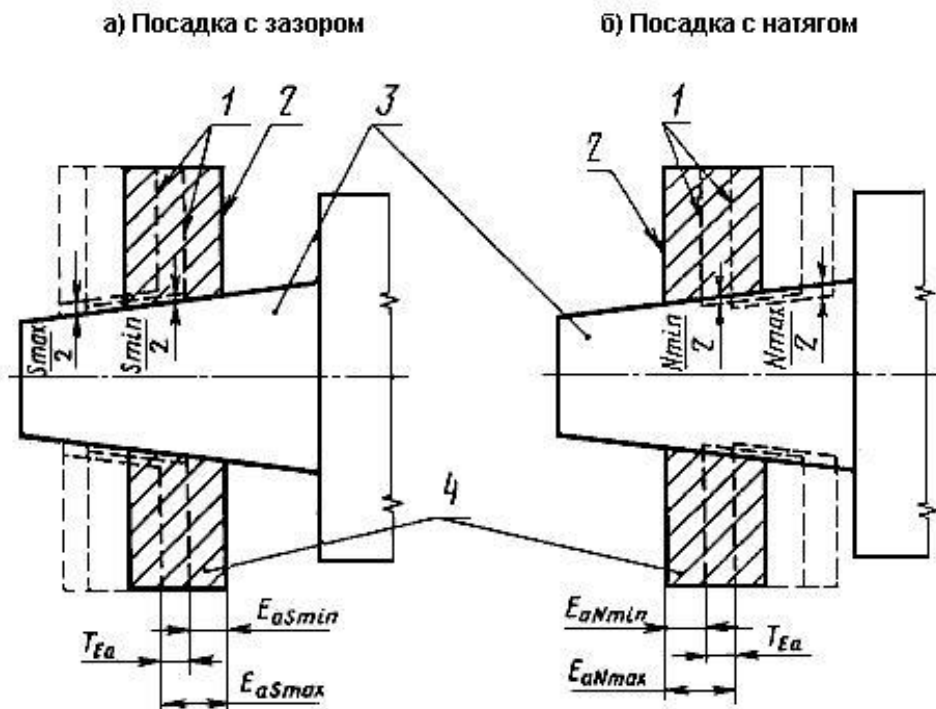
### Выбор посадки и методы получения заданного характера конических сопряжений.



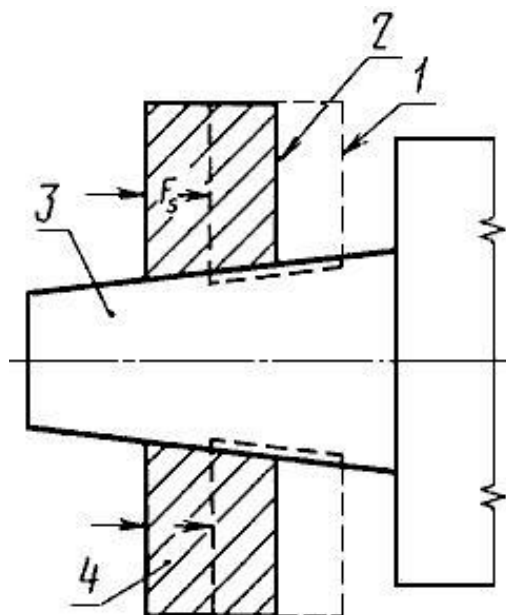
Посадки с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов: **при этом способе фиксации возможно получение посадок с зазором, переходных и с натягом.**



Посадки с фиксацией по заданному осевому расстоянию  $z_{pf}$  между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов; при этом способе фиксации возможно получение посадок с зазором, переходных и с натягом.

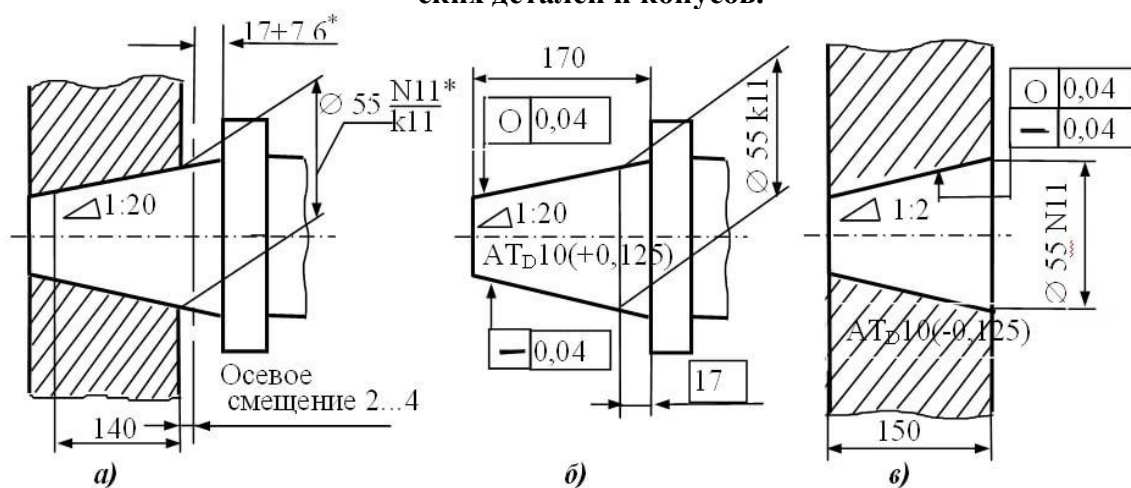


Посадки с фиксацией по заданному осевому смещению  $E_a$ , сопрягаемых конусов от их начального положения; при этом способе фиксации возможно получение посадок с зазором и натягом

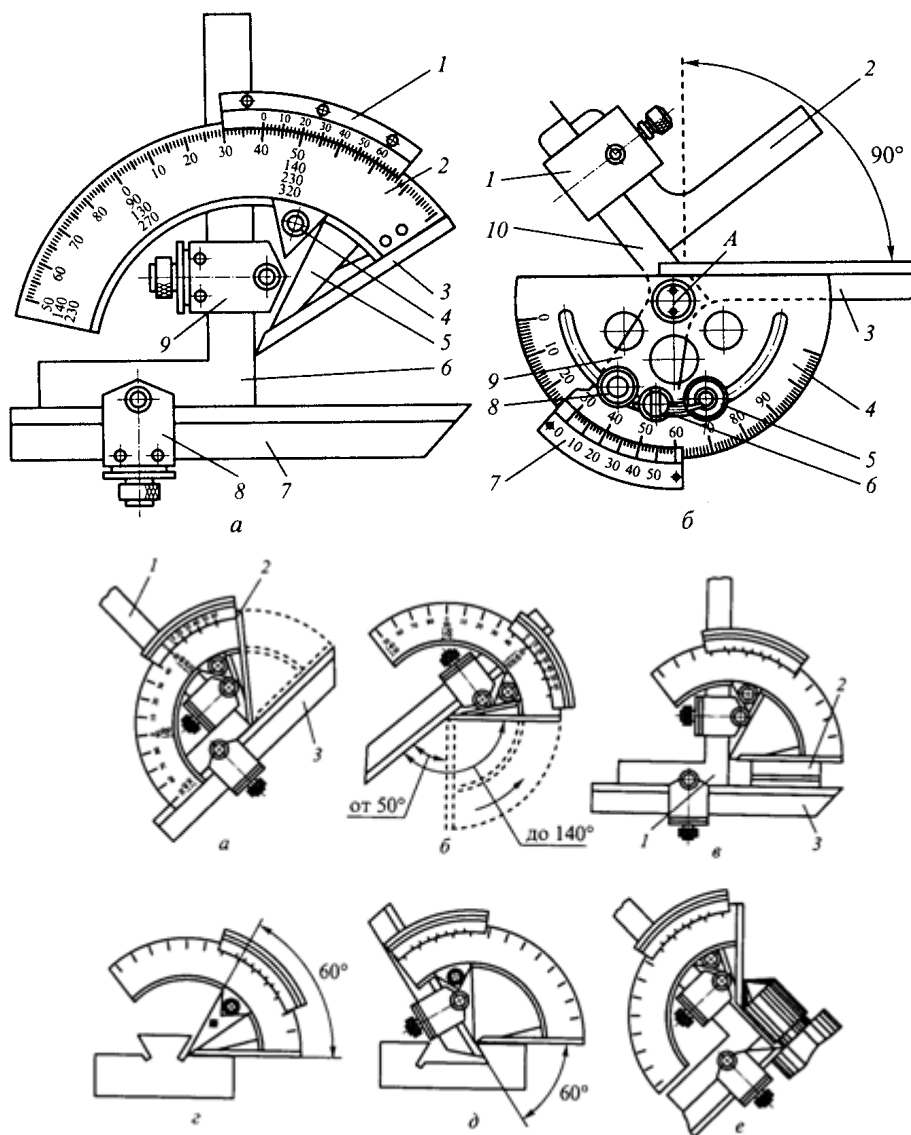


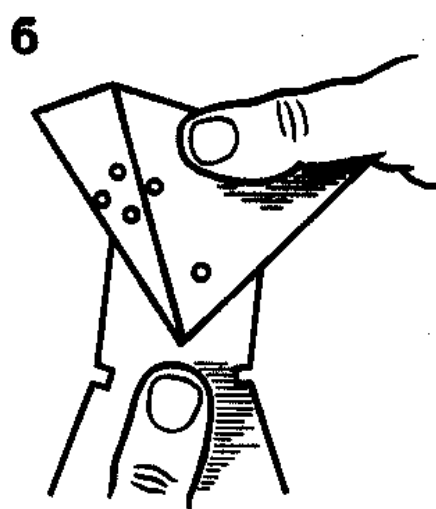
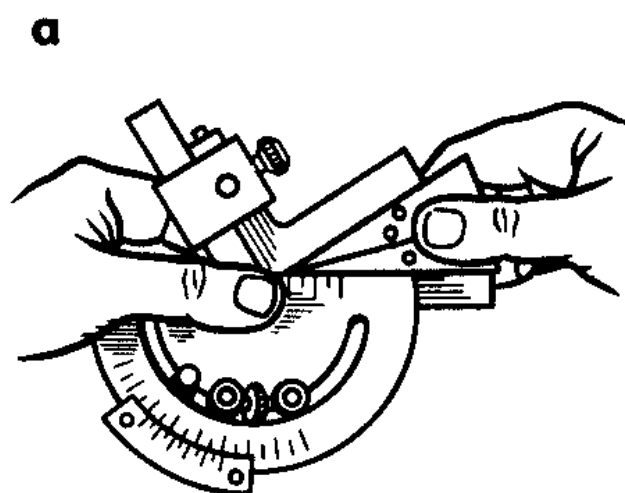
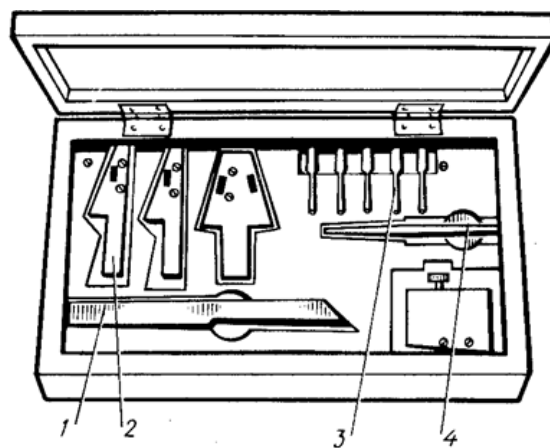
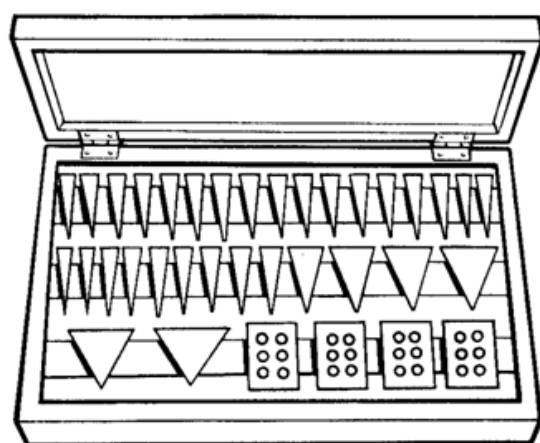
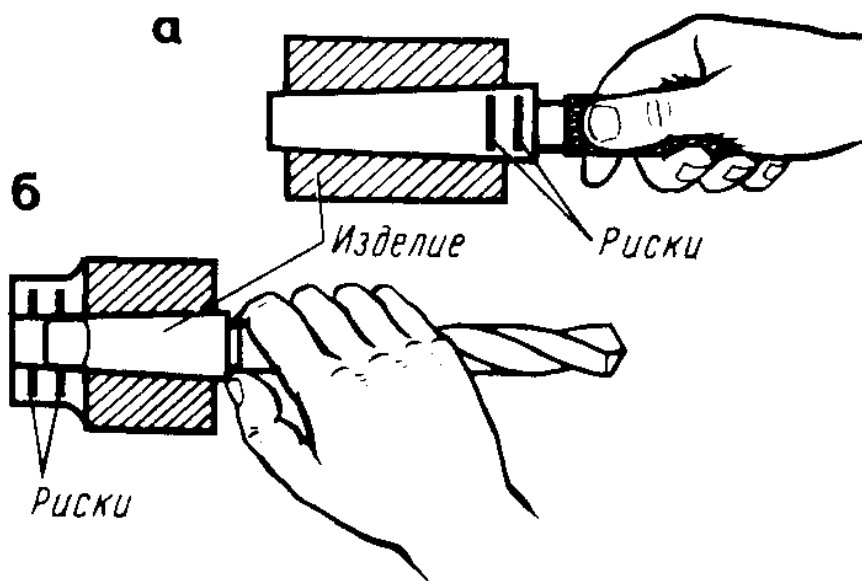
Посадки с фиксацией по заданному усилию запрессовки  $F_s$ , прилагаемому в начальном положении сопрягаемых конусов; при этом способе фиксации возможно получение посадок с натягом.

**Указания размеров, допусков и посадок на чертежах. Контроль углов призматических деталей и конусов.**



**Контроль углов призматических деталей и конусов.**





## ТЕМА 10. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ ДЕТАЛЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

### Классификация и параметры резьбы.



#### Резьбы классифицируются по следующим признакам:

- по профилю винтовой поверхности: треугольные, трапецеидальные, упорные;
- по форме поверхности, на которой выполнена резьба: цилиндрические и конические, наружные и внутренние;
- по направлению винтового движения резьбового контура: правые и левые;
- по числу заходов: одно- и многозаходные;
- по эксплуатационному назначению: общего применения и специальные.

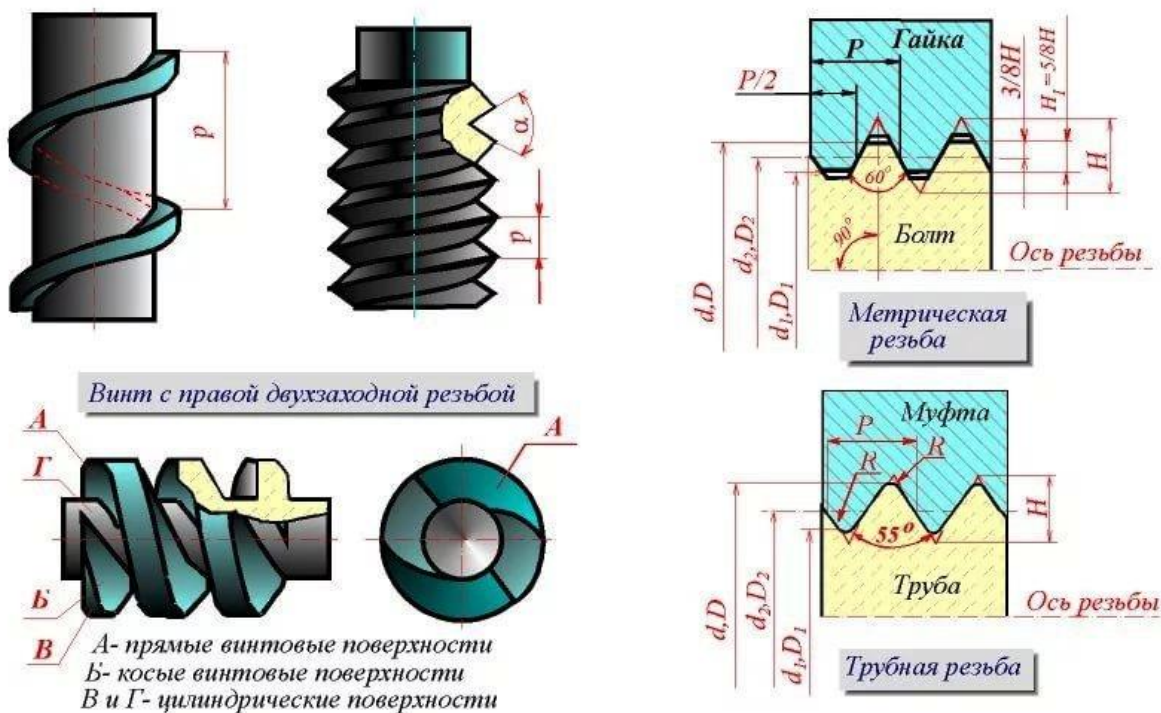
#### К резьбам общего применения относятся:

а) крепежные (метрическая, дюймовая). Главное требование к ним - обеспечить прочность соединения и сохранить плотность стыка в процессе длительной эксплуатации;

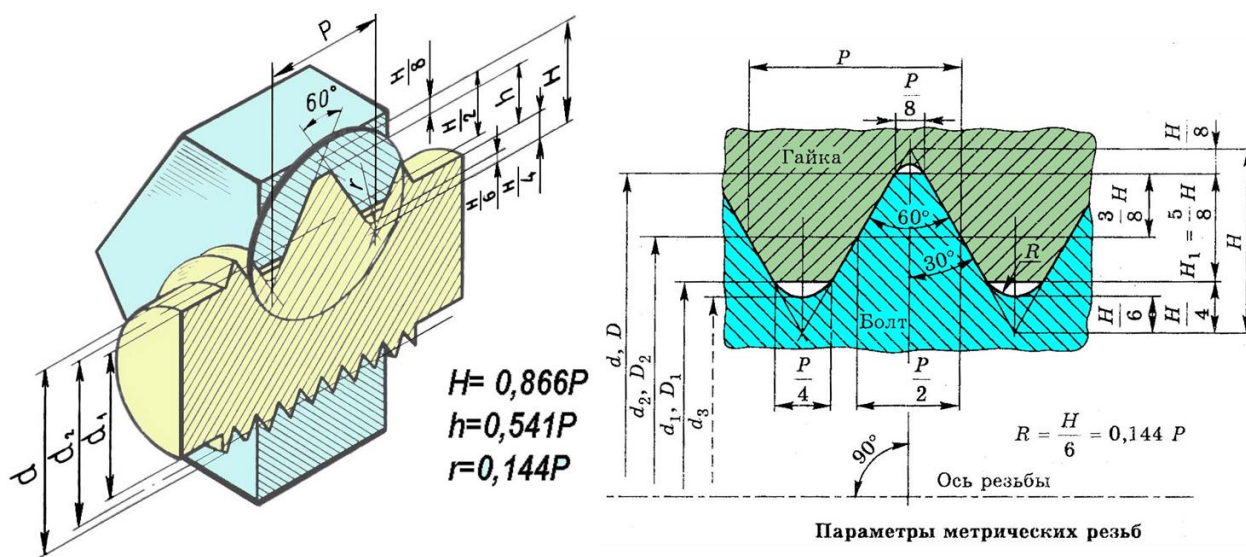
б) кинематические (трапецеидальные и прямоугольные) для ходовых винтов. Главное требование к ним - обеспечить точное перемещение при наименьшем трении;

в) трубные и арматурные. Главное требование к ним, обеспечить герметичность соединений.

Упорная резьба применяется для преобразования вращательного движения в поступательное силовое (домкраты, прессы). Главное требование к ней - обеспечить высокую нагрузочную способность.



**Параметры резьбы.** В общем машиностроении наиболее широко применяется метрическая резьба. ГОСТ 24705-81 устанавливает номинальный профиль метрической резьбы и размеры элементов профиля.



**d** - наружный диаметр наружной резьбы(болта); **D** - наружный диаметр внутренней резьбы (гайки); **d<sub>2</sub>** - средний диаметр болта; **D<sub>2</sub>** - средний диаметр гайки; **d<sub>1</sub>** - внутренний диаметр болта; **D<sub>1</sub>** - внутренний диаметр гайки; **d<sub>3</sub>** - внутренний диаметр болта по дну впадины; **P** - шаг профиля; **H** - высота исходного треугольника;  $\alpha = 60^\circ$  - угол профиля резьбы; **R** - номинальный радиус закругления впадины болта;

**Средний диаметр резьбы (d<sub>2</sub>, D<sub>2</sub>)**– диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага резьбы.

**Наружный диаметр резьбы (d, D)**– диаметр воображаемого цилиндра, описанного вокруг вершин наружной резьбы или впадин внутренней резьбы.

**Внутренний диаметр резьбы (d<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>)**– диаметр воображаемого цилиндра, вписанного касательно к впадинам наружной резьбы или вершинам внутренней резьбы.

**Шаг резьбы ( $P$ )** – расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля в направлении, параллельном оси резьбы.

**Угол профиля резьбы ( $\alpha$ )** – угол между боковыми сторонами профиля.

**Высота исходного профиля ( $H$ )** – высота остроугольного профиля, полученного при продолжении боковых сторон профиля до их пересечения.

**Рабочая высота профиля** – высота соприкосновения сторон профиля наружной и внутренней резьб в направлении, перпендикулярном оси резьбы.

**Длина свинчивания ( $L$ )** – длина соприкосновения винтовых поверхностей наружных и внутренних резьб в осевом сечении.

ГОСТ 8724-81 устанавливает диаметры резьбы от 0,25 до 600 мм и шаги от 0,075 до 6 мм. Установлено 3 ряда диаметров метрической резьбы. При выборе диаметра резьбы следует первый ряд предпочитать второму, второй – третьему.

**Погрешности резьбы.**

Основными погрешностями резьбы являются набег шага и искажение угла профиля.

- *Погрешностью (отклонением) шага  $DP$*  называется разность между действительным и номинальным размерами шага.

**Погрешность шага состоит из местных и прогрессивных погрешностей шага.**

**Местные погрешности** не зависят от длины свинчивания.

**Прогрессивные погрешности** в шаге нарезаемой резьбы возникают пропорционально числу витков на длине свинчивания.

- *Погрешностью (отклонением) половины угла профиля резьбы  $Da/2$*  болта или гайки называется разность между действительным и номинальным значениями  $Da/2$ .

**Влияние отклонений диаметров, шагов, угла наклона боковой стороны профиля на прочность резьбы и свинчиваемость.**

В случае отклонений диаметров болт и гайка могут не свинчиваться.

Ухудшает свинчиваемость отклонение шага в любую сторону.

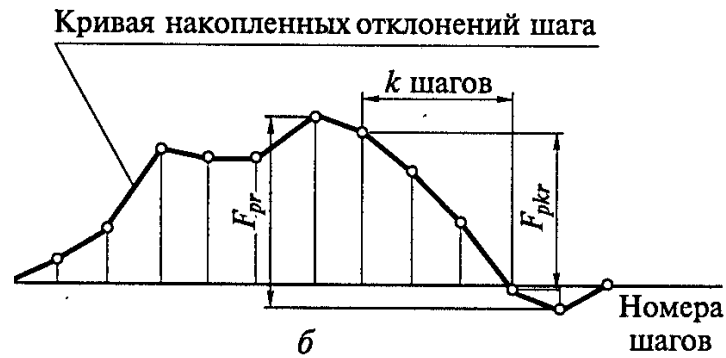
Циклическая прочность зависит от равномерности распределения усилий между витками. Наличие зазоров по  $d_2$ ,  $d_1$  и  $d$  устраняет заклинивание витков, уменьшает трение между ними и увеличивает податливость резьбы, компенсируя погрешности изготовления и равномерно распределяет нагрузку между витками.

При прогрессивной ошибке и отклонении половины угла профиля статическая прочность резьбы снижается. Отклонения шага снижают циклическую прочность резьбового соединения, а отклонения половины угла профиля – повышают.

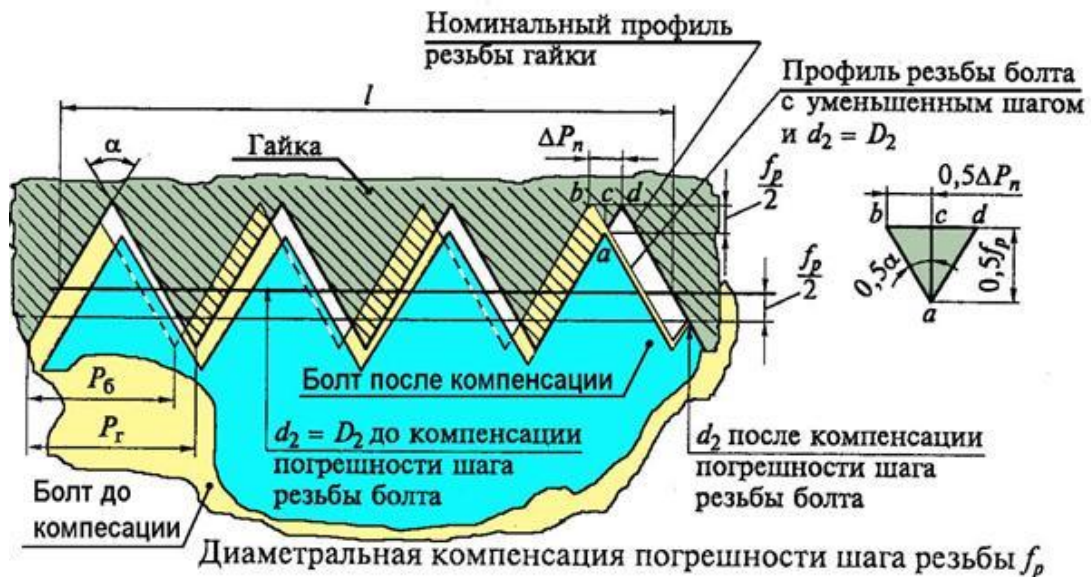
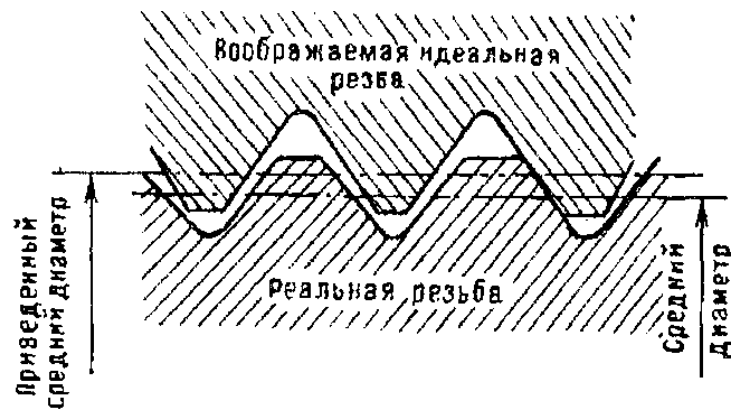
Является результатом того, что ошибка в шаге редко бывает местной. Обычно она является прогрессивной, возрастающей пропорционально числу полных шагов на длине свинчивания ( $\Delta P_n$ ).

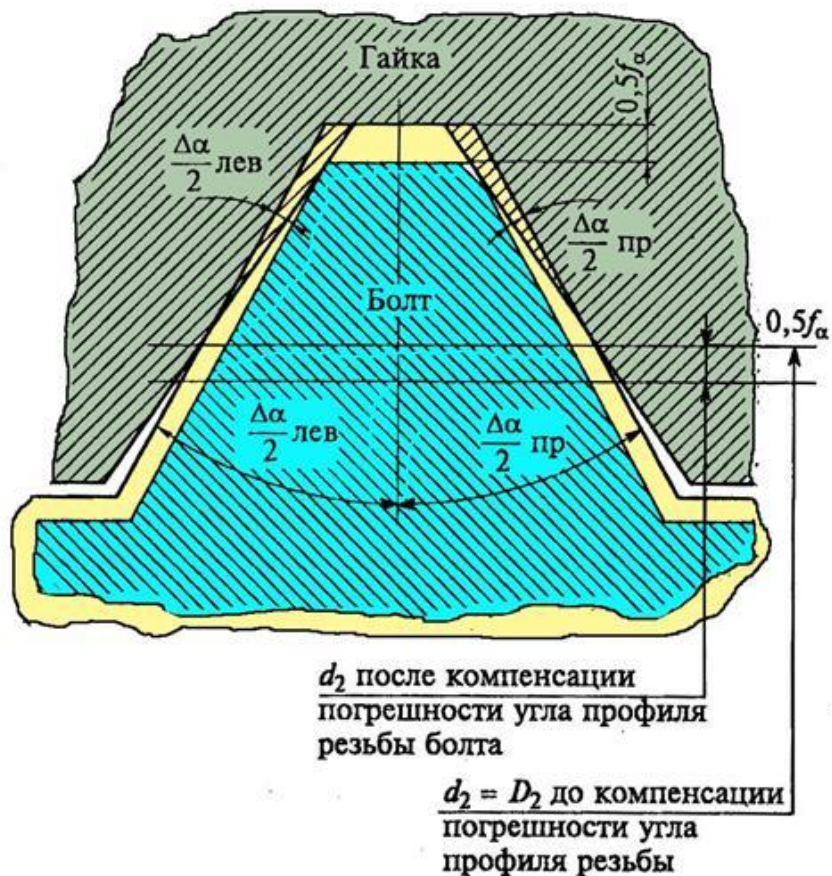
**Происходит накопленная погрешность шага:**

- из-за копирования ошибок шага метчика или плашки;
- из-за погрешностей кинематики станка при нарезании резьбы резцом с помощью коробки подач станка;
- из-за износа ходового винта и его температурных и силовых деформаций;
- неоднородности материала заготовки и других причин.
- При изготовлении резьбовых деталей неизбежны погрешности профиля резьбы и ее, размеров, которые могут нарушить свинчиваемость и ухудшить качество соединений. Для обеспечения свинчиваемости и качества соединений, действительные контуры свинчиваемых деталей не должны выходить за предельные контуры на всей длине свинчивания.



**Приведенным средним диаметром резьбы** называется средний диаметр воображаемой идеальной резьбы, которая имеет те же шаг и угол наклона боковых сторон, что и основной или номинальный профиль резьбы, и длину, равную заданной длине свинчивания, которая плотно (без взаимного смещения или натяга) соприкасается с реальной резьбой по боковым сторонам резьбы.



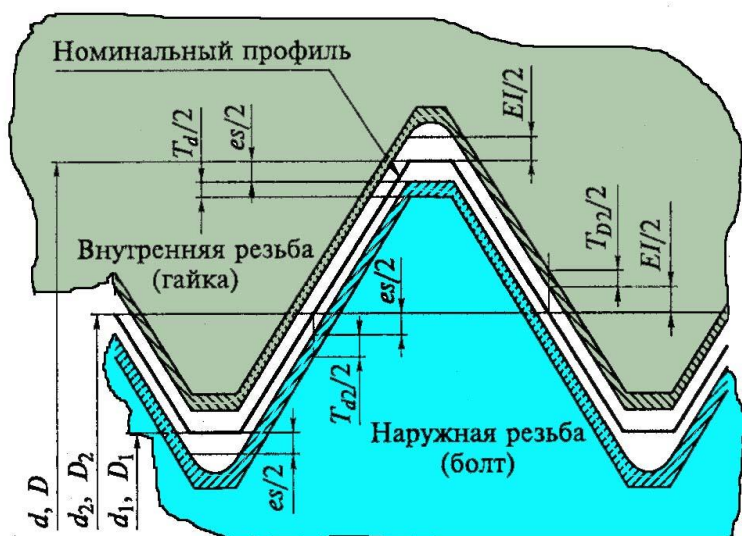


Диаметральная компенсация погрешности угла профиля резьбы

Посадки резьб (с зазором, с натягом, переходные).

#### Посадка с зазором

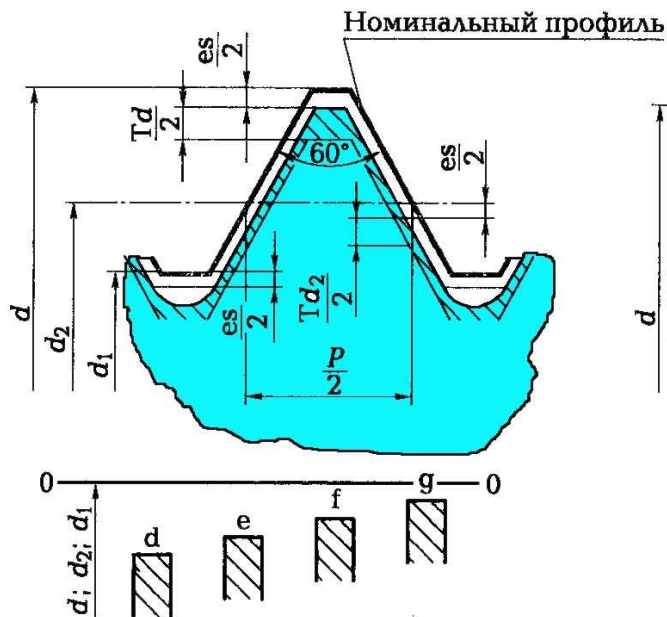
Предусмотрено пять основных отклонений для наружной резьбы ( $d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $g$ ,  $h$ ) и четыре основных отклонения для внутренней резьбы ( $E$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $H$ )



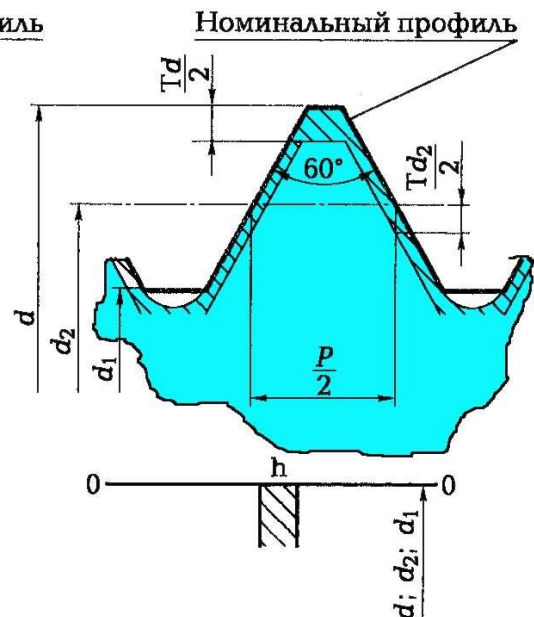
Расположение полей допусков резьбового соединения в посадках с зазором

## Поля допусков наружной резьбы

С основными отклонениями d, e, f, g

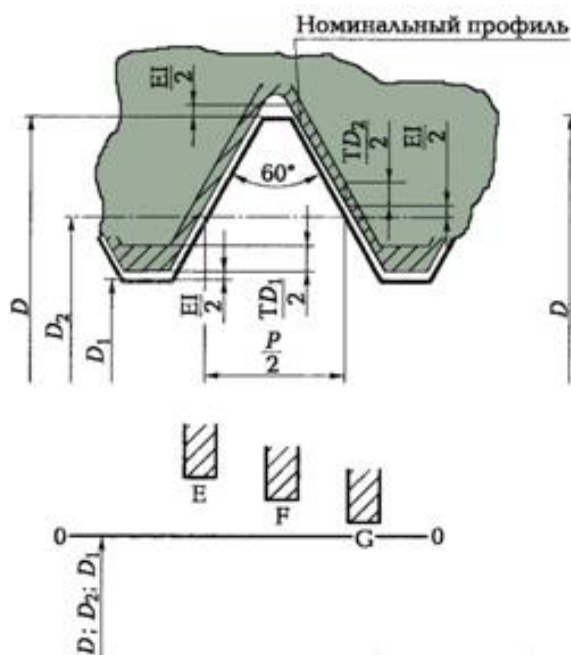


С основным отклонением h

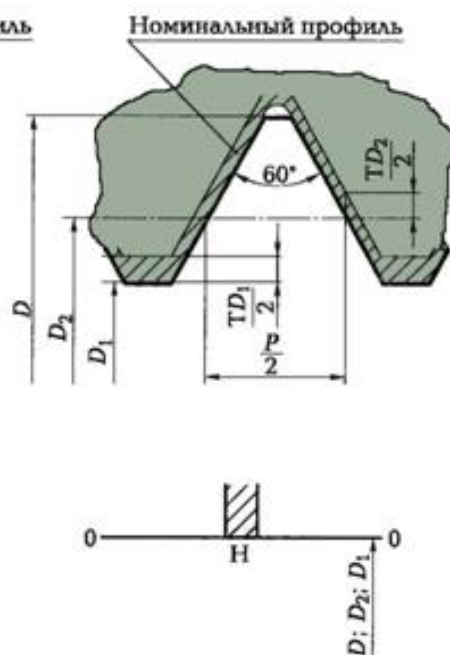


## Поля допусков внутренней резьбы

С основными отклонениями E, F, G



С основным отклонением H



### Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из:

- числа, обозначающего степень точности
- строчной или прописной латинской литеры, обозначающей основное отклонение резьбового вала или отверстия. Например 4h, 7H.

У резьб обозначение поля допуска начинается с числа (степень точности), после которого записывают основное отклонение.

**Обозначение поля допуска резьбы состоит из:**

- обозначения поля допуска среднего диаметра (на первом месте)
- обозначения поля допуска диаметра выступов,  $d$  - для болта,  $D1$  - для гайки (на втором месте) Например: 7g6g, 5H6H.

Если обозначение поля допуска диаметра выступов совпадает с обозначением поля допуска среднего диаметра, то в обозначении оно не повторяется: Например 6g6g, 6H 6H записывают 6g, 6H.

**Обозначение поля допуска резьбы** должно следовать за обозначением резьбы: - метрическая с крупным шагом - M 12-6g;

- метрическая с мелким шагом - M12 x 1-6H;
- метрическая с мелким шагом левая - M12 x 1-LH-6H.

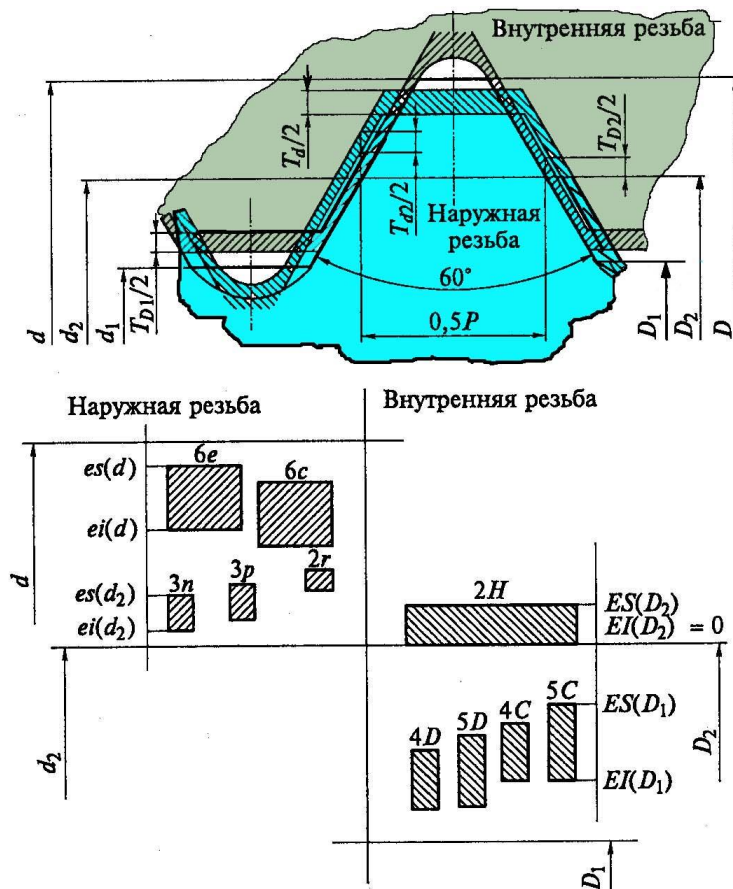
Длина свинчивания **группы N** в условном обозначении резьбы не указывается. Длина свинчивания в обозначении резьбы указывается в миллиметрах в следующих случаях: если она относится к **группе L**.

**Посадка с натягом**

Поля допусков для этих резьб распространяется на метрические резьбы с диаметрами от 5 до 45 мм и шагами от 0,8 до 3 мм.

Стандарт устанавливает посадки, предназначенные для стальных деталей с наружными резьбами (обычно шпилек), сопрягаемых с внутренними резьбами в деталях из стали, чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов.

Резьбы с натягом находят применение в машинах и механизмах для неразъемных крепёжных соединений, работающих в условиях вибраций и переменного температурного режима.

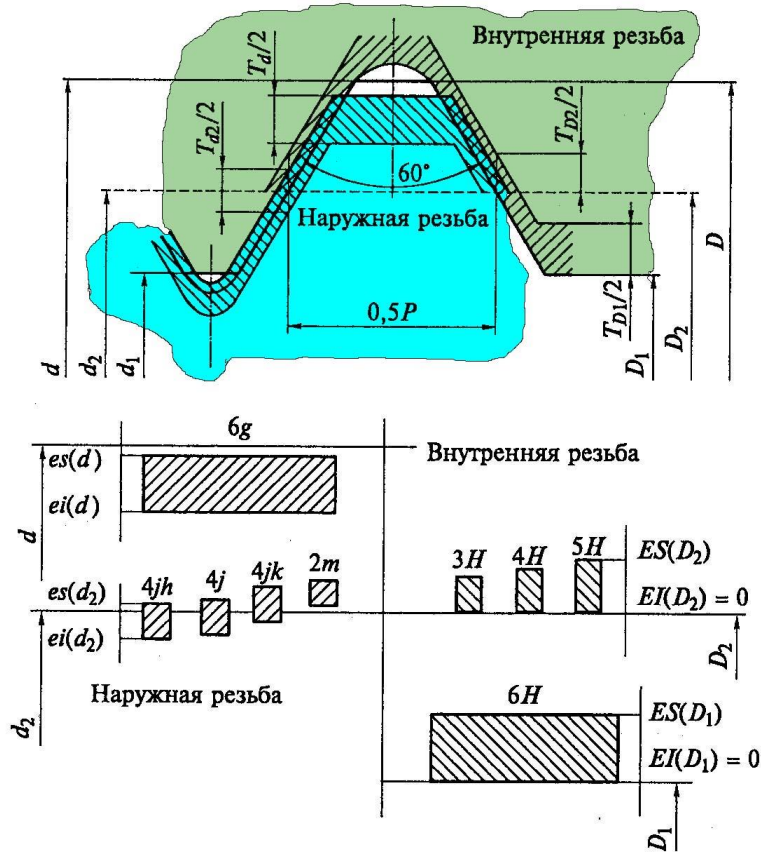


Расположение полей допусков резьбы в посадках с натягом

## Переходные посадки

Посадки, предназначенные для стальных деталей наружными резьбами, сопрягаемых с внутренними резьбами в деталях из стали, чугуна, алюминиевых и магниевых сплавов.

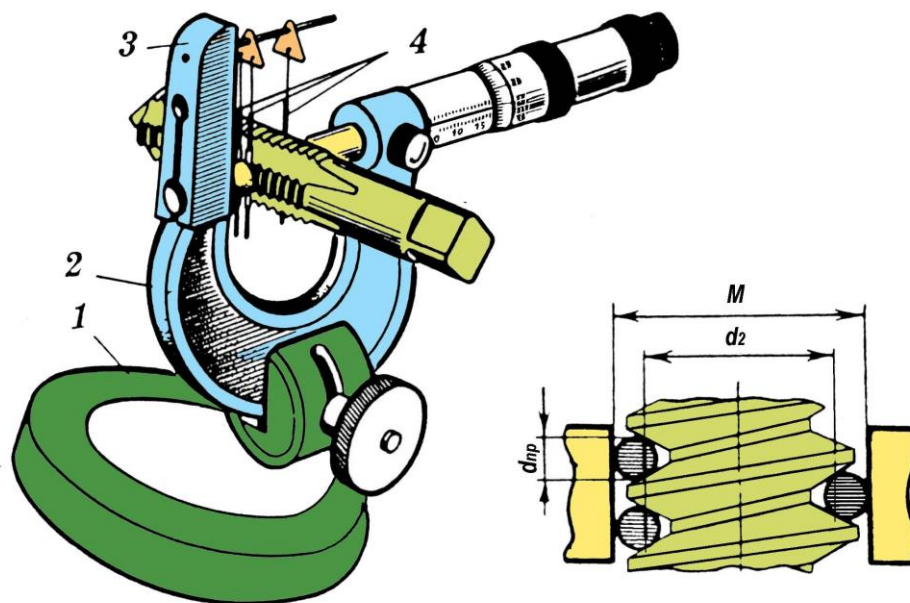
Длина свинчивания аналогично длинам для посадок с натягом. Переходные посадки обеспечивают точное центрирование, например M12-4H6(2)/4jk, возможна сборка-разборка.



Расположение полей допусков резьбы в переходных посадках

## Контроль точности резьбовых деталей.

Измерение среднего диаметра резьбы методом трех проволочек



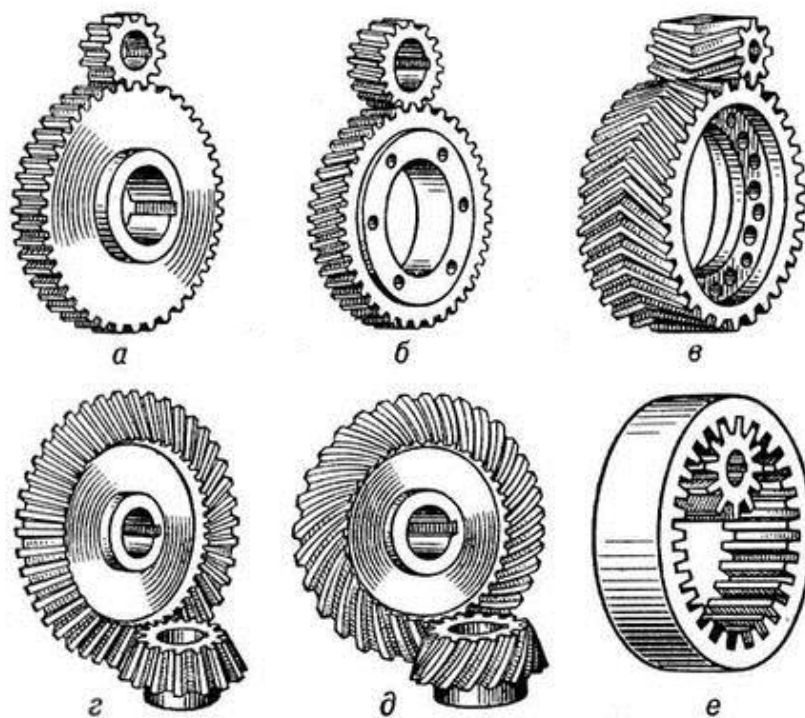
## ТЕМА 11. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

**Классификация зубчатых передач и предъявляемые к ним точностные требования.**

Зубчатые колеса и передачи классифицируют по различным признакам:

- ❖ **по виду поверхностей, на которых располагаются зубцы** (цилиндрические и конические, внутренние и внешние),
- ❖ **по направлению зубцов** (прямозубые, косозубые, винтовые, шевронные),
- ❖ **по профилю зубцов** (эвольвентные, циклоидальные, часовые, цевочные, Новикова),
- ❖ **по направлению осей вращения** (цилиндрические – с параллельными осями, конические – с пересекающимися, винтовые и червячные – со скрещивающимися).
- ❖ **по конструктивному оформлению**: открытые (бескорпусные) и закрытые (корпусные);
- ❖ **по окружной скорости**: тихоходные (до 3 м/с), для средних скоростей (3—15 м/с), быстроходные (св. 15 м/с);
- ❖ **по числу ступеней**: одно- и многоступенчатые;
- ❖ **по расположению зубьев в передаче и колесах**: внешнее и внутреннее;
- ❖ **по относительной подвижности геометрических осей зубчатых колес**: с неподвижными осями колес - рядовые передачи; с подвижными осями некоторых колес - планетарные передачи.
- ❖ **по точности зацепления**. Стандартом предусмотрено 12 степеней точности.
- ❖ **по назначению различают**: силовые передачи, предназначенные для передачи мощности; кинематические передачи, то есть передачи, не передающие значительной мощности, а выполняющие чисто кинематические функции.

Основания классификации не исчерпываются приведенными примерами. Среди множества классификаций важнейшими для выбора точностных параметров являются те, которые определяют функциональное назначение передачи.



Зубчатая передача с цилиндрическими колёсами: **а** — прямозубая; **б** — косозубая; **в** — шевронная; **г** — коническая; **д** — с круговым зубом; **е** — с внутренним зацеплением.

Требования, предъявляемые к точности зубчатых передач, зависят от функционального назначения передач и условий их эксплуатации.

В приборах, делительных машинах, в технологическом оборудовании для нарезания резьбы и зубчатых колес применяют так называемые **«отсчетные передачи»** (в которых главное внимание уделяют пропорциональности углов поворота зубчатых колес (кинематической точности передачи). Колеса этих передач в большинстве случаев имеют малый модуль и работают при малых нагрузках и низких скоростях.

**«Силовые»** или тяжело нагруженные зубчатые передачи, к точности вращения колес в которых не предъявляют высоких требований (передачи в домкратах, лебедках, прессах и т.д.).

В редукторах турбин и высокооборотных двигателей, в других изделиях с высокой круговой частотой вращения применяют **«скоростные передачи»** (высокоскоростные, быстроходные передачи), для которых основными являются требования к плавности работы, что необходимо для снижения уровня вибраций и шума при работе изделия.

Если у зубчатых передач нет явно выраженного эксплуатационного характера, их относят к передачам общего назначения. К таким передачам не предъявляют повышенных требований по точности.

#### **Нормы и степени точности зубчатых колес и передач.**

- нормы кинематической точности;
- нормы плавности работы;
- нормы контакта;
- нормы бокового зазора.

**Нормы кинематической точности.** Установлены требования к параметрам колес и передач, которые влияют на неточность передачи за полный оборот колеса, т.е. это погрешность угла поворота колеса за 1 полный оборот по сравнению с тем, если вместо него находится абсолютно точные колеса.

Наиболее важна:

- в делительных механизмах
- при нанесении и практике круговых делений

**Нормы плавности:** относят к парам зубчатых колес, связанные с кинематической точностью и проявляются многократно за один оборот колеса. Один или несколько раз на всем зубе наибольшее значение

- работает с большими скоростями
- отсутствие шума и вибрации

**Нормы контакта зубьев:** устанавливаются требования к тем параметрам, которые определяют величину поверхности касательных зубьев, сопрягаемых колес

**Особенно важны:**

для сильнонагруженных передач

**Нормы бокового зазора:** устанавливают требования к параметрам колес, влияющих на величину зазора по неработающему профилю по соприкосновению по работающим профилям.

Стандартом нормируются единые ряды точности для нормирования кинематики, плавности и контакта зубьев.

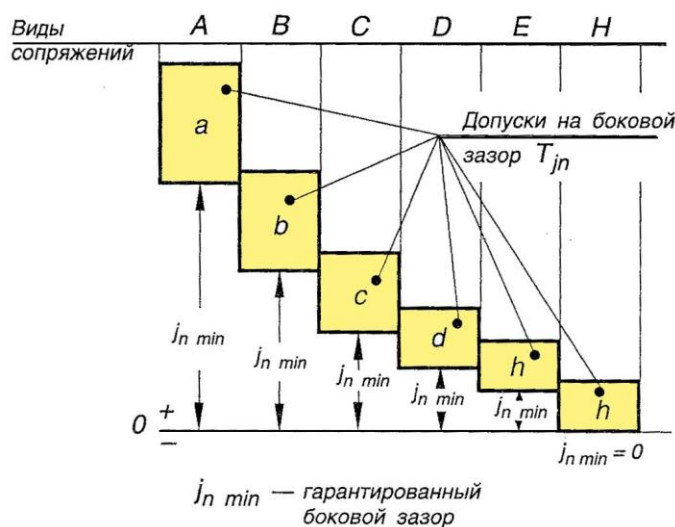
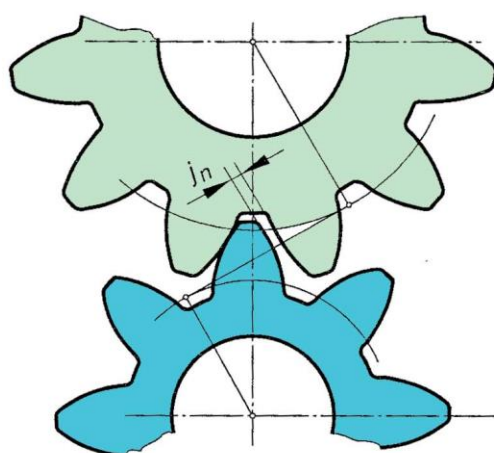
**ГОСТ 1643 – 81** позволяет установить двенадцать степеней точности цилиндрических зубчатых колес и передач – с 1 по 12 в порядке убывания точности.

В настоящее время допуски и предельные отклонения параметров зубчатых колес и передач нормированы для степеней точности 3...12, а степени 1 и 2 предусмотрены как перспективные.

Для каждой передачи (и зубчатого колеса) установлены нормы точности (степени точности) трех видов, определяющие степени кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев.

Независимо от степеней точности устанавливают виды сопряжений, которые определяют требования к боковому зазору.

ГОСТ устанавливает для зубчатых колес и передач с модулем больше 1 мм шесть видов сопряжений (A, B, C, D, E, H) и восемь видов допуска ( $a, b, c, d, h, x, y, z$ ) гарантированного бокового зазора  $j_{n \min}$



#### Обозначение точности зубчатых колес и передач.

**7 – C ГОСТ 1643-81** – цилиндрическая передача со степенью точности 7 по всем трем нормам, с видом сопряжения зубчатых колес C и соответствием между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния;

**8 – 7 – 6 – Ba ГОСТ 1643-81** – цилиндрическая передача со степенью точности 8 по нормам кинематической точности, со степенью 7 по нормам плавности, со степенью 6 по нормам контакта зубьев, с видом сопряжения B, видом допуска на боковой зазор a и соответствием между видом сопряжения и классом отклонений межосевого расстояния;

**7 – 600y–ГОСТ 1643-81** – передача 7 степени точности с гарантированным боковым зазором 600 мкм (не соответствующим ни одному из шести видов сопряжений) и допуском на боковой зазор вида y;

**7 – Ca /V- 128 ГОСТ 1643-81** – передача со степенью точности 7 по всем нормам, с видом сопряжения колес C, видом допуска на боковой зазор a и более грубым классом отклонений межосевого расстояния – V и уменьшенным боковым зазором в 128 мкм.

#### Показатели точности зубчатых колес и передач.

##### Основные показатели кинематической точности

Наиболее полно кинематическая точность колес выявляется при измерении кинематической погрешности или накопленной погрешности шага зубчатого колеса, которые являются комплексными показателями.

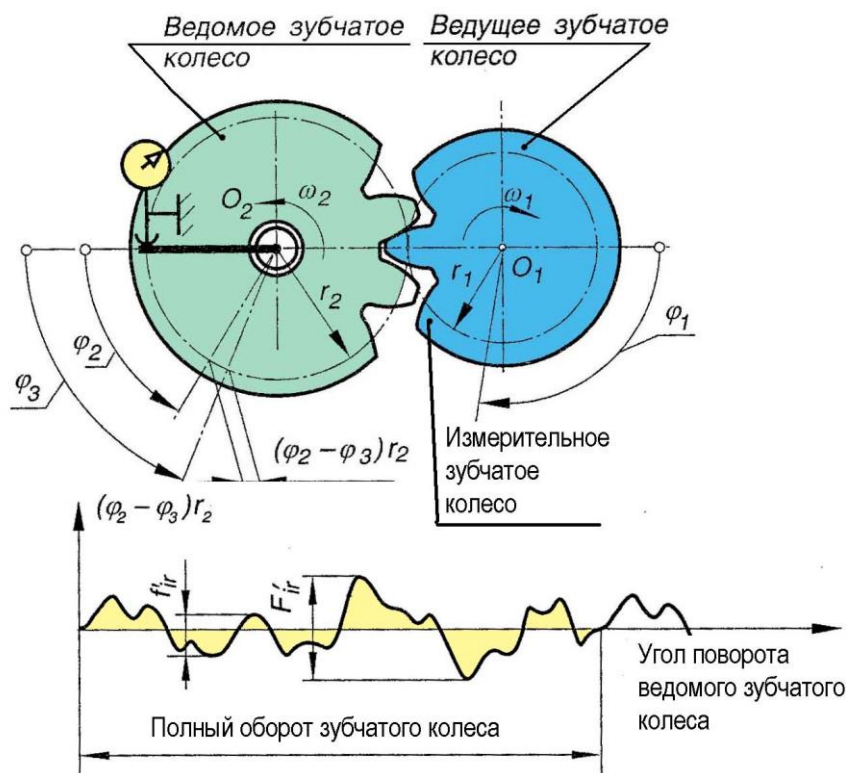
Вместо этих параметров могут быть использованы частные параметры (радиальное биение зубчатого венца и колебание длины общей нормали).

Биение рабочей оси зубообрабатывающего станка и неточность установки заготовки колеса относительно этой оси вызывают появление радиальной составляющей кинематической погрешности.

Тангенциальная составляющая кинематической погрешности связана с погрешностями угловых («делительных») кинематических перемещений элементов зуборезного станка.

##### Основные показатели плавности

Показателями плавности являются отклонения шага зубьев зубчатого колеса и отклонения шага зацепления от номинальных значений, а также погрешности профиля зубьев.



Под отклонением (торцового) шага зубьев зубчатого колеса понимают разность действительного шага и расчетного торцового шага зубчатого колеса

Под действительным шагом зацепления понимают расстояние между параллельными плоскостями, касательными к двум одноименным активным боковым поверхностям соседних зубьев зубчатого колеса.

Погрешность профиля зуба – расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными торцовыми профилями, между которыми находится действительный торцовый профиль на активном участке зуба зубчатого колеса.

### Основные показатели полноты контакта

Полноту контакта рабочих поверхностей зубьев оценивают по пятну контакта (интегральный показатель контакта) или по частным показателям.

Для контроля пятна контакта боковую поверхность меньшего или измерительного колеса покрывают краской (используют свинцовый сурик, берлинскую лазурь), причем толщина слоя не превышает (4...6) мкм и производят обкатку колес при легком притормаживании. Размеры пятна контакта определяют в относительных единицах – процентах от длины и от высоты активной поверхности зуба. При оценке абсолютной длины пятна контакта из общей длины (в миллиметрах) вычитают разрывы пятна, если они превышают значение модуля зубчатого колеса.

Оценка точности контакта боковой поверхности зубьев в передаче может быть выполнена на раздельном контроле элементов, влияющих на продольный и высотный контакты зубьев колес.

### Основные показатели зазора между нерабочими боковыми поверхностями зубьев

В качестве показателей зазора между боковыми поверхностями зубьев для зубчатого колеса могут быть использованы:

- ✓ межосевое расстояние, определяемое размерами зуба контролируемого колеса при комплексном контроле в беззазорном зацеплении с измерительным колесом;
- ✓ толщина зуба по хорде на заданном расстоянии от окружности выступов;
- ✓ длина общей нормали, значение которой зависит от толщины зуба;
- ✓ размер по роликам  $M$ , определяемый смещением исходного контура.

### **Контроль точности зубчатых колес и передач.**

#### **Приборы для контроля параметров зубчатых колес**

Для контроля параметров зубчатых колес применяют множество специально разработанных приборов. К ним относятся:

- ✓ **Кинематомеры и межосемеры** (можно использовать для контроля колебания межосевого расстояния за оборот колеса (показатель из норм кинематической точности), колебания межосевого расстояния на одном зубе (показатель из частного комплекса для оценки норм плавности), отклонения межосевого расстояния от номинального (показатели для оценки норм бокового зазора). На этом же приборе можно проконтролировать и пятно контакта).
- ✓ **Шагомеры** (приборы для контроля шага),
- ✓ **Нормалемеры** (приборы для контроля отклонений и колебаний длины общей нормали).

Некоторые приборы предназначены для контроля только одного параметра (**эвольвентомер** – для контроля профиля зуба, специальный шагомер для контроля шага зацепления), другие позволяют контролировать несколько параметров, в том числе и относящиеся к разным нормам точности.

#### **Погрешности зубчатых колес и передач. Влияние погрешностей на работоспособность и надежность передачи.**

Основными причинами неплавной работы являются такие погрешности зубчатых колес, как неправильное взаимное расположение зубьев (погрешности шага) и неточность формы рабочих поверхностей (погрешности формы профиля зубьев).

Погрешности у зубчатых колес возникают при нарезании, вызваны они четырьмя видами нарушений в настройке зубообрабатывающего оборудования и дефектами инструмента, а именно:

- *Радиальными неточностями* (неверная установка расстояния между заготовкой и инструментом, неточный размер инструмента);
- *Тангенциальными* (погрешности цепи деления зуборезного станка, вызванные неточностью зубчатых);
- *Осевыми* (непараллельное перемещение инструмента относительно оси заготовки при нарезании зубьев,);
- *Погрешностями производящей поверхности инструмента* (обработка неточным инструментом).

Радиальные, тангенциальные и осевые нарушения в настройке оборудования при нарезании зубчатых колес приводят, кроме всего прочего, к изменению гарантированного (минимального) бокового зазора между неработающими поверхностями зубьев зубчатой передачи, которые нужны для размещения смазки и компенсации увеличения объема зубьев при их нагревании.

## **ТЕМА 12. НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ШТИФТОВЫХ, ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ**

### **Общие сведения о шпоночных соединениях. Типы и виды шпоночных соединений.**

**Шпонка** – деталь, соединяющая вал и ступицу. Она служит для передачи вращающего момента от вала к ступице или наоборот.

Достоинствами шпоночного соединения являются:

- простота конструкции;
- низкая стоимость;
- удобство сборки-разборки, вследствие чего их широко применяют во всех отраслях машиностроения.

К недостаткам шпоночного соединения можно отнести:

- ослабление вала и ступицы шпоночными пазы. Шпоночный паз не только уменьшает поперечное сечение, но и вызывает значительную концентрацию напряжений.
- шпоночные соединения не рекомендуют для быстроходных динамически нагруженных валов.

Шпоночные соединения можно разделить на две группы: **ненапряженные** и **напряженные**.

Стандартами разработаны на основные типы шпоночных соединений (по форме шпонки): **призматические** (исполнение 1, 2 и 3), **сегментные** (исполнение 1 и 2), **клиновые** (исполнение 1, 2, 3 и 4) и **тангенциальные**.

Система условных обозначений шпоночных соединений и размеров регламентируется следующими стандартами:

- ГОСТ 23360-78. Соединение шпоночное с призматическими шпонками.
- ГОСТ 24071-97. Соединение шпоночное с сегментными шпонками;
- ГОСТ 24068-80. Соединение шпоночное с клиновыми шпонками;
- ГОСТ 24069-97. Тангенциальные шпонки и шпоночные пазы;
- ГОСТ 24070-80. Соединение шпоночное с тангенциальными усиленными шпонками.

К ненапряженным относят соединения призматическими и сегментными шпонками, к **напряженным** – соединения клиновыми шпонками.

В машиностроении наибольшее распространение нашли ненапряженные неподвижные шпоночные соединения как более простые в изготовлении, клиновые шпонки применяются редко.

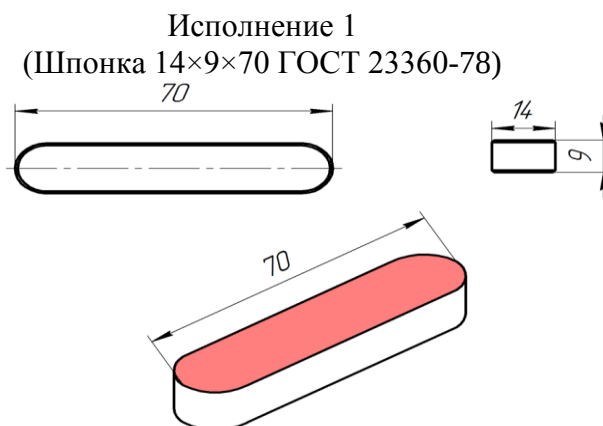
Призматические шпонки применяют для неподвижных и подвижных соединений. В случаях, когда ступица должна перемещаться вдоль вала, устанавливают направляющие или скользящие призматические шпонки.

Шпоночные пазы на валах выполняют фрезерованием дисковой (предпочтительнее, так как быстрее и точнее) или концевой фрезой, в ступицах – протягиванием или долблением. Концы призматических шпонок могут скругленными или плоскими.

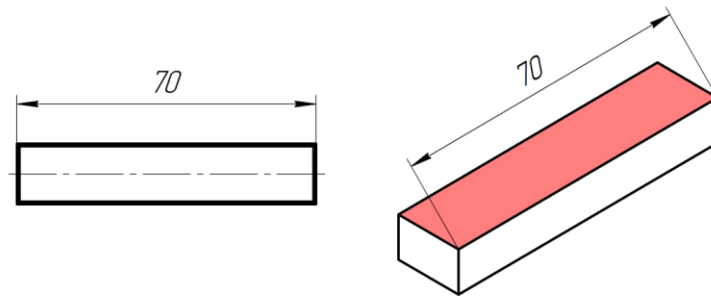
Призматические шпонки могут изготавливаться в трех исполнениях.

В обозначении указывается:

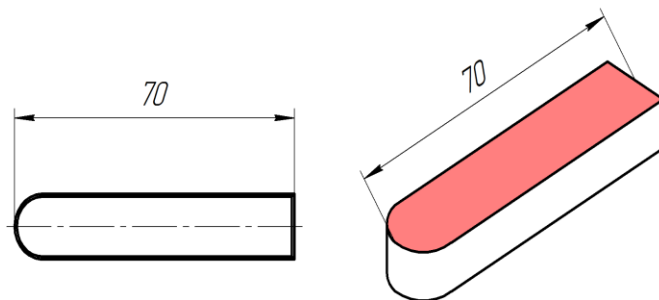
- ширина шпонки  $b$ ;
- высота шпонки  $h$ ;
- длина шпонки  $l$ .



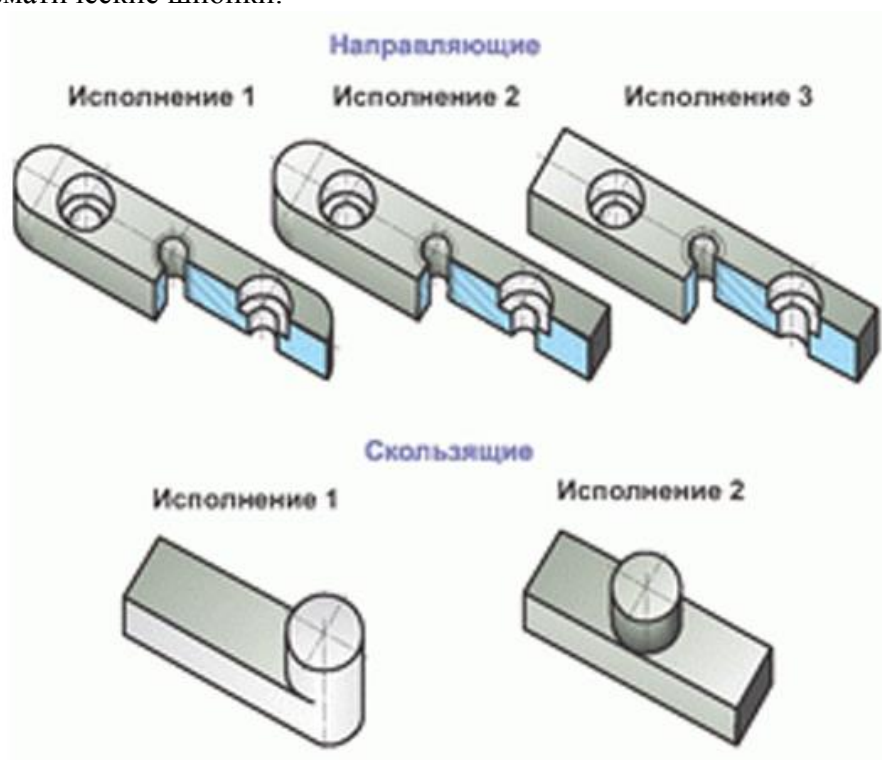
Исполнение 2  
(Шпонка 2- 14×9×70 ГОСТ 23360-78)



Исполнение 3  
(Шпонка 3- 14×9×70 ГОСТ 23360-78)



Призматические шпонки применяют для неподвижных и подвижных соединений. В случаях, когда ступица должна перемещаться вдоль вала, устанавливают направляющие или скользящие призматические шпонки.

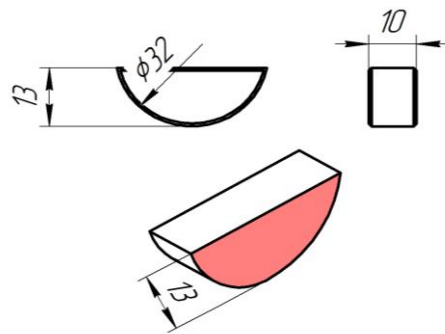


Сегментные шпонки могут изготавливаться в двух исполнениях.

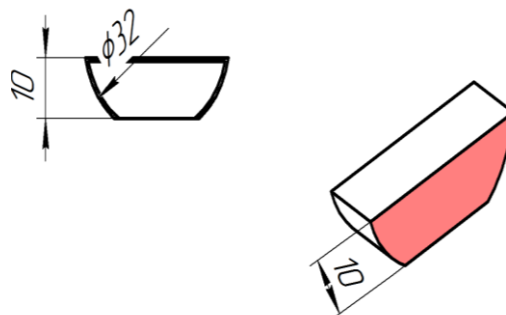
В обозначении указывается:

- ширина шпонки  $b$ ;
- высота шпонки  $h$ .

Исполнение 1  
(Шпонка 10×13 ГОСТ 24071-97)



Исполнение 2  
(Шпонка 2- 10×10 ГОСТ 24071-97)



Глубокая посадка сегментной шпонки исполнения 2 обеспечивает ей более устойчивое положение по сравнению с призматической шпонкой, однако глубокий паз также и значительно ослабляет вал, поэтому сегментные шпонки исполнения 2 применяют, в основном, для закрепления деталей на малонагруженных участках вала.

Клиновые шпонки могут изготавливаться в четырех исполнениях.

В обозначении указывается:

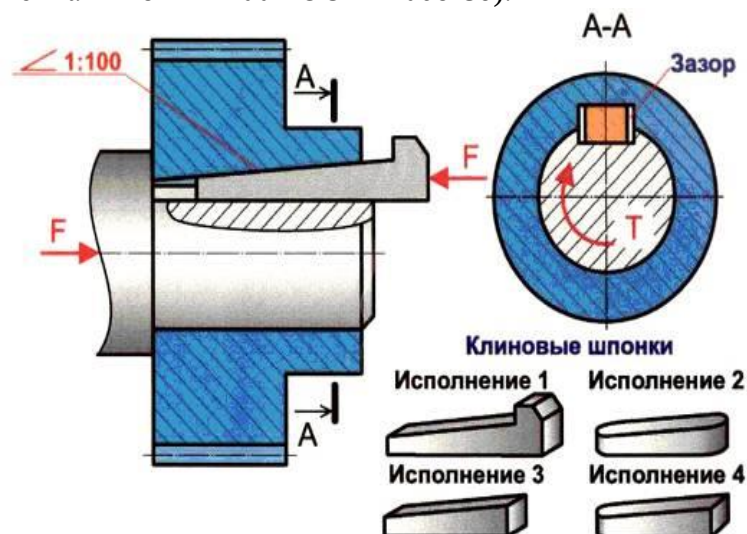
- ширина шпонки  $b$ ;
- высота шпонки  $h$ ;
- длина шпонки  $l$ .

Исполнение 1 (Шпонка 18×11×100 ГОСТ 24068-80).

Исполнение 2 (Шпонка 2- 18×11×100 ГОСТ 24068-80).

Исполнение 3 (Шпонка 3- 18×11×100 ГОСТ 24068-80).

Исполнение 4 (Шпонка 4- 18×11×100 ГОСТ 24068-80).



**Клиновые шпонки** представляют собой клинья обычно с уклоном 1:100. В отличие от призматических и сегментных шпонок у клиновых шпонок рабочими являются широкие грани, а на боковых гранях имеется зазор. Клиновые шпонки создают напряженное соединение, способное передавать вращающий момент, осевую силу и ударные нагрузки. Однако клиновые шпонки вызывают радиальные смещения оси ступицы по отношению к оси вала на величину радиального посадочного зазора и контактных деформаций, а следовательно, увеличивают биение установленной детали. Поэтому область применения клиновых шпонок в настоящее время невелика. В точном машиностроении и в ответственных соединениях их не используют.

**Тангенциальные шпонки** изготавливаются в одном исполнении.

Тангенциальная шпонка состоит из двух односкосных клиньев с уклоном 1:100 каждый.

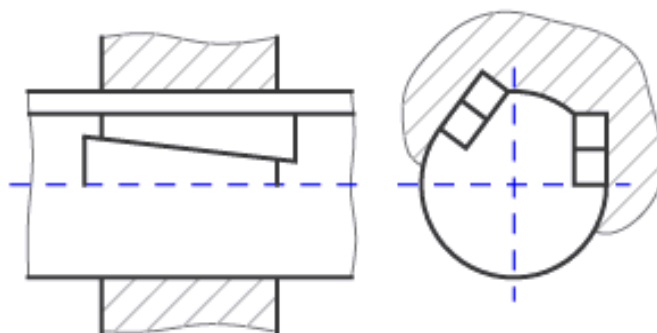
Работает узкими боковыми гранями. Клинья вводятся в пазы вала и ступицы ударом; образуют напряженное соединение. Распорная сила между валом и ступицей создается в касательном (тангенциальном) направлении.

При реверсивной работе ставят две пары тангенциальных шпонок под углом  $120^\circ$ .

В обозначении указывается;

- толщина шпонки  $t$ ;
- расчетная ширина  $b$ ;
- длина шпонки  $l$ .

(Шпонка 10×30×200 ГОСТ 24070-80)



тангенциальные шпонки

**Допуски и посадки в шпоночных соединениях. Правила обозначения на чертежах.**

**Посадки шпоночных соединений.** Точность центрирования деталей обеспечивается выбором данного параметра. Это важно учитывать, что поля допусков определяют три типа соединений или посадок. Это регулируется стандартами. Далее рассмотрим каждый вид подробнее.

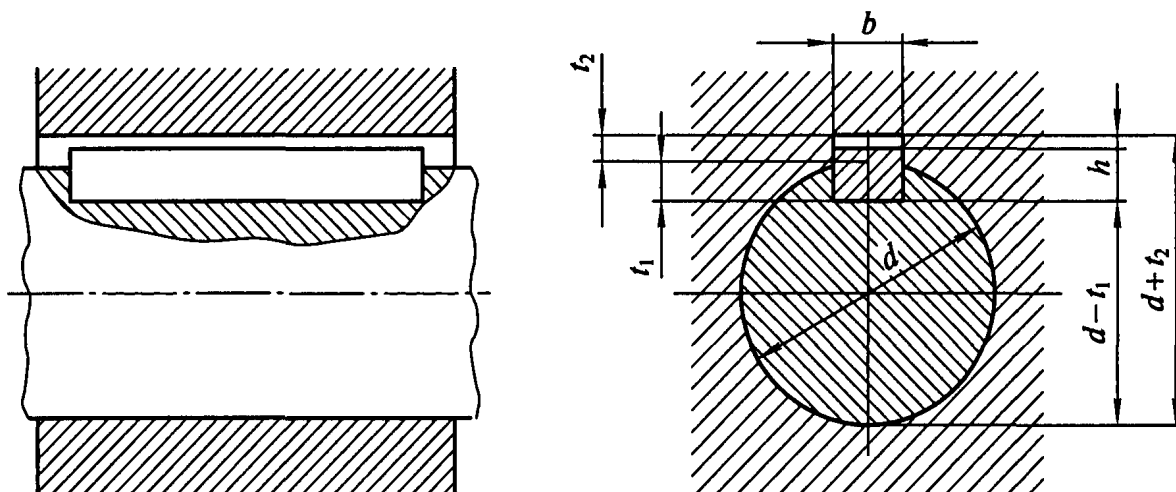
**Свободное соединение.** Данная посадка применяется при сложных условиях сборки с одинаковыми нагрузками. Используется для получения подвижных соединений при условии легкого режима работы.

**Нормальное соединение.** Характеризуется оно как неподвижная посадка, не требующая частых разборок. Отличается хорошими условиями сборки.

**Плотные соединения.** Определяется они вероятностью получения приблизительно незначительных одинаковых натягов в соответствующем стыковании шпонки с обеими деталями (их пазами). Сборку используют при небольшом количестве реверсных нагрузок.

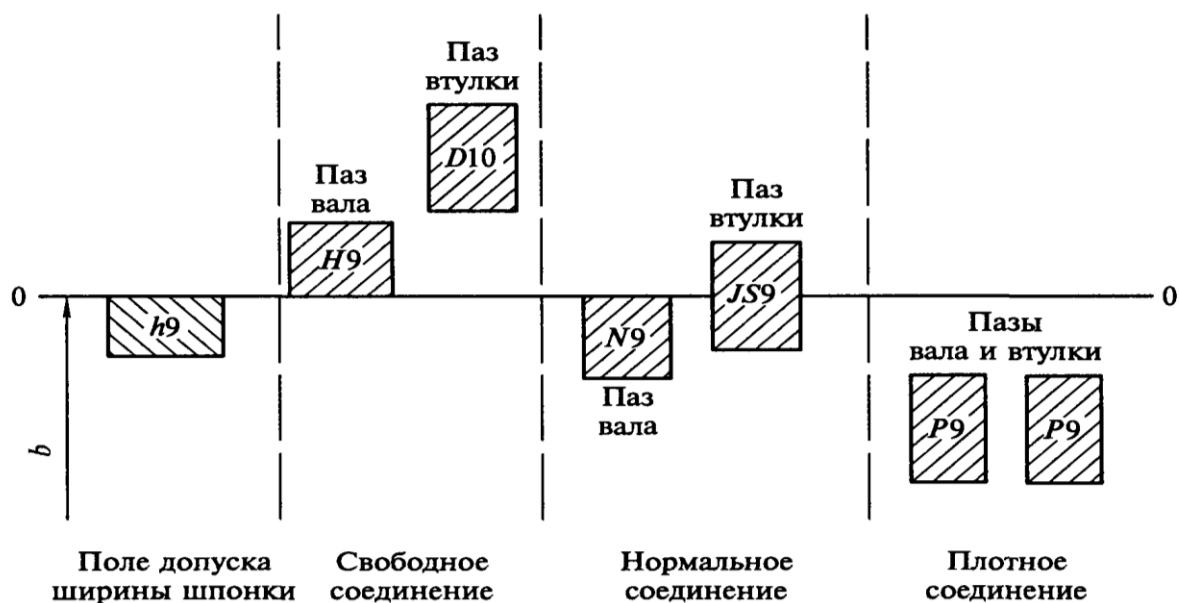
Основные элементы шпоночного соединения:

- $b$  – ширина шпонки;
- $h$  – высота шпонки;
- $t_1$  – глубина паза на валу;
- $t_2$  – глубина паза во втулке.



Различные посадки получают за счет разных полей допусков канавок (вал/втулка).

| Элемент соединения    | Поле допусков размера $b$ при соединении |            |         |
|-----------------------|------------------------------------------|------------|---------|
|                       | свободном                                | нормальном | плотном |
| Ширина шпонки         | $h9$                                     | $h9$       | $h9$    |
| Ширина паза на валу   | $H9$                                     | $N9$       | $P9$    |
| Ширина паза на втулке | $D10$                                    | $Js9$      | $P9$    |



### Общие сведения о шлицевых соединениях.

**Шлицевые соединения** образуются выступами – зубьями на валу и соответствующими впадинами – шлицами в ступице. Рабочими поверхностями являются боковые грани зубьев. Шлицевое соединение условно можно рассматривать как многошпоночное. Шлицевые соединения широко распространены в машиностроении. Их размеры также стандартизованы.

Достоинства шлицевых соединений:

Шлицевых соединений по сравнению со шпоночными соединениями:

- лучшее центрирование деталей на валу;
- уменьшение числа деталей соединения;

– при одинаковых габаритах передают больший вращающий момент за счет большей поверхности контакта;

– высокая надежность при динамических и реверсивных нагрузках;

– меньшее ослабление вала (расчет на прочность ведется по внутреннему диаметру).

Недостатки шлицевых соединений

– сложная технология;

– повышенная точность изготовления;

– высокая стоимость.

Шлицевые (зубчатые) соединения способны передавать большие вращающие моменты и обеспечивают хорошее центрирование детали на валу. Они могут быть подвижными и неподвижными. По форме профиля шлицев различают соединения:

- прямобочные по ГОСТ 1139-80;

- эвольвентные с углом профиля  $30^\circ$  по ГОСТ 6033-80;

- треугольные с углом профиля  $60^\circ$ ,  $72^\circ$  и  $90^\circ$ .

В настоящее время наиболее распространены **прямобочные** шлицевые соединения (около 80 %). В поперечном сечении профиль прямобочных шлицев очерчивается окружностью выступов зубьев  $D$ , окружностью впадин  $d$  и прямыми, определяющими постоянную толщину зубьев  $b$ .

Чтобы обеспечить передачу разных величин моментов при нормировании размеров прямобочных шлицевых соединений выделяют три серии – **легкая, средняя и тяжелая**. С переходом от легкой серии к средней и тяжелой сериям при одном и том же внутреннем диаметре  $d$  увеличивают наружный диаметр  $D$  и число зубьев  $z$ , что повышает несущую способность соединений.



**Допуски и посадки прямобочных шлицевых соединений. Обозначение на чертежах.**

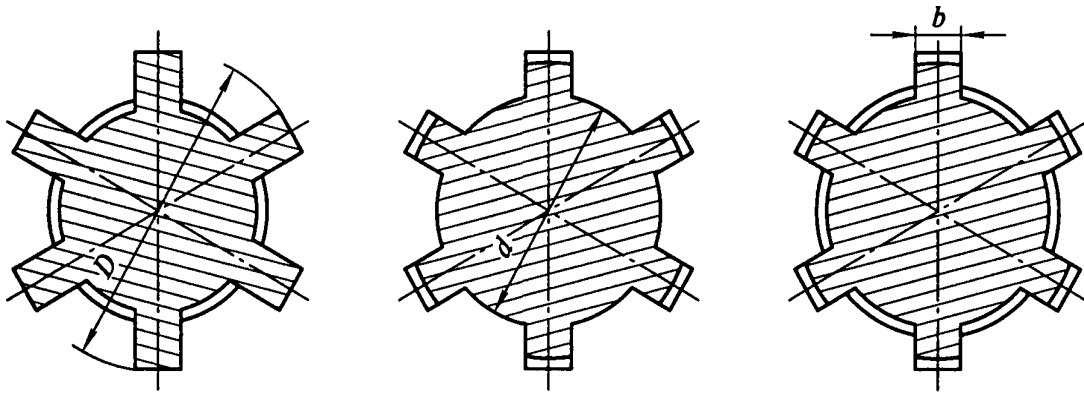
Допуски и посадки прямобочных шлицевых соединений определяются назначением шлицевого соединения и принятой системой центрирования втулки относительно вала.

Существует три способа центрирования:

по наружному диаметру  $D$ ;

по внутреннему диаметру  $d$ ;

по боковым сторонам зубьев  $b$ .



Если в изделии не требуется повышенная износостойкость шлицевой поверхности втулки (конструктор устраивает средняя твердость поверхности шлицевого отверстия), применяют центрирование по **наружному диаметру  $D$** . Такое центрирование применяют для неподвижных шлицевых соединений, а также для подвижных, воспринимающих небольшие нагрузки.

В этом случае поверхность шлицевого отверстия может быть окончательно обработана высокопроизводительными и точными методами протягивания или калибрования. Шлицевый вал можно получить фрезерованием с последующей термообработкой (например, закалкой) и шлифованием по диаметру  $D$ .

Если необходима повышенная износостойкость шлицевой поверхности втулки, она должна иметь высокую твердость, значит, обработка чистовой протяжкой неприменима. В таком случае прибегают к центрированию по **внутреннему диаметру  $d$**  и отверстие во втулке шлифуют на внутришлифовальном станке.

Центрирование по **ширине  $b$** , при котором точность центрирования ниже, чем по другим элементам, целесообразно применять при передаче больших крутящих моментов в условиях переменных нагрузок, например, при частом реверсировании направления вращения или старт-стопных режимах работы. Минимальные зазоры между зубьями и впадинами служат для предотвращения больших динамических нагрузок с ударами.

При центрировании по внутреннему диаметру  $d$ :

– следует использовать посадки по внутреннему диаметру  $d$ :

$$\left(\frac{H7}{f7}\right); \frac{H7}{h7}; \frac{H7}{js7}; \left(\frac{H7}{e8}\right); \frac{H8}{e8}; \left(\frac{H7}{g6}\right); \frac{H7}{js6}; \frac{H7}{n6}; \frac{H7}{h6}; \left(\frac{H8}{e9}\right)$$

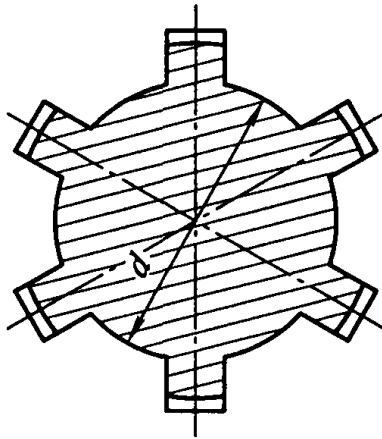
– посадки при этом по ширине зубьев  $b$ :

$$\frac{F8}{f7}; \frac{H8}{h7}; \frac{D9}{e9}; \frac{F10}{h7}; \frac{F10}{d9}; \frac{F8}{f8}; \frac{H8}{h8}; \left(\frac{D9}{h9}\right); \frac{F10}{h9}; \frac{D10}{d9}; \frac{F8}{h7}; \frac{H8}{js7}; \left(\frac{D9}{k7}\right);$$

$$\left(\frac{F10}{f9}\right); \frac{D9}{f7}; \frac{F8}{js7}; \frac{D9}{e8}; \frac{F10}{e8}; \left(\frac{F10}{js7}\right); \frac{F8}{d8}; \frac{F8}{k7}; \frac{D9}{f8}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{k7}; \left(\frac{D9}{js7}\right)$$

– посадка по наружному диаметру  $D$ :

$$\frac{H12}{a11}$$



При центрировании по наружному диаметру  $D$ :

– следует использовать посадки по наружному диаметру  $D$ :

$$\left(\frac{H7}{f7}\right); \frac{H8}{h7}; \frac{H7}{n6}; \frac{H7}{h6}; \frac{H7}{g6}; \left(\frac{H7}{js6}\right); \frac{H8}{e8}$$

– посадки при этом по ширине зубьев  $b$ :

$$\left(\frac{F8}{d9}\right); \frac{H8}{h6}; \frac{F10}{f7}; \frac{F8}{e8}; \left(\frac{F8}{js7}\right); \frac{D9}{h8}; \left(\frac{F9}{f7}\right); \frac{D9}{d9}; \frac{F10}{h9}; \left(\frac{F8}{f8}\right);$$

$$\frac{D9}{e8}; \frac{D9}{js7}; \frac{F8}{h8}; \frac{D9}{f7}; \frac{F10}{e9}.$$

– посадка по внутреннему диаметру  $d$ :

$$\frac{H11}{d \geq d_1}.$$

При центрировании по ширине зубьев  $b$ :

– следует использовать посадки по ширине зубьев  $b$ :

$$\frac{D9}{f9}; \left(\frac{F8}{js7}\right); \frac{D9}{h9}; \left(\frac{F10}{f8}\right); \frac{F8}{e8}; \frac{D9}{d9}; \frac{D9}{js7}; \frac{F10}{f9}; \frac{F8}{f8}; \left(\frac{D9}{e8}\right); \frac{D9}{k7}; \frac{F10}{k7}; \frac{D10}{d8}; \left(\frac{D9}{f8}\right);$$

$$\left(\frac{F10}{d9}\right); \frac{F10}{h9}; \left(\frac{D10}{h10}\right); \frac{D9}{h8}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10}{js7}.$$

– посадки при этом по внутреннему диаметру  $d$ :

$$\frac{H11}{d \geq d_1}.$$

– посадка по наружному диаметру D:

$$\frac{H12}{a11}.$$

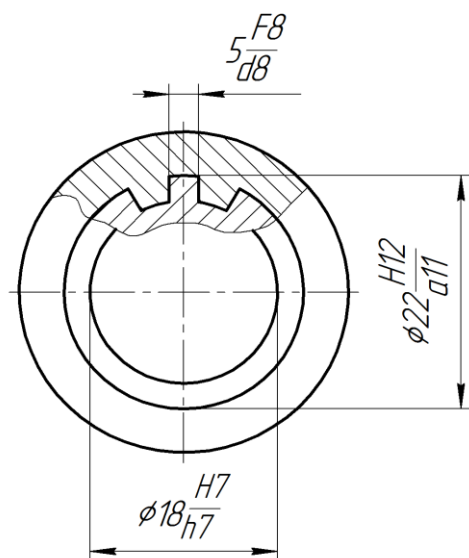
Обозначение на чертежах:

d – 6 × 18H7 / h7 × 22 H12 / a11 × 5F8 / d8;

D – 8 × 42H11 / d > d<sub>1</sub> × 46H7 / j<sub>s</sub>6 × 8F9 / h8;

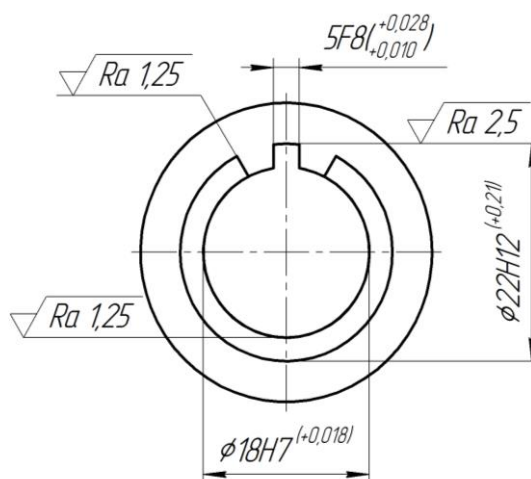
b – 8 × 42H11 / d > d<sub>1</sub> × 48H12 / a11 × 8F10 / e8.

Обозначение на чертежах:



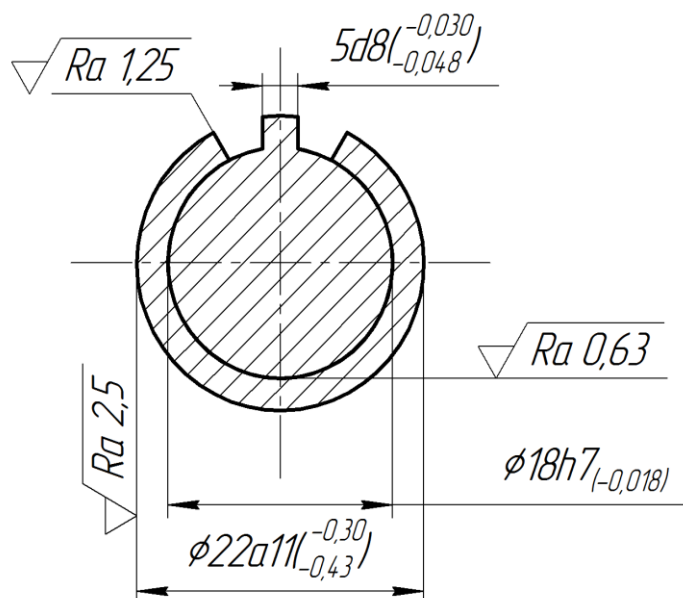
$d-6 \times 18 \frac{H7}{h7} \times 22 \frac{H12}{a11} \times 5 \frac{F8}{d8}$

Общие обозначение



$d-6 \times 18 H7 \times 22 H12 \times 5 F8$

Обозначение шлицевой втулки



$d-6 \times 18 h7 \times 22 a11 \times 5 d8$

Обозначение шлицевого вала

## ТЕМА 13. ЦЕПИ РАЗМЕРНЫЕ

### Основные понятия и определения.

**Размерная цепь** – совокупность взаимосвязанных размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур.

Размеры, образующие размерную цепь, называются **звеньями**.

Графическое изображение размерной цепи называется **схемой**. При построении схем размерных цепей поверхность или ось, относительно которых определяется положение других поверхностей или осей, принимается за базу.

Звенья, из которых состоит размерная цепь, делятся на **составляющие и замыкающее**. Звено размерной цепи, являющееся исходным при постановке задачи или получающееся последним в результате ее решения, в том числе при изготовлении и измерении, называется **замыкающим**. Это звено обозначается прописной буквой латинского, русского, или строчной буквой греческого алфавитов с индексом  $\Delta$ . Звенья размерной цепи, изменения которых вызывают изменения исходного или замыкающего звена, называются **составляющими**.

Эти звенья обозначаются прописными буквами латинского, русского или греческого (кроме O, L, P, K,  $\alpha$ ,  $\xi$ ,  $\lambda$ ,  $\omega$ ,  $\delta$ ) алфавитов с индексом в виде порядкового номера составляющего звена [1,2].

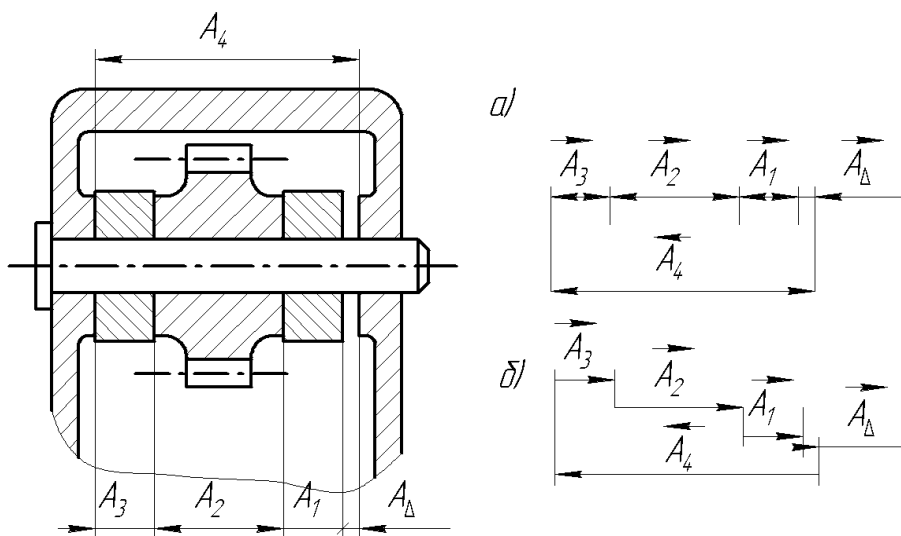
По своему влиянию, оказываемому на замыкающее звено, составляющие звенья делятся на увеличивающие и уменьшающие.

**Увеличивающие** – это составляющие звенья размерной цепи, с увеличением которых замыкающее звено увеличивается.

**Уменьшающие** – это составляющие звенья размерной цепи, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается.

**Компенсирующее звено** – это предварительно выбранное звено размерной цепи, изменением размера которого достигается требуемая точность замыкающего звена. Таким звеном может быть установочное кольцо, изменением толщины которого можно установить требуемый зазор.

**Общее звено** – звено, одновременно принадлежащее нескольким размерным цепям.



### Классификация размерных цепей.

- по области применения:

**конструкторская** - решается задача обеспечения точности при конструировании изделий; **технологическая** - решается задача обеспечения точности при изготовлении изделий; **измерительная** - решается задача измерения величин, характеризующих точность изделий;

- по месту в изделии:

**детальная** - определяет точность относительно положения поверхностей или осей одной детали; **сборочная** - определяет точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу;

**- по расположению звеньев:**

**линейная** — звенья цепи являются линейными размерами, расположенными на параллельных прямых; **угловая** - цепь, звеньями которой являются угловые размеры; **плоская** - цепь, звенья которой расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях; **пространственная** - звенья цепи расположены в непараллельных плоскостях, произвольно в пространстве;

**по характеру звеньев:**

**скалярная**- все звенья являются скалярными величинами, т.е. одномерными, определяются одной характеристикой. Например, отклонения длины вала, втулки;

**векторная** — все звенья в цепи являются векторными погрешностями (двухмерными), определяются модулем (величиной) и направлением. Сюда относятся отклонения от соосности цилиндрической поверхности, биение радиальное и торцовое;

**комбинированная** — часть звеньев векторные, часть — скалярные.

**- по характеру взаимных связей:**

**параллельно связанные** — размерные цепи (две или более, но имеющие хотя бы одно общее звено);

**независимые** — цепи, не имеющие общих звеньев. При решении задач с помощью размерных цепей, когда число составляющих звеньев больше трех, составляют схему размерной цепи.

**Методы решения задач линейных размерных цепей.**

**Сущность расчета размерной цепи** заключается в установлении допусков и предельных отклонений всех ее звеньев исходя из требований конструкции и технологии. При этом различают две основные задачи:

**Прямую** - определение допуска и предельных отклонений составляющих размеров по заданным номинальным размерам всех размеров цепи и заданным предельным размерам исходного размера (такая задача относится к проектному расчету размерной цепи);

**Обратную** - определение номинального размера, предельных отклонений и допуска замыкающего звена по заданным номинальным размерам, предельным отклонениям и допускам составляющих звеньев (в случаях, когда требуется проверить соответствие допуска замыкающего размера допускам составляющих размеров, проставленных на чертеже). Такая задача относится к проверочному расчету.

**Методы расчета размерных цепей:**

1) **метод максимума и минимума** — метод в котором в процессе обработки или сборки возможно одновременное сочетание наибольших увеличивающих и наименьших уменьшающих размеров или обратное их сочетание.

2) **вероятностный метод** - основан на том, что отклонения размеров в основном группируются около середины поля допуска, и сочетания деталей с такими отклонениями происходят наиболее часто.

3) **метод полной взаимозаменяемости** - метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации путем включения составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

4) **метод неполной взаимозаменяемости** - метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым риском путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их значений.

5) **метод групповой взаимозаменяемости** - метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь состав-

ляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы.

6) **метод пригонки** - метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала.

7) **метод регулирования** - метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора.