

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Полоцкий государственный университет»

С. Э. Завистовский, В. Э. Завистовский

# **НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

Учебно-методический комплекс для студентов  
специальности 1-02 06 02 «Технология (по направлениям).  
Дополнительная специальность»

Под общей редакцией С. Э. Завистовского

Новополоцк  
ПГУ  
2013

УДК 621.713.1(075.8)

ББК 34.41+30.10я73

313

Рекомендовано к изданию методической комиссией  
спортивно-педагогического факультета  
в качестве учебно-методического комплекса (протокол № 9 от 26.06.2012)

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

кафедра методики технологического образования УО «Мозырский  
государственный педагогический университет им. И. П. Шамякина»  
(зав. кафедрой – канд. пед. наук, доц. С. Я. АСТРЕЙКО);  
канд. техн. наук, доц. каф. технологии и оборудования  
машиностроительного производства УО «Полоцкий  
государственный университет» А. М. ДОЛГИХ

**Завистовский, С. Э.**

313 Нормирование точности и технические измерения : учеб.-метод.  
комплекс для студентов специальности 1-02 06 02 «Технология (по на-  
правлениям). Дополнительная специальность» / С. Э. Завистовский,  
В. Э. Завистовский; под общ. ред. С. Э. Завистовского. – Новополоцк :  
ПГУ, 2013. – 288 с.

ISBN 978-985-531-408-1.

Приведены темы изучаемого курса, изложены теоретические и практиче-  
ские основы нормирования точности, технических измерений, систем допус-  
ков и посадок с учетом современных требований ЕСДП, требований образо-  
вательного стандарта ОСРБ 1-02 06 02-2008. Представлены задания для вы-  
полнения лабораторных и практических работ, вопросы к экзамену, термино-  
логический словарь.

Предназначен для преподавателей и студентов вузов педагогических спе-  
циальностей. Может быть полезен специалистам.

**УДК 621.713.1(075.8)**

**ББК 34.41+30.10я73**

**ISBN 978-985-531-408-1**

© Завистовский С. Э., Завистовский В. Э., 2013

© УО «ПГУ», 2013

## СОДЕРЖАНИЕ

Условные обозначения .....	5
Введение .....	6
Лекция 1. Качество продукции в машиностроении .....	7
1.1. Показатели качества изделия .....	7
1.2. Структурная модель детали .....	8
1.3. Понятие о точности в машиностроении .....	10
1.4. Причины появления геометрических погрешностей изготовления .....	11
1.5. Основные сведения о взаимозаменяемости .....	12
1.6. Стандартизация, унификация, нормализация .....	14
1.7. Краткие сведения о сертификации .....	16
Лекция 2. Основные понятия о размерах, допусках и посадках .....	17
2.1. Поверхности, размеры, отклонения и допуски .....	17
2.2. Графическое изображение допусков и отклонений .....	20
2.3. Общие сведения о посадках .....	22
2.4. Посадки в системах отверстий и вала .....	24
2.5. Условные обозначения допусков и посадок .....	24
2.6. Обозначение предельных отклонений и допусков на чертежах .....	25
Лекция 3. Основные принципы построения единой системы допусков и посадок .....	27
3.1. Общие положения .....	27
3.2. Рекомендации по выбору качества точности .....	30
3.3. Области применения некоторых рекомендуемых посадок .....	31
Лекция 4. Отклонения и допуски формы и расположения поверхностей.	
Шероховатость поверхности .....	36
4.1. Основные термины и определения .....	36
4.2. Нормирование фактической величины отклонений формы и расположения .....	42
4.3. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей .....	44
4.4. Принципы назначения общих допусков формы и расположения поверхностей .....	46
4.5. Шероховатость поверхности .....	52
4.6. Правила нанесения шероховатости поверхностей на чертежах .....	59
Лекция 5. Допуски и посадки подшипников качения .....	65
5.1. Общие сведения .....	65
5.2. Характеристика основных типов подшипников .....	69
5.3. Конструкции подшипниковых узлов .....	75
5.4. Монтаж и демонтаж подшипников .....	78
5.5. Посадки подшипников .....	79
Лекция 6. Допуски шпоночных и шлицевых соединений .....	85
6.1. Шпоночные соединения .....	85
6.2. Шлицевые соединения .....	91
Лекция 7. Допуски и средства измерения углов и гладких конусов .....	98
7.1. Нормальные углы и конусности .....	98
7.2. Допуски угловых размеров и конических элементов деталей .....	101
7.3. Посадки конических соединений .....	103
7.4. Контроль углов и конусов .....	104
7.5. Общие сведения о средствах измерения углов и конусов .....	110

Лекция 8. Допуски резьбовых поверхностей и соединений .....	113
8.1. Общая классификация резьбы .....	113
8.3. Основы взаимозаменяемости резьбы .....	114
8.2. Основные элементы метрической резьбы .....	116
8.4. Система допусков и посадок метрических резьб .....	120
8.5. Обозначения на чертежах полей допусков и посадок метрической резьбы .....	122
8.6. Общие сведения о методах и средствах контроля и измерений резьбовых поверхностей .....	122
Лекция 9. Допуски зубчатых колес и передач .....	126
9.1. Основные элементы зубчатого колеса и передачи .....	126
9.2. Классификация зубчатых передач .....	126
9.3. Краткие сведения об изготовлении зубчатых колес .....	128
9.4. Эвольвентное зацепление зубчатых колес .....	129
9.5. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых колес .....	136
9.6. Точность изготовления зубчатых колес .....	139
9.7. Особенности геометрии и стандартизации норм точности конических и червячных передач .....	144
9.8. Общие сведения о методах и средствах контроля и измерения параметров зубчатых колес и передач .....	153
9.9. Обозначение точности зубчатых колес и передач на чертежах .....	157
Лекция 10. Допуски и посадки деталей из пластмасс .....	158
Лекция 11. Технические измерения .....	161
11.1. Метрология как научная система технических измерений .....	161
11.2. Физические величины как объект измерений .....	167
11.3. Погрешности измерений .....	168
11.4. Механические средства измерения линейных величин .....	171
11.5. Рекомендации по выбору средств контроля линейных размеров .....	179
Лекция 12. Основные понятия о размерных цепях .....	181
12.1. Размерные цепи .....	181
12.2. Методы достижения точности замыкающего звена .....	185
12.3. Методы решения размерных цепей .....	186
Методика проведения лабораторно-практических занятий .....	189
Лабораторная работа № 1. Измерение величин углов универсальным угломером .....	191
Лабораторная работа № 2. Измерение линейных размеров штангенциркулем и микрометром .....	203
Лабораторная работа № 3. Измерение величины радиального и торцевого биения .....	215
Практическая работа № 1. Допуски, посадки и отклонения геометрических размеров .....	223
Практическая работа № 2. Допуски и посадки гладких цилиндрических соединений .....	232
Практическая работа № 3. Нормирование погрешности формы, расположения поверхностей и шероховатости .....	237
Практическая работа № 4. Статистическая оценка случайной погрешности прямых измерений .....	245
Терминологический словарь .....	257
Контрольные вопросы .....	269
Литература .....	276
Приложения .....	277

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

*D, d* – номинальный диаметр отверстия, вала;  
*Dr, dr* – действительный размер отверстия, вала;  
*ES, es* – верхнее отклонение отверстия, вала;  
*EI, ei* – нижнее отклонение отверстия, вала;  
*IT* – стандартный допуск;  
*TD, Td* – допуск отверстия, вала;  
*S* – зазор;  
*N* – натяг;  
*h6, d11, f9* – обозначение полей допусков вала;  
*H6, D11, F9* – обозначение полей допусков отверстия;  
*H7/h6* – обозначение посадки;  
*AT* – допуск конической поверхности.

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебно-методический комплекс предназначен для изучения студентами специальности 1-02 06 02 «Технология» дисциплины «Нормирование точности и технические измерения». Комплекс состоит из лекционного курса, лабораторных и практических работ, методических материалов для преподавателей и студентов, терминологического словаря, контрольных вопросов для выполнения тестового контроля знаний и списка специальной литературы.

Учебно-методический комплекс подготовлен в соответствии с требованиями Образовательного стандарта ОСРБ 1-02 06 02-2008 по специальности «Технология (по направлениям). Дополнительная специальность».

Особенность предмета заключается в необходимости запомнить большой объем понятий, определений, формулировок, без которых невозможно усвоить материал, и делать это надо постепенно, накапливая знания по мере изучения дисциплины.

Основной задачей предмета является формирование представлений о взаимозаменяемости, допусках и посадках, знание которых необходимо для овладения навыками по правилам построения и чтения чертежей и схем, средствами измерительной техники и методами измерений физических величин.

Цель изучения данного предмета – дать учащимся знания, необходимые для правильного выбора допусков и посадок, измерения контролируемых параметров, обоснованного выбора измерительных средств и способов контроля, а также правильности указания контролируемых параметров на чертеже.

В лекционный курс включены материалы, отражающие общие и прикладные вопросы метрологии, стандартизации и сертификации в современных условиях функционирования машиностроительного производства различных уровней, включая использование контрольно-измерительных средств в условиях школьных производственных мастерских.

Особое внимание уделено описанию конструкций современного контрольно-измерительного оборудования.

## Лекция 1. КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Современные машины состоят из большого количества взаимодействующих деталей, узлов и агрегатов, которые имеют определенное назначение и должны обладать строго определенными стабильными характеристиками. Нарушение размеров или отклонение какого-либо технического параметра любой из используемых в машине деталей может сказываться на качестве всей машины в целом, на надежности и устойчивости ее работы.

### 1.1. Показатели качества изделия

*Качество продукции* – это совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Качество любого вида продукции определяется ее свойствами, составом, размерами и другими параметрами, установленными с учетом стоимости и надежности.

Для оценки уровня качества изделия в машиностроении применяют различные группы показателей. К ним можно отнести следующие [1]:

- *показатели назначения* – характеризуют свойства изделия, определяющие основные функции, для выполнения которых оно предназначено;
- *показатели надежности* – характеризуют безотказность и долговечность изделия;
- *эргономические показатели* – характеризуют взаимоотношения человека с изделием;
- *эстетические показатели* – характеризуют приятный внешний вид изделия, ее информационную выразительность;
- *показатели технологичности* – характеризуют свойства изделия, обуславливающие оптимальное распределение затрат материалов, средств, труда и времени при изготовлении и эксплуатации изделия;
- *показатели транспортабельности* – характеризуют приспособленность изделия к транспортированию;
- *экологические показатели* – характеризуют уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации изделия;
- *показатели безопасности* – характеризуют особенности изделия, обуславливающие при его эксплуатации безопасность обслуживающего персонала.

Качество изделия познается в сравнении – оно относительно. Чтобы его оценить, необходимо предварительно собрать данные о существующих аналогичных изделиях и на основании анализа приведенных показателей сделать вывод о качестве продукции.

## 1.2. Структурная модель детали

*Деталь* – это изделие, которое изготовлено из материала одной марки без применения сборочных операций. По форме деталь представляет собой комбинацию геометрических тел, ограниченных поверхностями

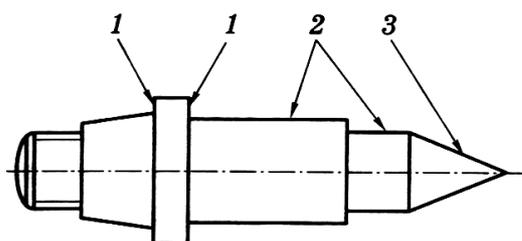


Рис. 1.1. Виды поверхностей детали:

1 – плоские; 2 – цилиндрические;  
3 – конические

простейших форм – плоскими, цилиндрическими, коническими, сферическими, тороидальными и т.п. (рис. 1.1). Таких комбинаций, в зависимости от назначения детали, размеров, материала и другого, может быть бесконечное множество, поэтому легко представить их разнообразие на практике.

Простейшие геометрические тела, составляющие деталь, называются ее *элементами* (рис. 1.2).

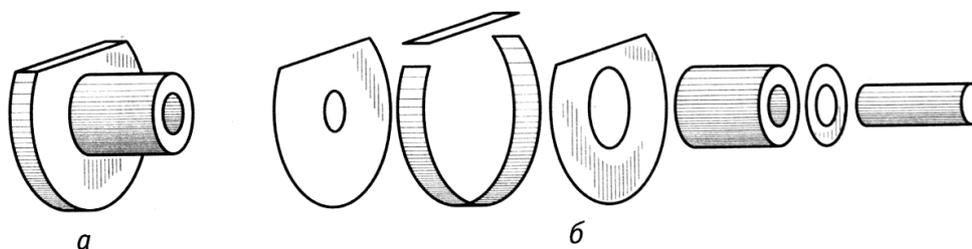


Рис. 1.2. Деталь (а) и ее элементы (б)

Для выполнения определенных функций у деталей предусматриваются различные формы *поверхностей*. Они могут быть плоскими, цилиндрическими, коническими, резьбовыми, шлицевыми, эвольвентными, профильными и др. [2]. Изделия машиностроения состоят из большого количества деталей, узлов и механизмов, взаимодействующих в процессе эксплуатации друг с другом. Каждая деталь в узле имеет определенное назначение и их поверхности могут быть сопрягаемыми или несопрягаемыми (рис. 1.3). *Сопрягаемые* – это поверхности, по которым детали соединяются в сборочные единицы или узлы, а узлы – в механизмы. *Свободные* или



### 1.3. Понятие о точности в машиностроении

В большинстве случаев детали машин и механизмов представляют собой определенные комбинации геометрических тел, ограниченных поверхностями простейших форм: плоскими, цилиндрическими, коническими и т.д. При проектировании их геометрические параметры задаются размерами, формой и взаимным расположением поверхностей. Требования к точности должны быть такими, чтобы эксплуатационные свойства отвечали заданным требованиям. При изготовлении возникают технологические погрешности, т.е. отступление геометрических параметров от запроектированных значений.

*Точностью* называется степень приближения действительных параметров, измеренных с допустимой погрешностью к идеальным, заданным по чертежу. Требования к точности могут относиться к точности механической обработки или к другому виду обработки деталей, к точности механизмов и машин, к точности измерений и т.д. Когда применяют термин «*точность*», то обычно имеют в виду качественный показатель, характеризующий отличие этого показателя от заданного значения. Термин «*погрешность*» применяют для количественной оценки точности. Погрешность – разность между приближенным значением некоторой величины и ее точным значением. Точность характеризуется действительной погрешностью или пределами, ограничивающими значение погрешности. Чем меньше погрешность, тем выше точность.

Для оценки точности размеров деталей используют укрупненную классификацию о точности геометрических параметров элементов деталей [3, 4]:

- *точность размера*, т.е. размер каждого элемента детали должен находиться в определенных пределах и может отличаться от заданного не больше, чем на установленную величину;
- *точность формы поверхности*, т.е. элементы детали должны иметь заданную номинальную геометрическую форму (плоскость, цилиндр, конус и т.д.) и допустимые искажения формы должны находиться в заданных пределах;
- *точность относительного расположения элементов деталей*, т.е. каждый элемент детали должен быть расположен относительно других в заданном положении;
- *точность по шероховатости поверхности*, т.е. относительно небольшие неровности на поверхности детали должны быть в определенных пределах.

На рисунке 1.5 на примере цилиндра приведены возможные искажения размеров и формы после изготовления.

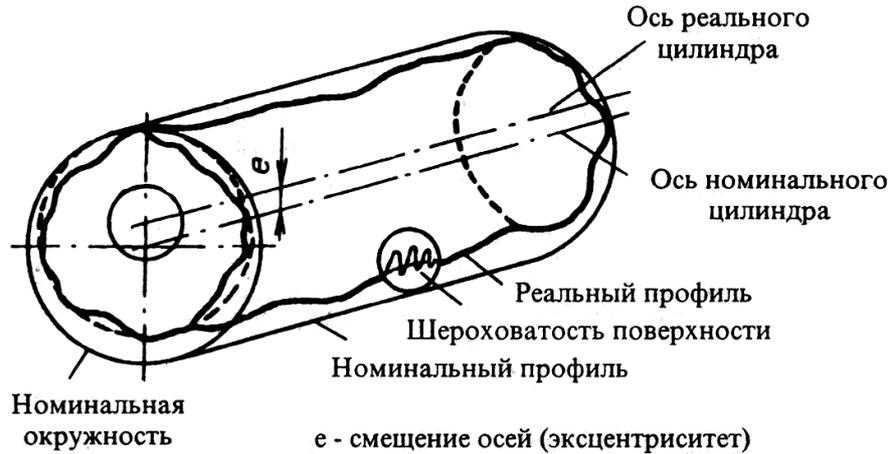


Рис. 1.5. Отклонения размеров и формы цилиндра после изготовления

#### 1.4. Причины появления геометрических погрешностей изготовления

Существует достаточно много причин, влияющих на точность обработки, и они в процессе изготовления деталей постоянно изменяются. Рассмотрим основные, сведя их в определенные группы [3 – 5].

**Состояние оборудования и его точность.** Обрабатывающий станок почти полностью переносит свою неточность на обрабатываемую деталь. Например, биение шлифовального круга и его вибрации при обработке приводят к появлению поверхностных неровностей на обрабатываемых поверхностях деталей. Точность выполнения штампа полностью переносится на точность штампованной детали. Шаг нарезаемой резьбы почти полностью копируется с шага винта токарно-винторезного станка и т.д.

**Качество и состояние технологической оснастки.** К оснастке относится вспомогательное оборудование. Если в кондукторе для сверления отверстий в детали неправильно расположены направляющие втулки, то эти погрешности полностью перейдут на деталь. Если ось центров для установки детали на шлифовальном станке не параллельна рабочим перемещениям при шлифовании, то деталь окажется конической, вместо цилиндрической формы.

**Точность инструмента.** Точность изготовления резцов, фрез, протяжек, сверл, разверток, метчиков и т.п. прямо и непосредственно влияет на форму и размер обрабатываемой поверхности. Кроме того, на точность обработки детали всеми режущими инструментами влияет износ режущей части. Другим фактором, влияющим на точность обработки деталей, является погрешность настройки инструмента на размер, возникающая при неточной первоначальной установке режущего инструмента или при его замене.

**Режимы обработки.** Для каждой поверхности детали существуют оптимальные режимы обработки, учитывающие механические характеристики обрабатываемых и режущих материалов. Несоблюдение заданных режимов обработки может привести к появлению погрешностей. Например, если при шлифовании применять большие подачи, то могут получиться прижоги и большие неровности на поверхности детали.

**Упругие деформации детали, станка, инструмента.** Сильно прижатая к плоскости станка деталь после обработки и снятия нагрузки может оказаться неправильной формы. Если при установке детали на станке в центрах сильно поджать ее, то вероятность получения цилиндрической поверхности весьма мала.

**Неоднородность заготовок по твердости.** Если заготовка неоднородна по своей структуре, то в процессе резания возможно появление вибрации, что приведет к появлению поверхностных неровностей и вырывов из обрабатываемой поверхности.

**Неодинаковость припуска на обработку.** Разные по величине припуски, назначенные при обработке однотипных деталей, приводят к разному разогреву каждой из них, и их размеры после остывания оказываются другими, чем непосредственно полученные сразу после обработки.

**Температурный режим.** Установлено, что все размеры должны определяться при температуре 20°C, поэтому, если температурный режим в процессе изготовления или измерения размеров отличается от 20°C, то это отражается как на размере детали, так и на искажении ее формы и расположения.

**Квалификация и опыт персонала.** При работе на определенном виде оборудования рабочий приобретает навыки. Поэтому обеспечение точности обработки детали зависит от индивидуальных особенностей каждого человека, его квалификации и опыта.

Погрешности параметров неизбежны и допускаются в определенных пределах, при которых деталь удовлетворяет требованиям сборки и функционирования машины.

## **1.5. Основные сведения о взаимозаменяемости**

В настоящее время ни один завод не изготавливает сам необходимые ему в производстве детали. Детали и узлы машин общемашиностроительного и специального назначения изготавливаются на специализированных предприятиях. В изготовлении машины по кооперированию принимают участие сотни предприятий, поставляя заводу необходимое множество наименований агрегатов, сборочных единиц, составных частей и деталей. Та-

кое расчленение производства возможно лишь при условии, если составные части, детали, узлы, изготовленные с заданной точностью на различных заводах, сразу могли бы занять свое место в машине, для которой они предназначены, без подборки и подгонки. Это возможно при условии, что все они будут изготовлены по единым нормативно-техническим документам и отвечать требованиям взаимозаменяемости.

*Взаимозаменяемостью* называется свойство одних и тех же деталей, узлов или агрегатов машин, механизмов и т.д., позволяющее устанавливать детали (узлы, агрегаты) в процессе сборки или заменять их без предварительной подгонки при сохранении всех требований, предъявляемых к работе узла и конструкции в целом. *Взаимозаменяемость должна обеспечивать нормальное функционирование изделия.*

Можно выделить несколько видов взаимозаменяемости.

- *Внешняя и внутренняя взаимозаменяемость.* Этот вид взаимозаменяемости относится только к узлам и к изделию в целом и не относится к деталям.

*Внешняя взаимозаменяемость* – это взаимозаменяемость по выходным данным узла, а именно, по его присоединительным размерам или технико-эксплуатационным параметрам. Например, если сгорел электродвигатель, то его можно заменить другим, или вышедший из строя подшипник может быть заменен на аналогичный того же типоразмера.

*Внутренняя взаимозаменяемость* – это вид взаимозаменяемости отдельных деталей или механизмов, входящих в узел или изделие. Примерами могут служить отдельные крепежные детали резьбовых соединений (болты, гайки и т.п.).

- *Полная и неполная взаимозаменяемость.*

*Полная взаимозаменяемость* – это такая взаимозаменяемость, когда точность сохраняется у всех деталей и любая деталь из партии может быть поставлена на соответствующее место в узле или конструкции в целом без подгонки.

*Неполная взаимозаменяемость* – это такой вид взаимозаменяемости, при которой изготавливаемые детали до сборки сортируются по размерам на ряд групп, а затем при сборке узла или конструкции в целом используют не любые детали данного типоразмера, а только определенной группы.

Основными достоинствами взаимозаменяемости являются:

- упрощение процесса проектирования;
- обеспечение широкой специализации и кооперирования;
- удешевление производства;
- возможность обеспечения поточного производства;
- упрощение процесса сборки и ремонта.

## 1.6. Стандартизация, унификация, нормализация

*Стандартизация* – деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области посредством установления положений для всеобщего и многократного использования в отношении реально существующих или потенциальных задач.

*Стандарт* – это нормативный документ, разработанный на основе консенсуса, утвержденный признанным органом, направленный на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области.

Главной задачей стандартизации является создание прогрессивной системы нормативно-технической документации, ее внедрение и применение при разработке, производстве и эксплуатации продукции, удовлетворяющей потребностям народного хозяйства, населения, обороны страны и экспорта. Требования, устанавливаемые в государственных стандартах, направлены на выпуск самой современной высококачественной продукции, соответствующей мировому уровню по всем потребительским показателям: надежности и точности, материало-, энерго- и трудоемкости, требованиям эргономики и технической эстетики.

Стандартизуемые показатели промышленных объектов обычно имеют числовое выражение и образуют в определенных диапазонах последовательность чисел. В результате стандартизации всю совокупность показателей представляют в виде математических рядов, что способствует сокращению номенклатуры, типоразмеров, выбору рациональных режимов работы машин, экономии ресурсов. Наиболее удобными являются геометрические прогрессии, включающие число 1 и имеющие знаменатель  $\varphi_n = \sqrt[n]{10}$ . В соответствии с рекомендациями ИСО установлены следующие четыре основных десятичных ряда предпочтительных чисел со знаменателем  $\varphi$ :

$$\sqrt[5]{10} = 1,5849 \approx 1,6 \text{ для ряда } R5;$$

$$\sqrt[10]{10} = 1,2589 \approx 1,25 \text{ для ряда } R10;$$

$$\sqrt[20]{10} = 1,1220 \approx 1,12 \text{ для ряда } R20;$$

$$\sqrt[40]{10} = 1,0593 \approx 1,06 \text{ для ряда } R40.$$

Предпочтительные числа стандартизованы. На базе рядов предпочтительных чисел построены ряды нормальных линейных размеров (диаметров, длин, высот). Ряды предпочтительных чисел нужно применять не

только при стандартизации, но и при выборе нормальных значений параметров в процессе проектирования. Только при такой единой закономерности построения параметров изделия можно согласовать между собой параметры связанных с ними комплектующих изделий, полуфабрикатов и материалов.

Для рационального сокращения номенклатуры изделий необходима разработка стандартов на их *параметрические ряды*. Стандарты данного вида направлены на сокращение до целесообразного минимума конкретных типов, видов и моделей изделий. Как правило, эти стандарты являются перспективными и их требования направлены на внедрение в производство прогрессивных, технически более совершенных и производительных машин, оборудования, приборов и других видов продукции. Параметрические ряды строятся по основным параметрам.

Для рационального сокращения номенклатуры изготавливаемых изделий проводят их *унификацию* и разрабатывают стандарты на параметрические ряды изделий, что повышает серийность, способствует специализации производства и улучшению качества.

*Унификация* – это научно-технический метод отбора и регламентации оптимальной и сокращенной номенклатуры объектов одинакового функционального назначения.

Унифицированные изделия, их составные части и детали должны обладать полной взаимозаменяемостью по показателям качества и по соединительным размерам. При унификации устанавливается минимальное, но достаточное число видов, типов, типоразмеров, обладающих высокими показателями качества.

Унификации могут предшествовать систематизация и классификация объектов. *Систематизация* предметов, явлений или понятий преследует цель расположить их в определенном порядке и последовательности, образующей четкую систему, удобную для использования. Наиболее простой формой систематизации является алфавитная система расположения объектов. *Классификация* преследует цель расположить предметы, явления или понятия по классам, подклассам и разрядам в зависимости от их общих признаков, т.е. создать системы соподчиненных объектов.

*Нормализация* – выявление единых норм и требований по типам, размерам, качеству объектов, изделий или узлов, а также по их обозначению и маркировке. Нормализация предшествовала стандартизации и в настоящее время используется достаточно редко.

## 1.7. Краткие сведения о сертификации

Для того чтобы убедиться в том, что изделие сделано верно (в переводе с латыни *сертификация* означает «сделано верно»), необходимо знать, каким требованиям оно должно соответствовать и каким образом возможно получить достоверные доказательства этого соответствия. Общеизвестным способом такого доказательства *служит сертификация соответствия*.

Установление соответствия заданным требованиям сопряжено с испытанием. Под *испытанием* понимают техническую процедуру, заключающуюся в определении одной или нескольких характеристик данного изделия в соответствии с принятыми правилами. Испытания осуществляют в испытательных лабораториях. Систематическую проверку степени соответствия заданным требованиям принято называть *оценкой соответствия*, частным понятием которого считается *контроль*.

В оценке соответствия наиболее достоверными считаются результаты испытаний *третьей стороной*. Третья сторона – это лицо или орган, признанные независимыми ни от поставщика (первая сторона), ни от покупателя (вторая сторона).

*Сертификация* – процедура, посредством которой третья сторона дает письменную гарантию, что изделие, продукция, процесс, услуга соответствуют заданным требованиям. Сертификация считается основным достоверным способом доказательства соответствия изделия заданным требованиям.

Сертификация осуществляется на следующих принципах:

- обеспечение достоверности информации об объекте сертификации;
- объективность и независимость от изготовителя и потребителя;
- профессиональность испытаний;
- многообразие методов испытаний с учетом особенностей объекта сертификации, его производства и потребления;
- право заявителя выбирать орган по сертификации и испытательную лабораторию;
- ответственность участников сертификации.

Сертификация может носить обязательный и добровольный характер. При обязательной сертификации выполняется маркировка изделия знаком соответствия.

## Лекция 2. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРАХ, ДОПУСКАХ И ПОСАДКАХ

Техника современного производства и перспективы ее развития, постоянно повышающиеся требования к качеству продукции, внедрение в производство последних достижений науки и техники требуют, чтобы рабочий любой отрасли промышленности и любой профессии имел широкий научно-технический кругозор, хорошо знал основы техники, промышленной технологии и в совершенстве владел производственными навыками в своей профессии.

### 2.1. Поверхности, размеры, отклонения и допуски

Основные определения допусков и посадок для элементов деталей и их соединений, имеющих гладкие цилиндрические или плоские параллельные поверхности содержатся в ГОСТ 25346-89. Стандарт регламентирует термины и определения, вносящие строгую однозначность в описании элементов.

*Поверхности* деталей бывают цилиндрические, плоские, конические, эвольвентные, сложные (шлицевые, винтовые) и др. Кроме того, различают поверхности сопрягаемые и несопрягаемые (рис. 2.1).

*Сопрягаемые* – это поверхности, по которым детали соединяются в сборочные единицы, а сборочные единицы – в механизмы.

*Несопрягаемые*, или *свободные*, – это конструктивно необходимые поверхности, не предназначенные для соединения с поверхностями других деталей.

Внутренние цилиндрические поверхности, а также внутренние поверхности с параллельными плоскостями являются охватываемыми. Их условно называют *отверстиями*. Диаметры отверстий обозначают  $D$ .

Наружные поверхности являются охватываемыми. Их называют *валами* и обозначают  $d$  в выбранных единицах измерения.

*Номинальный размер* ( $D, d$ ) – размер, относительно которого определяются отклонения. Номинальные размеры являются основными размерами деталей или их соединений. Их определяют в результате расчетов деталей на прочность, жесткость, износостойкость и по другим критериям работоспособности. Сопрягаемые поверхности имеют общий номинальный размер (ГОСТ 6636-69).

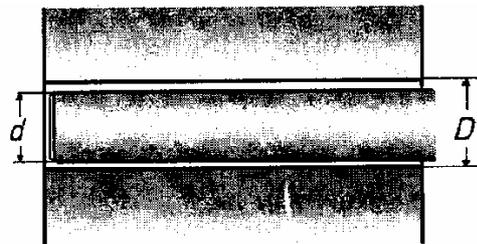


Рис. 2.1. Модель сопрягаемых деталей

*Действительный размер* ( $D_r, d_r$ ) – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

*Предельные размеры* – два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Большой из двух предельных размеров называют *наибольшим предельным размером* ( $D_{max}, d_{max}$ ), а меньший – *наименьшим предельным размером* ( $D_{min}, d_{min}$ ).

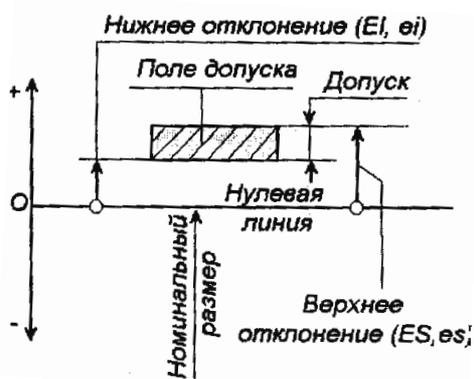


Рис. 2.2. Расположение полей допусков вала и отверстия

Отклонение – алгебраическая разность между размером (действительным, предельным) и соответствующим номинальным размером. Отклонения отверстий обозначают  $E$ , валов –  $e$  (рис. 2.2).

*Действительное отклонение* ( $E_r, e_r$ ) равно алгебраической разности действительного и номинального размеров

$$E_r = D_r - D; e_r = d_r - d. \quad (2.1)$$

*Предельное отклонение* равно алгебраической разности предельного и номинального размеров. Различают верхнее и нижнее отклонения.

*Верхнее отклонение* ( $ES, es$ ) равно алгебраической разности наибольшего предельного и номинального размеров ( $ES$  – верхнее отклонение отверстия;  $es$  – верхнее отклонение вала):

$$ES = D_{max} - D; es = d_{max} - d. \quad (2.2.)$$

*Нижнее отклонение* ( $EI, ei$ ) равно алгебраической разности наименьшего предельного и номинального размеров ( $EI$  – нижнее отклонение отверстия;  $ei$  – нижнее отклонение вала):

$$EI = D_{min} - D; ei = d_{min} - d. \quad (2.3)$$

*Нулевая линия* – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз.

Отклонение может быть *положительным*, если предельный размер больше номинального, и *отрицательным*, если предельный размер меньше номинального.

Значения верхних и нижних предельных отклонений на чертежах и в других технических документах проставляют (в миллиметрах) непосредственно после номинального размера (рис. 2.3).

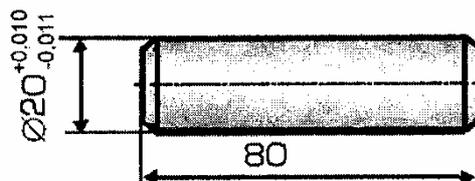


Рис. 2.3. Пример простановки размера вала с отклонением

Если отклонения имеют разные абсолютные значения, то их помещают одно над другим (верхнее над нижним) и пишут меньшими цифрами, чем те, которые приняты для номинальных размеров. Так, диаметр штифта  $D = 20$  мм с отклонениями, вычисленными на конкретном примере, на чертеже пишут:

$$\text{Ø}20 \begin{array}{l} +0,010 \\ -0,011 \end{array}$$

Если отклонения имеют одинаковые абсолютные значения, но разные знаки, то указывают только одно отклонение со знаками  $\pm$ , например  $\text{Ø}10 \pm 0,011$ . Отклонения, равные нулю, не указываются.

Разброс действительных размеров неизбежен, но при этом не должна нарушаться работоспособность деталей и их соединений, т.е. действительные размеры годных деталей должны находиться в допустимых пределах, которые в каждом конкретном случае определяются предельными размерами или предельными отклонениями. Отсюда и происходит такое понятие, как допуск размера.

*Допуск* ( $T$  – общее обозначение,  $TD$  – отверстия,  $Td$  – вала) равен разности наибольшего и наименьшего предельных размеров:

$$TD = D_{max} - D_{min}, \quad Td = d_{max} - d_{min} \quad (2.4.)$$

или абсолютной величине разности верхнего и нижнего отклонений:

$$TD = ES - EI; \quad Td = es - ei \quad (2.5)$$

*Стандартный допуск IT* – любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок.

Допуск измеряется в миллиметрах. Он всегда является положительной величиной независимо от способа вычисления.

*Квалитет* (степень точности) – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие данному уровню точности для всех номинальных размеров. Стандарт устанавливает 20 квалитетов (01, 0, 1, 2, ..., 18). Чем больше номер квалитета, тем шире допуск и меньше точность размера.

## 2.2. Графическое изображение допусков и отклонений

Графический способ изображения допусков и отклонений, которые устанавливают на размеры деталей и их соединений, характеризуется наглядностью. Сопряжение оси вала 1 с корпусом 2 в общем случае следует рассматривать как сопряжение вала и отверстия (рис. 2.4).

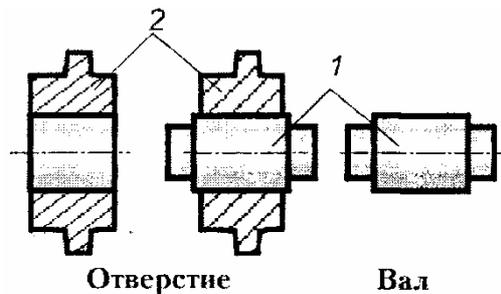


Рис. 2.4. Характер сопряжения вала и корпуса

У всех деталей, поступающих на сборку, размеры сопрягаемых поверхностей находятся в пределах от  $D_{max}$  до  $D_{min}$  для отверстия и от  $d_{max}$  до  $d_{min}$  для вала.

Если совместить контуры отверстий и валов (отдельно), изготовленных по предельным размерам так, чтобы совпали их осевые линии, тогда действительные размеры всех годных деталей окажутся в зонах, ограниченных предельными размерами.

Сумма этих зон, расположенных симметрично относительно оси, выражает допуски отверстия  $TD$  и вала  $Td$  (рис. 2.5).

Удобнее изображать зоны допусков отверстий и валов целиком. Для этого предельные контуры отверстий и валов совмещаем нижними образующими. В этом случае при тех же размерах допуски можно изобразить зонами, расположенными между верхними образующими совмещенных контуров (рис. 2.6).

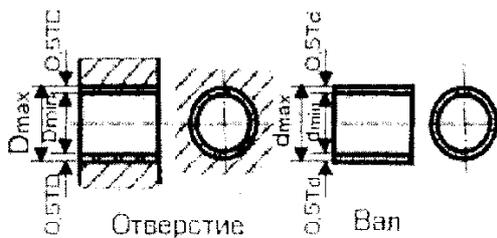


Рис. 2.5. Положение допусков отверстия  $TD$  и вала  $Td$

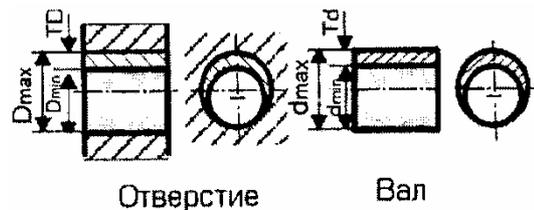


Рис. 2.6. Характер изображения допусков в реальных деталях

Типовые примеры графического изображения допусков, отклонений, номинальных и предельных размеров и других параметров точности отверстий и вала показаны ниже. Схемы построены на основе изложенного принципа.

Масштаб при построении таких схем, как правило, не выдерживается, так как допуски на обработку деталей в сотни и тысячи раз меньше номинальных размеров. Поэтому горизонтальные линии, определяющие предельные размеры  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $d_{min}$ , проводят на произвольных расстояниях от нижней линии, являющейся нижней образующей совмещенных контуров отверстий или валов. Кроме того, проводят горизонтальную линию, называемую нулевой.

*Нулевая линия* – линия, положение которой соответствует номинальному размеру. От нее откладывают отклонения при графическом изображении допусков и посадок; положительные – в одну сторону (например, вверх), а отрицательные – в другую (вниз).

На схемах указывают номинальный ( $D$ ,  $d$ ) и предельные ( $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $d_{min}$ ) размеры, предельные отклонения ( $ES$ ,  $EI$ ,  $es$ ,  $ei$ ), поля допусков и другие параметры.

*Поле допуска* – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поля допусков показывают зонами, которые ограничены двумя линиями, проведенными на расстояниях, соответствующих верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии.

Положение поля допуска относительно номинального размера или нулевой линии определяется одним из двух отклонений – верхним или нижним.

Основное отклонение – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. На практике основное отклонение совпадает с положением нулевой линии. Для представленной схемы основными отклонениями являются:

- для поля допуска отверстия – нижнее отклонение  $EI$ ;
- для поля допуска вала – верхнее отклонение  $es$ .

Предельные отклонения откладывают от нулевой линии, а их численные значения, задаваемые в выбранном масштабе, определяют величину и положение поля допуска относительно этой же линии (рис. 2.7).

Это обстоятельство позволяет применить более простой способ графического изображения полей допусков – только через отклонения.

Положение нулевых линий всегда соответствует концу вектора номинального размера, который условно направляют снизу вверх. Поля допусков следует вычерчивать в масштабе, они наглядны, просты и компактны (рис. 2.8).

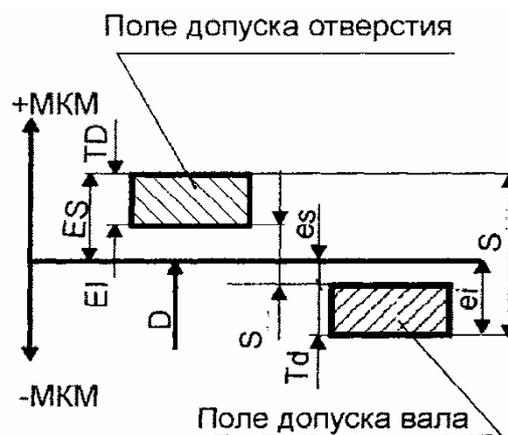
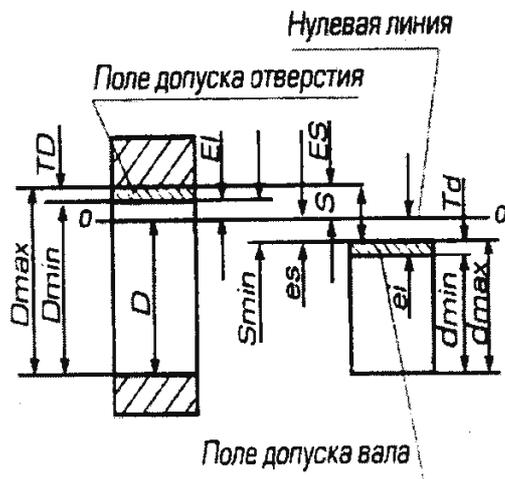


Рис. 2.7. Характер расположения полей допусков      Рис. 2.8. Изображение полей допусков

### 2.3. Общие сведения о посадках

Механизмы всех машин и приборов состоят из взаимно соединяемых деталей и сборочных единиц. Характер соединений должен обеспечивать точность положения или перемещения деталей и сборочных единиц, надежность эксплуатации, простоту ремонта машин и приборов, поэтому конструкции соединений различны и к ним предъявляются различные требования.

В одних случаях необходимо получить подвижное соединение с зазором, в других – неподвижное соединение (с натягом).

*Зазором*  $S$  (рис. 2.9) называется разность размеров между диаметрами отверстия и вала, создающая свободу их относительного перемещения, т.е.

$$S = D - d. \quad (2.6)$$

*Натягом*  $N$  (рис. 2.10) называется разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия. При подобном соотношении диаметров  $d$  и  $D$  натяг можно считать отрицательным зазором, т.е.

$$N = -S = -(D - d) = d - D. \quad (2.7)$$

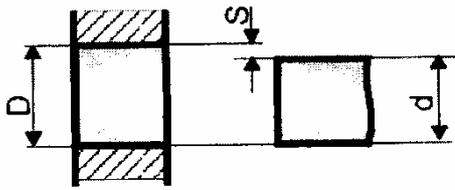


Рис. 2.9. Характер соединения деталей с зазором  $S$

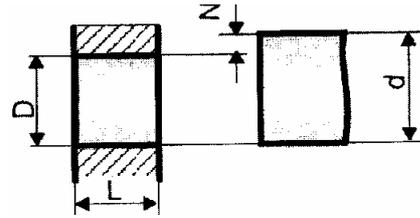


Рис. 2.10. Характер соединения деталей с натягом  $N$

*Посадка* – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки. Посадки характеризуют свободу относительного перемещения соединенных деталей или способность сопротивляться взаимному смещению.

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

- 1) *посадки с зазором* (рис. 2.11) обеспечивают зазор в соединении (поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала);
- 2) *посадки с натягом* (рис. 2.12) обеспечивают натяг в соединении (поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала);

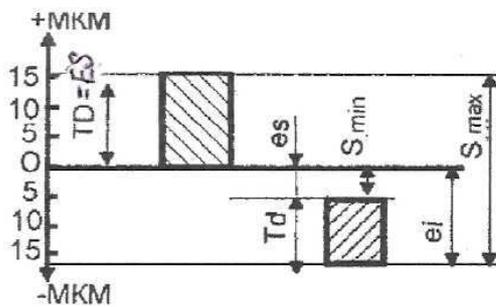


Рис. 2.11. Изображение посадки с зазором

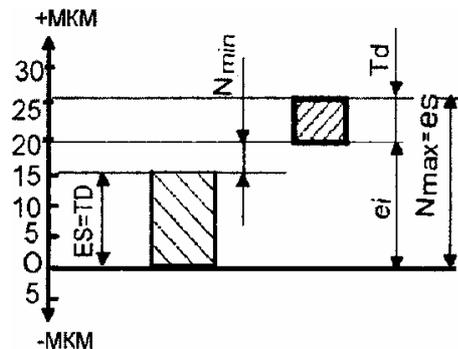


Рис. 2.12. Изображение посадки с натягом

3) *переходные посадки* (рис. 2.13) дают возможность получить в соединении как зазор, так и натяг (поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично).

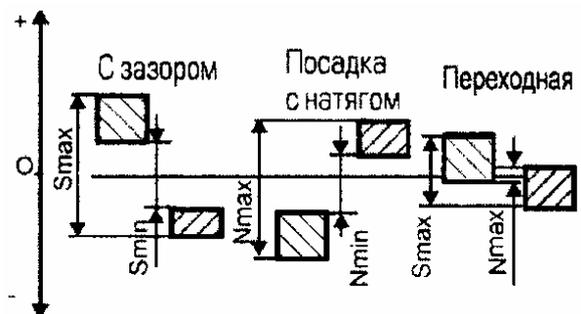


Рис. 2.13. Изображение переходной посадки

## 2.4. Посадки в системах отверстий и вала

Посадки всех трех групп с различными зазорами и натягами можно получить, изменяя положения полей допусков обеих сопрягаемых деталей (рис. 2.14).

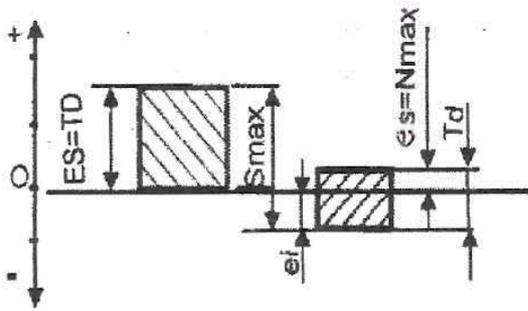


Рис. 2.14. Изображение переходной посадки в системе отверстия

Однако удобнее в технологическом и эксплуатационном отношении получать разнообразные посадки, изменяя положения поля допуска только вала (рис. 2.15) или только отверстия (рис. 2.16).

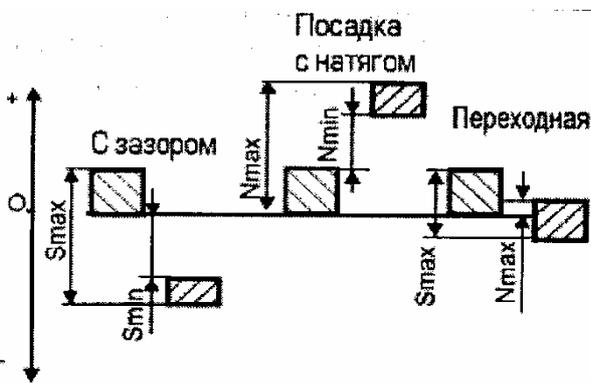


Рис. 2.15. Посадки в системе отверстия

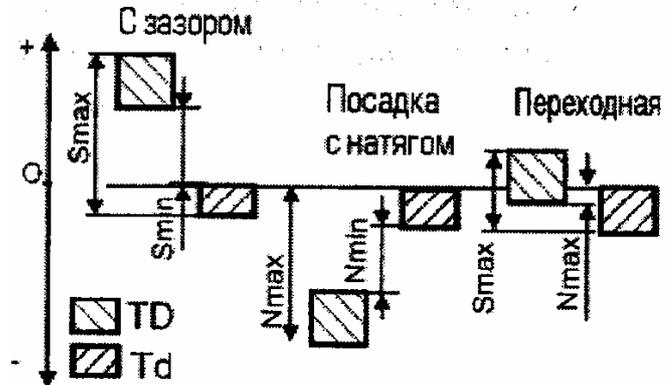


Рис. 2.16. Посадки в системе вала

*Посадки в системе отверстия* – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска *основного* отверстия. *Посадки в системе вала* – посадки, в которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска *основного* вала.

## 2.5. Условные обозначения допусков и посадок

*Квалитеты* обозначаются порядковыми номерами, например, 01, 7, 14. Допуски по квалитетам обозначаются сочетанием прописных букв *IT* с порядковым номером квалитета, например, *IT01*, *IT7*, *IT14*.

Основные отклонения обозначаются буквами латинского алфавита: прописными для отверстий (*A...ZC*) и строчными для валов (*a...zc*).

Поле допуска обозначается сочетанием буквы (букв) основного отклонения и порядкового номера качества. Например:  $g6$ ,  $js7$ ,  $H7$ ,  $H11$ .

Обозначение поля допуска указывается после номинального размера элемента. Например:  $40g6$ ,  $40H7$ ,  $40H11$ .

В обоснованных случаях допускается обозначать поле допуска с основным отклонением  $H$  символом  $+IT$ , с основным отклонением  $h$  – символом  $(-IT)$ , с отклонениями  $Js$  – символом  $\pm IT/2$ . Например:  $+IT14$ ,  $(-IT14)$ ,  $\pm IT14/2$ .

Посадка обозначается дробью, числитель которой содержит обозначение поля допуска отверстия, а знаменатель – поля допуска вала. Например:

$$H7/g6.$$

Обозначение посадки указывается после номинального размера посадки. Например:

$$40H7/g6.$$

## 2.6. Обозначение предельных отклонений и допусков на чертежах

Предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров. Предельные отклонения линейных и угловых размеров относительно низкой точности допускается не указывать после номинальных размеров, а оговаривать общей записью в технических требованиях чертежа при условии, что эта запись однозначно определяет значения и знаки предельных отклонений.

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными обозначениями полей допусков в соответствии с ГОСТ 25346-89, например:  $18H7$ ,  $12e8$ , числовыми значениями, например,  $18^{+0,018}$ ,  $12_{-0,059}^{-0,032}$  или условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках их числовых значений, например,  $18H7(^{+0,018})$ ,  $12e8(_{-0,059}^{-0,032})$ .

При записи предельных отклонений числовыми значениями верхние отклонения помещают под нижними. Предельные отклонения, равные нулю, не указывают, например,  $60_{-0,032}^{+0,014}$ ,  $60^{-0,19}$ ,  $60_{-0,19}$ .

При симметричном расположении поля допуска абсолютную величину отклонений указывают один раз со знаком « $\pm$ »; при этом высота цифр, определяющих отклонения, должна быть равна высоте шрифта номинального размера, например,  $60 \pm 0,23$ .

Предельные отклонения, указываемые десятичной дробью, записывают до последней значащей цифры включительно, выравнивая количество знаков в верхнем и нижнем отклонении добавлением нулей, например,  $10^{+0,15}_{-0,30}$ ,  $35^{-0,060}_{-0,142}$ .

Предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в сборе, указывают одним из следующих способов:

1) в виде дроби, в числителе которой условное обозначение поля допуска отверстия, а в знаменателе – условное обозначение поля допуска вала, например,  $50 \frac{H11}{h11}$  или  $H11/h11$  (рис. 2.17);

2) в виде дроби, в числителе которой числовые значения предельных отклонений отверстия, а в знаменателе – числовые значения предельных отклонений вала (рис. 2.18);

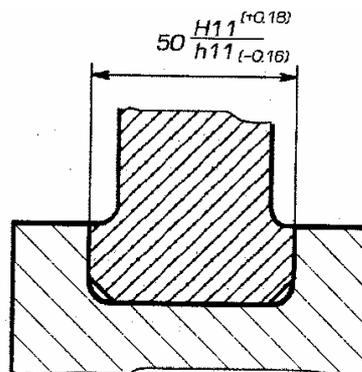
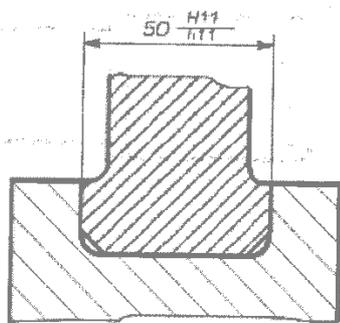


Рис. 2.17. Обозначение посадки на чертеже      Рис. 2.18. Комплексное обозначение посадки

3) в виде дроби, в числителе которой условное обозначение поля допуска отверстия с указанием справа в скобках его числового значения, а в знаменателе – условное обозначение поля допуска вала с указанием справа в скобках его числового значения;

4) в виде записи, в которой указывают предельные отклонения только одной из сопрягаемых деталей (рис. 2.19). В этом случае необходимо пояснить, к какой детали относятся эти отклонения.

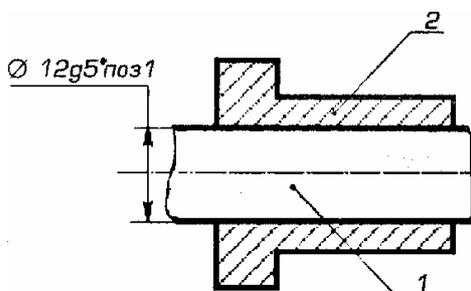


Рис. 2.19. Обозначение качества точности детали (поз. 1), входящей в сопряжение

Когда для участков поверхности с одним номинальным размером назначают разные предельные отклонения, границу между ними наносят сплошной тонкой линией, номинальный размер указывают с соответствующими предельными отклонениями для каждого участка отдельно.

Когда для участков поверхности с одним номинальным размером назначают разные предельные отклонения, границу между ними наносят сплошной тонкой линией, номинальный размер указывают с соответствующими предельными отклонениями для каждого участка отдельно.

## Лекция 3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ДОПУСКОВ И ПОСАДОК

### 3.1. Общие положения

Единая система допусков и посадок ЕСДП введена в действие в народном хозяйстве в 1977 г. взамен группы государственных стандартов (ОСТ и ГОСТ), образующих национальную систему допусков и посадок СССР, условно называемую системой ОСТ. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений для размеров от 0 до 500 мм изложены в ГОСТ 25346-89, который разработан на основе требований Международной системы допусков и посадок ИСО. Рекомендации по замене допусков и посадок системы ОСТ полями допусков ЕСДП даны в справочной литературе. В ЕСДП предусмотрено 20 квалитетов: 01; 0; 1; 2; 3; ...; 18. Точность убывает от *IT01* к *IT17*. Квалитеты *IT01*; *IT0* и *IT1* предназначены для оценки точности плоскопараллельных концевых мер длины, *IT2*, *IT3* и *IT4* – для гладких калибров пробок и скоб; *IT5* ... *IT17* – производственные квалитеты для металлических деталей, в которых *IT4* ... *IT6* используются для высокоточных деталей; *IT7*, *IT8* применяются для деталей ответственных соединений в машиностроении и приборостроении, а *IT9*, *IT10* – для деталей неответственных соединений (сельскохозяйственное машиностроение, грузовой автомобиль, подъемно-транспортное оборудование и т.д.). Квалитеты *IT11*, *IT12* используются также для неответственных соединений, в которых требуются большие зазоры, при значительных температурных перепадах, при работе в запыленных условиях; *IT12* ... *IT17* назначаются для размеров металлических деталей с неуказанными допусками, т.е. для размеров не образующих соединения. Квалитеты *IT8* ... *IT18* используются для обозначения допусков изделий из пластмасс.

Допуски в квалитетах *IT5* ... *IT17* вычисляются для каждого интервала номинальных размеров по зависимости:  $IT_n = a_n i$ , где  $a_n$  – безразмерный коэффициент (число единиц допуска), установленный для каждого  $n$ -го квалитета и являющийся постоянным числом для данного квалитета;  $n$  – номер квалитета;  $i$  – единица допуска, являющаяся функцией номинального размера (гиперболическая зависимость), (мкм).

Начиная с 5-го квалитета допуски при переходе к следующему более грубому квалитету возрастают в геометрической прогрессии со знаменателем 1,6, а, начиная с 6-го квалитета (для *IT6*  $a_n = 10$ ), через каждые пять квалитетов, – увеличиваются в 10 раз.

Например,  $IT6 = 10i$ , то  $IT11 = 10IT6 = 100i$ .

Для полей допусков, у которых основным является верхнее отклонение, нижнее отклонение отрицательное вычисляется по формулам:

- для вала  $ei = es - IT$  (основные отклонения  $a \dots h$ );
- для отверстия  $EI = ES - IT$  (основные отклонения  $J \dots ZC$ ).

Если основное отклонение – нижнее, то верхнее отклонение вычисляется по формулам:

- для вала  $es = ei + IT$  (основные отклонения  $j \dots zc$ );
- для отверстия  $ES = EI + IT$  (основные отклонения  $A \dots H$ ).

В Республике Беларусь действует Единая система допусков и посадок (ЕСДП), разработанная в соответствии с рекомендациями Международной организации по стандартизации (ИСО) и оформленная в виде пяти стандартов, основными из которых являются ГОСТ 25346-89 и ГОСТ 25347-89. Единая система допусков и посадок призвана ввести единообразие в методы и средства измерения с целью повышения качества продукции.

Единая система допусков и посадок построена по принципу рекомендации наиболее рационально употребляемых допусков и посадок. Принципы построения ЕСДП можно проиллюстрировать на примере системы стандартов на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые элементы деталей с номинальными размерами до 10000 мм (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Стандарты ЕСДП

Обозначение стандарта	Наименование	Диапазоны размеров, мм
ГОСТ 25346-89	ЕСДП. Общее положение, ряды допусков основных отклонений	0...3150
ГОСТ 25347-89	ЕСДП. Поля допусков и рекомендуемые посадки	0...3150
ГОСТ 25348-82	ЕСДП. Ряды допусков, основных отклонений и поля допусков для размеров свыше 3150 мм	3150...10000
...	...	...
ГОСТ 25349-88	ЕСДП. Поля допусков деталей из пластмасс	1-500

*Основное отклонение* – это одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), используемое для определения положения поля допуска относительно нулевой линии (линии номинального размера). Таким отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии.

Основные отклонения отверстий обозначают прописными буквами латинского алфавита, валов – строчными; основное отверстие обозначают буквой  $H$ , а основной вал – буквой  $h$ .

Отклонения от  $A$  до  $H$  (от  $a$  до  $h$ ) предназначены для образования полей допусков в посадках с зазорами; отклонения  $Js, K, M, N$  ( $js, k, m, n$ ) – в переходных посадках, отклонения от  $P$  до  $ZC$  (от  $p$  до  $zc$ ) – в посадках с натягом.

Для валов с отклонениями  $js$  и отверстий с отклонениями  $Js$  основных отклонений не установлено. Оба предельных отклонения определяют исходя только из допуска  $IT$  соответствующего качества. Для  $js$  и  $Js$  поле допуска симметрично относительно нулевой линии, а предельные отклонения равны по значениям и противоположны по знакам:

$$ES(es) = +IT/2; EI(ei) = -IT/2. \quad (3.1)$$

Значения основных отклонений валов и отверстий приведены в таблицах соответствующих стандартов.

Поле допуска образуется сочетанием одного из основных отклонений с допуском по одному из качеств. В соответствии с этим правилом поле допуска обозначают буквой (иногда двумя) основного отклонения и номером качества; например, для вала –  $h6, d11, f9$ ; для отверстия –  $H6, D11, Js10$ .

Чтобы обеспечить минимально необходимое, но достаточное число посадок, в соответствии с эксплуатационными требованиями разработана система допусков и посадок. Для образования *посадок* с различными зазорами и натягами в системе ЕСДП для размеров до 500 мм предусмотрено 27 вариантов основных отклонений валов и отверстий, образующих систему допусков (рис. 3.1).

Определение оптимальной точности обработки и выбор качества точности часто представляют собой сложную задачу. При произвольном назначении необоснованного качества с малыми допусками увеличивается стоимость изготовления деталей. При выборе более грубого качества точности стоимость изготовления уменьшается, но снижаются надежность и долговечность работы деталей в узле. Для решения этой задачи необходимо принять во внимание не только характер посадки конкретного соединения, условия его работы, но и рекомендации, учитывающие целесообразность назначения того или иного качества и возможность изготовления деталей необходимой точности.

Общее представление о применении качеств в соединениях машин и механизмов можно получить из следующих примеров.

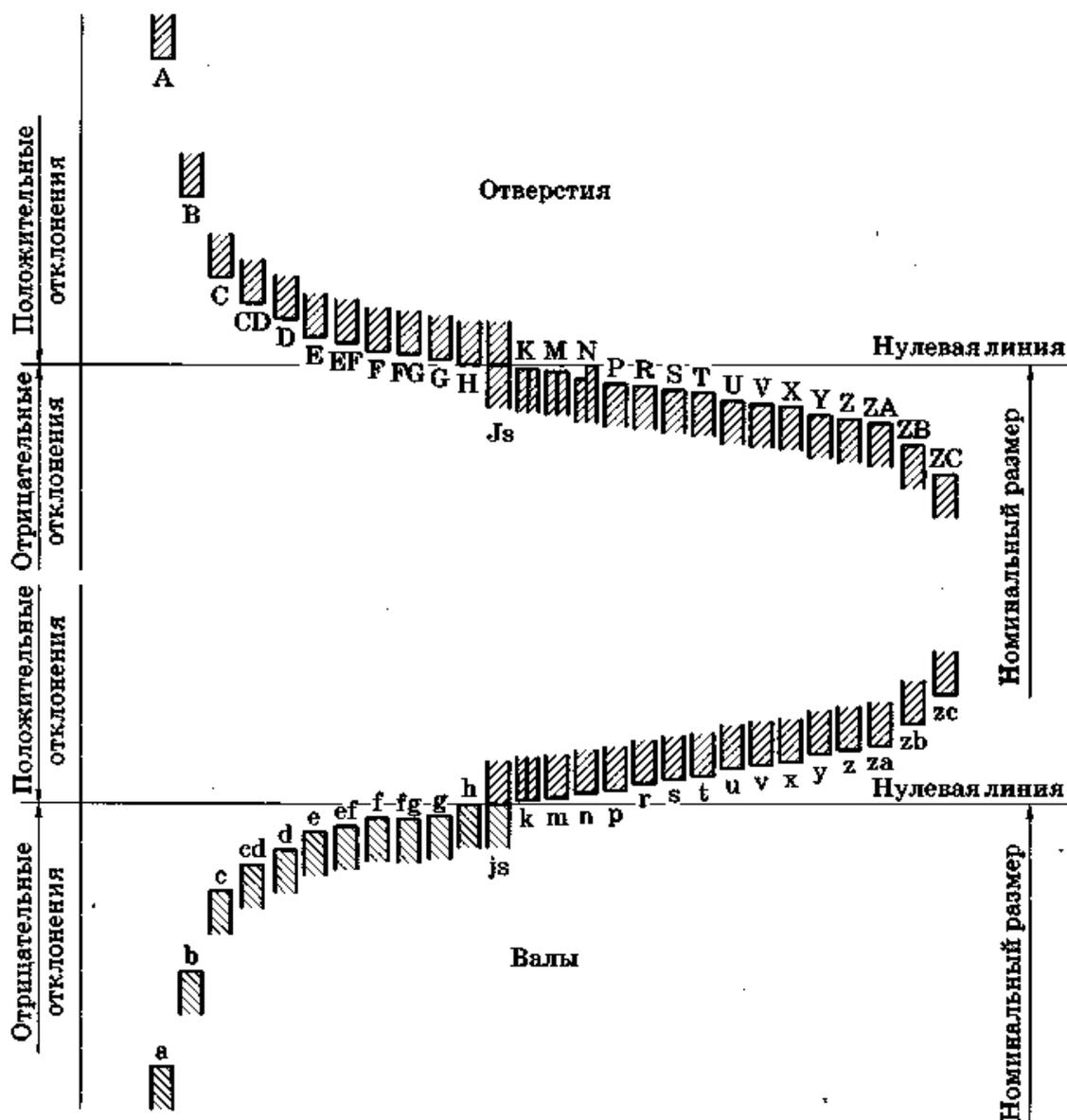


Рис. 3.1. Схема расположения основных отклонений отверстий и валов

### 3.2. Рекомендации по выбору качества точности

Квалитеты 5 и 6 применяются в особо точных соединениях, таких как поршневой палец – втулка верхней головки шатуна двигателя автомобиля, шейка коленчатого вала – вкладыш подшипника и т.п.

Квалитеты 7 и 8 применяются для соединений зубчатых колес с валом, установки подшипников качения в корпус, фрез на оправки и т.п.

Квалитеты 9 и 10 применяются в соединениях, где требования к точности понижены, но предъявляются сравнительно высокие требования к соосности и центрированию (например, поршневое кольцо – канавка поршня по высоте, посадка звездочек на вал и т.д.).

Квалитеты 11 и 12 распространены в подвижных соединениях сельскохозяйственных машин, в посадках часто снимаемых деталей, не требующих высокой точности центрирования, в сварных соединениях.

### 3.3. Области применения некоторых рекомендуемых посадок

Посадки образуют систему и сведены в таблицы. Не все посадки рекомендуются к использованию. Наиболее рациональные посадки выделены в таблицах и целесообразны к применению (ГОСТ 25347-82).

#### 3.3.1. Посадки с зазором

**Посадки типа H/h.** Наименьший зазор в посадках равен нулю. Они установлены во всем диапазоне точностей сопрягаемых размеров (с 4-го по 12-й квалитеты). В квалитетах 4, 5 и 6 они применяются как центрирующие посадки, т.е. обеспечивают высокую степень совпадения центра вала с центром сопрягаемого с ним отверстия. Допускают медленное вращение и продольное перемещение, чаще всего используемое при настройках и регулировках.

Посадка H7/h6 применяется в неподвижных соединениях при высоких требованиях к точности центрирования часто разбираемых деталей: сменные зубчатые колеса на валах, фрезы на оправках, центрирующие корпуса под подшипники качения, сменные кондукторные втулки и т.д. Для подвижных соединений применяется посадка шпинделя в корпусе сверлильного станка.

Посадки H8/h7, H8/h8 имеют примерно то же назначение, что и посадка H7/h6, но характеризуются более широкими допусками, облегчающими изготовление детали.

Посадки H/h в более грубых квалитетах (с 9-го по 12-й) предназначены для неподвижных и подвижных соединений малой точности. Применяются для посадки муфт, звездочек, шкивов на валы, для неотчетственных шарниров, роликов и т.п.

**Посадки типа H/g, G/h.** Обладают минимальным по сравнению с другими посадками гарантированным зазором. Установлены только в точных квалитетах с 4-го по 7-й. Применяются для плавных, чаще всего возвратно-поступательных перемещений, допускают медленное вращение при малых нагрузках.

В сопряжении образуются зазоры. На рисунке 3.2 приведена в сокращении схема расположения полей допусков посадок с зазором в системе отверстия для размеров до 500 мм.

Посадки  $H6/g5$ ,  $H7/g6$  применяются в плунжерных и золотниковых парах, в шпинделе делительной головки и т.п.

**Посадки типа  $H/f$ ,  $F/h$ .** Характеризуются умеренным гарантированным зазором. Применяются для обеспечения свободного вращения в подшипниках скольжения общего назначения при легких и средних режимах работы со скоростями не более 150 рад/с и в опорах поступательного перемещения.

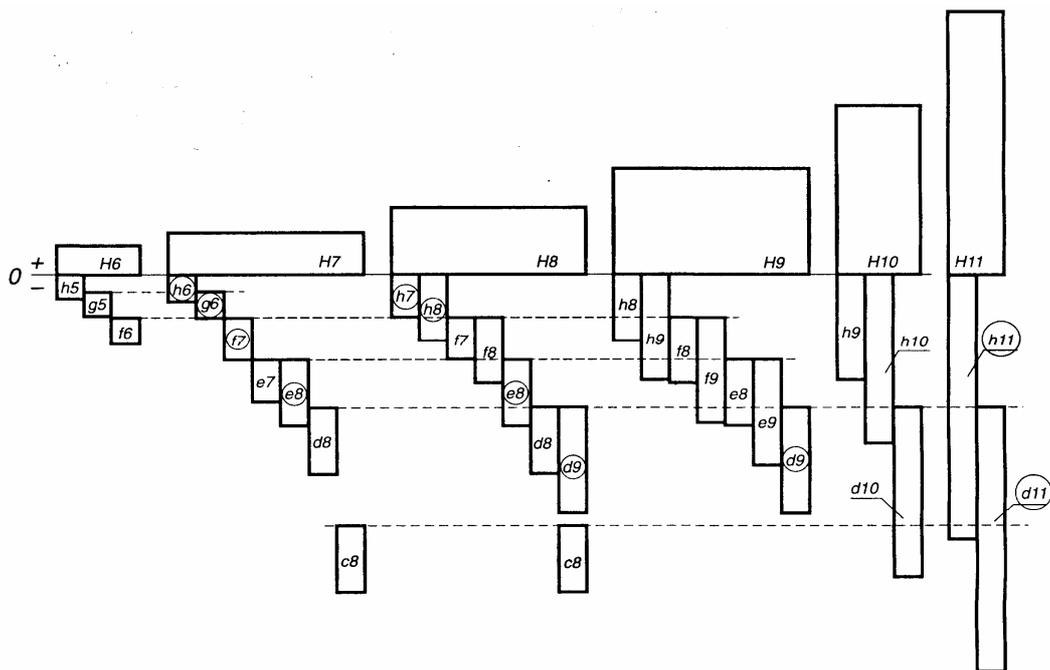


Рис. 3.2. Расположение полей допусков посадок с зазором в системе отверстия

Посадки  $H7/i7$ ,  $H8/f8$  применяются в подшипниках скольжения коробок передач различных станков, в сопряжениях поршня с цилиндром в компрессорах, в гидравлических прессах и т.п.

**Посадки типа  $H/e$ ,  $E/h$ .** Обладают значительным гарантированным зазором, вдвое большим, чем у ходовых посадок. Применяются для свободного вращательного движения при повышенных режимах работы со скоростями более 150 рад/с, а также для компенсации погрешностей монтажа и деформаций, возникающих во время работы.

Посадки  $H7/d8$ ,  $H8/e8$  применяются для подшипников жидкостного трения турбогенераторов, больших электромашин, коренных шеек коленчатых валов.

**Посадки типа  $H/d$ ,  $D/h$**  – широкоходовые. Характеризуются большим гарантированным зазором, позволяющим компенсировать значитель-

ные отклонения расположения сопрягаемых поверхностей и температурные деформации и обеспечить свободное перемещение деталей или их регулировку и сборку.

Посадки  $H8/d9$ ,  $H9/d9$  применяются для соединений при невысоких требованиях к точности, подшипников трансмиссионных валов, поршней в цилиндрах компрессоров.

Посадка  $H11/d11$  применяется для крышек подшипников и распорных втулок в корпусах, для шарниров и роликов на осях.

### 3.3.2. Переходные посадки

В сопряжении могут получаться как зазоры, так и натяги. На рисунке 3.3 приведена в сокращении схема расположения полей допусков переходных посадок в системе отверстия для размеров до 500 мм. Переходные посадки применяются только в точных качествах с 4-го по 8-й, используются как центрирующие посадки и предназначены для неподвижных, но разъемных соединений, так как обеспечивают легкую сборку и разборку соединения.

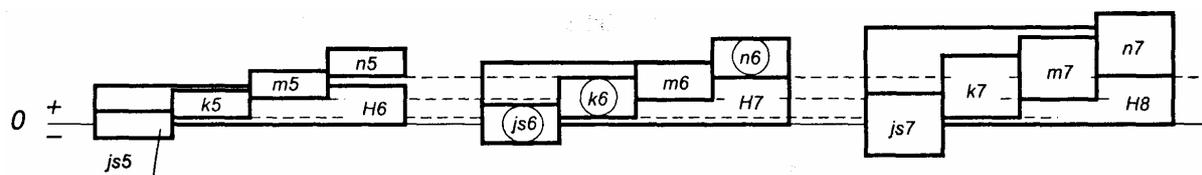


Рис. 3.3. Расположение полей допусков переходных посадок в системе отверстия

**Посадки типа  $H/js$ ;  $J/h$**  – плотные. Вероятность получения натяга  $P(N) – 0,5...5\%$ , и, следовательно, в сопряжении образуются преимущественно зазоры. Обеспечивают легкую собираемость.

Посадка  $H7/js6$  применяется для сопряжения стаканов подшипников с корпусами, небольших шкивов и ручных маховиков с валами.

**Посадки типа  $H/k$ ,  $K/h$**  – напряженные. Вероятность получения натяга  $P(N) – 24...68\%$ . Однако из-за влияния отклонений формы, особенно при большой длине соединения, зазоры в большинстве случаев не ощущаются. Обеспечивают хорошее центрирование. Сборка и разборка производится без значительных усилий, например, при помощи ручных молотков.

Посадка  $H7/k6$  широко применяется для сопряжения зубчатых колес, шкивов, маховиков, муфт с валами.

**Посадки типа H/m; M/h** – тугие. Вероятность получения натяга  $P(N) = 60...99,98\%$ . Обладают высокой степенью центрирования. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях. Разбираются, как правило, только при ремонте.

Посадка  $H7/m6$  применяется для сопряжения зубчатых колес, шкивов, маховиков, муфт с валами, для установки тонкостенных втулок в корпуса, кулачков на распределительном валу.

**Посадки типа H/n; N/h** – глухие. Вероятность получения натяга  $P(N) = 88...100\%$ . Обладают высокой степенью центрирования. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях: применяются прессы. Разбираются, как правило, только при капитальном ремонте.

Посадка  $H7/n6$  применяется для сопряжения тяжело нагруженных зубчатых колес, муфт, кривошипов с валами, для установки постоянных кондукторных втулок в корпусах кондукторов, штифтов и т.п.

### 3.3.3. Посадки с натягом

В сопряжении образуются только натяги. На рисунке 3.4. приведена в сокращении схема расположения полей допусков посадок с натягом в системе отверстия для размеров до 500 мм.

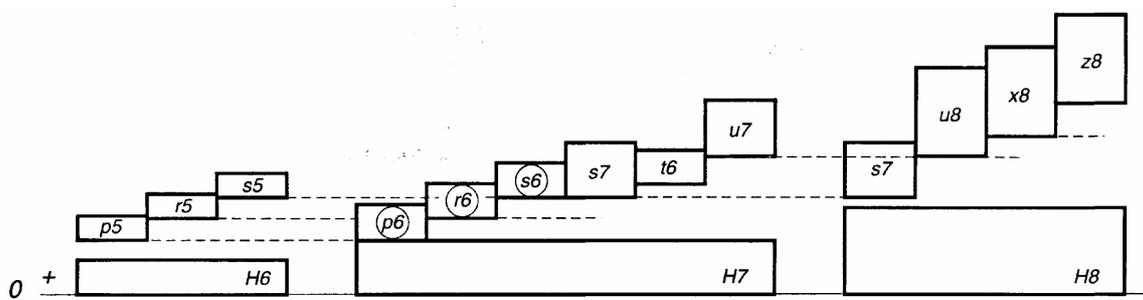


Рис. 3.4. Расположение полей допусков посадок с натягом в системе отверстия

**Посадки типа H/p; P/h** – легкопрессовые. Имеют минимальный гарантированный натяг. Обладают высокой степенью центрирования. Применяются, как правило, с дополнительным креплением. Посадка  $H7/p6$  применяется для сопряжения тяжело нагруженных зубчатых колес, втулок, установочных колец с валами, для установки тонкостенных втулок и колец в корпуса.

**Посадки типа H/r, H/s; H/t и R/h; S/h; T/h** – прессовые средние. Имеют умеренный гарантированный натяг в пределах

$$N = (0,0002...0,0006) D.$$

Применяются как с дополнительным креплением, так и без него. При сопряжении возникают, как правило, упругие деформации.

Посадки H7/r6 , H7/s6 применяются для сопряжения зубчатых и червячных колес с валами в условиях тяжелых ударных нагрузок с дополнительным креплением (для стандартных втулок подшипников скольжения предусмотрена посадка H7/s6).

**Посадки типа H/u; H/x; H/z и U/h** – прессовые тяжелые. Имеют большой гарантированный натяг в пределах  $N = (0,001...0,002) D$ . Предназначены для соединений, на которые воздействуют большие, в том числе и динамические нагрузки. Применяются, как правило, без дополнительного крепления соединяемых деталей. В сопряжении возникают упругопластические деформации. Детали должны быть проверены на прочность.

Посадки H7/u7, H8/u8 наиболее распространенные из числа тяжелых посадок. Примеры применения – вагонные колеса на осях, бронзовые венцы червячных колес на стальных ступицах, пальцы эксцентриков и кривошипов с дисками.

## Лекция 4. ОТКЛОНЕНИЯ И ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ. ШЕРОХОВАТОСТЬ ПОВЕРХНОСТИ

### 4.1. Основные термины и определения

Допуски формы и расположения поверхностей деталей машин и приборов, термины, определения, относящиеся к основным видам отклонений, стандартизованы ГОСТ 24642-81.

В основу нормирования и систему отсчета отклонений формы и расположения поверхностей положен принцип прилегающих поверхностей и профилей, элементов, деталей, сборочных единиц (узлов).

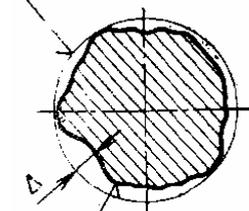
Под *элементом* понимается поверхность (часть поверхности, плоскость симметрии нескольких поверхностей), профиль поверхности, линия пересечения двух поверхностей, ось поверхности или сечения (точка пересечения линии, линии и поверхности, центр окружности или сфера).

Различают следующие основные виды прилегающих поверхностей, плоскостей и профилей:

- номинальная (идеальная) поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией;
- реальная поверхность, ограничивающая деталь и отделяющая ее от окружающей среды.

*Профиль* – это линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью. Различают профили номинальной и реальной поверхностей (рис. 4.1).

*Номинальный профиль*



*Реальный профиль*

Рис. 4.1. Прилегающая окружность

*Прилегающая плоскость и прилегающая прямая* – плоскость или прямая, соприкасающаяся с реальной поверхностью или профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки соответственно реальной поверхности или профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

*Нормируемый участок* – это участок поверхности или линии, к которому относится допуск или отклонение формы или расположение элемента.

Нормируемый участок должен задаваться размерами, определяющими его площадь, длину или угол сектора (в полярных координатах). Если нормируемый участок не задан, то допуск или отклонение формы или рас-

положения должен относиться ко всей поверхности или длине рассматриваемого элемента.

*Прилегающая окружность* – окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения, или минимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения.

*База* – элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента. Базами могут быть, например, базовая плоскость, базовая ось, базовая плоскость симметрии.

*Общая ось* – это прямая, относительно которой наибольшее отклонение осей нескольких рассматриваемых поверхностей вращения в пределах длины этих поверхностей имеет минимальное значение. Для двух поверхностей общей осью является прямая, проходящая через оси рассматриваемых поверхностей в их средних сечениях (рис. 4.2).

*Общая плоскость симметрии* – плоскость, относительно которой наибольшее отклонение плоскостей симметрии нескольких рассматриваемых элементов в пределах длины этих элементов имеет минимальное значение.

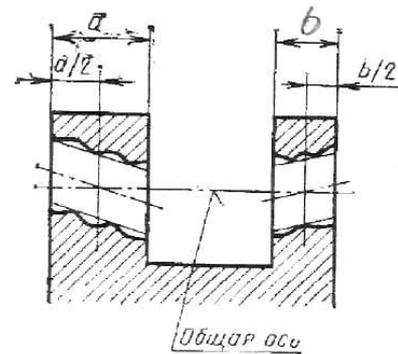


Рис. 4.2. Общая ось

Все отклонения и допуски подразделяются на три группы: формы; расположения; суммарные (формы и расположения).

В стандартах приняты следующие буквенные обозначения:

*F* – отклонение формы, отклонение расположения или суммарное отклонение формы и расположения;

*L* – допуск формы, допуск расположения или суммарный допуск формы и расположения;

*L* – длина нормируемого участка (заданная длина).

Допуски формы и расположения указываются на чертежах графическим символом согласно таблице 4.1 по ГОСТ 2.308-79. Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей – по ГОСТ 24643-81.

Для допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения дополнительно указывают базы, относительно которых задается допуск, и оговаривают зависимые допуски расположения или формы.

Символьное обозначение допусков на чертеже

Группа допусков	Вид допуска	Знак
Допуск формы	Допуск прямолинейности	
	Допуск плоскостности	
	Допуск круглости	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	
Допуск расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск наклона	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Позиционный допуск	
	Допуск пересечения осей	
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	

#### 4.1.1. Отклонения и допуски формы

К отклонениям формы отнесены все отклонения от номинальной формы, кроме шероховатости поверхности (рис. 4.3). Волнистость рассматривается как отклонение формы.

Отклонение формы определяется как сумма абсолютных значений наибольших отклонений точке реальной поверхности, расположенных по

обе стороны от средней поверхности. Такой способ оценки получил применение в ряде современных измерительных средств. Разница между отклонениями формы, определенными относительно прилегающей и средней поверхности, практически незначительна.

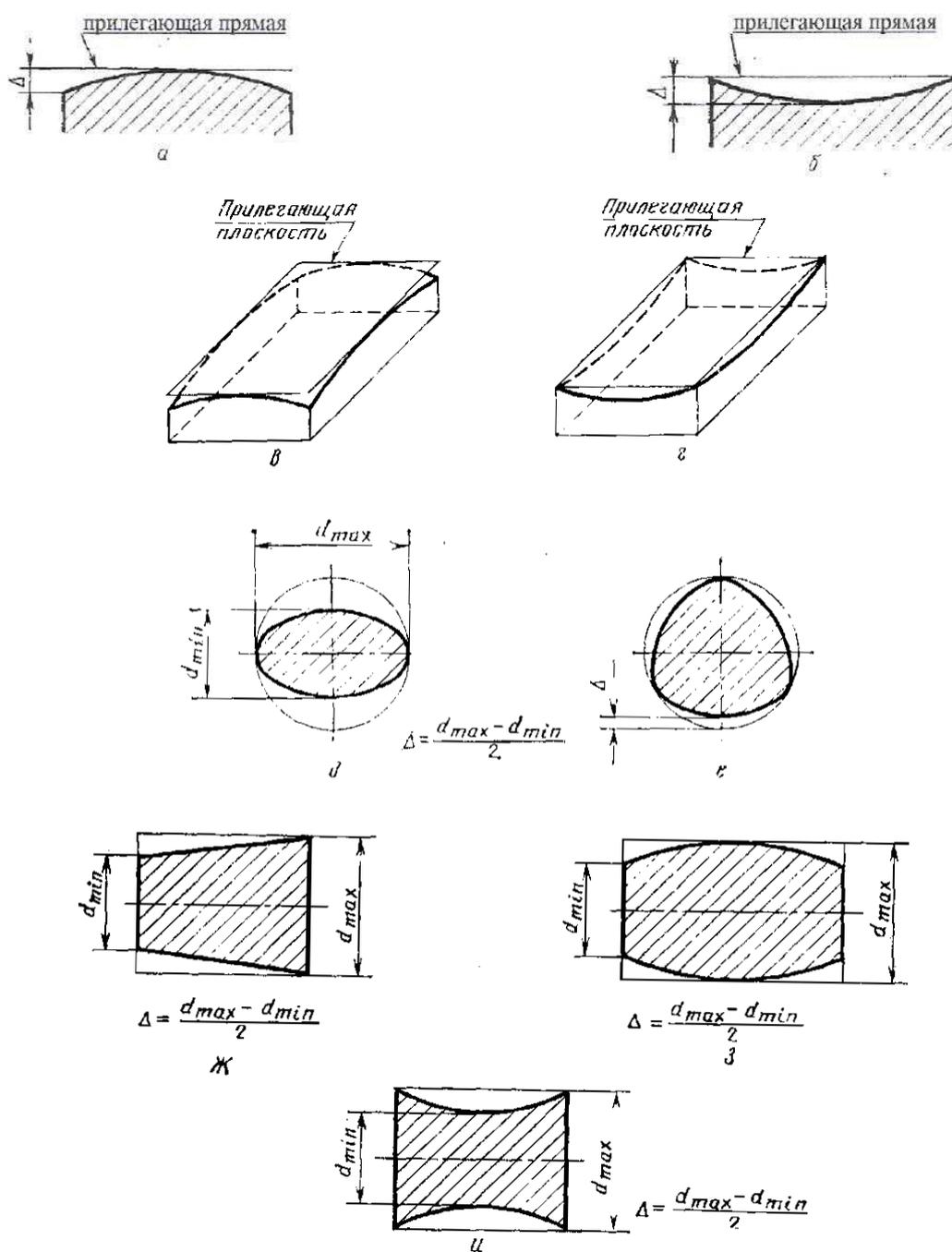


Рис. 4.3. Отклонения и допуски формы:  
*a, б* – прилегающая прямая; *в, г* – прилегающая плоскость; *д* – овальность;  
*е* – огранка в поперечном сечении; *ж* – конусообразность;  
*з* – бочкообразность; *и* – седлообразность

К отклонениям и допускам формы относятся:

- *отклонение от прямолинейности* в плоскости и допуск; частными видами отклонения от прямолинейности являются выпуклость и вогнутость; отклонение от прямолинейности оси (или линии) в пространстве и допуск (рис. 4.3, а, б);
- *отклонение от плоскостности* и допуск; частными видами отклонений от плоскостности являются выпуклость и вогнутость (рис. 4.3, в, г);
- *отклонение от круглости* и допуск; частными видами отклонений от круглости являются овальность и огранка (рис. 4.3, д, е);
- *отклонение от цилиндричности* и допуск цилиндричности; частными видами отклонения профиля продольного сечения являются конусообразность, бочкообразность и седлообразность (рис. 4.3, ж, з, и).

Применять частные виды отклонений – выпуклость, вогнутость, огранку, овальность, конусообразность, бочкообразность, седлообразность для их нормирования следует лишь в обоснованных случаях, когда для обеспечения правильного функционирования изделия важно учитывать и характер отклонения формы.

#### **4.1.2. Отклонения и допуски расположения**

В реальных поверхностях отклонения формы и расположения всегда сочетаются. В работе и при измерениях эти отклонения могут проявляться или отдельно, или совместно, поэтому установлены собственно отклонения и допуски расположения, предполагающие исключение из рассмотрения отклонений формы путем замены реальных поверхностей прилегающими, и суммарные отклонения и допуски формы и расположения.

Отклонения расположения и допуски определяются относительно характеристических поверхностей, выбранных в качестве баз.

Введенный допуск на *наклон* позволяет нормировать отклонения от любого номинального угла (кроме 0 и 90°) методом, аналогичным методу нормирования допусков на параллельность и перпендикулярность, т.е. в линейной мере.

Допуски на *соосность, симметричность, пересечение осей, позиционный допуск* можно задавать либо предельным значением отклонения в радиусном выражении, либо шириной поля допуска, что соответствует удвоенному предельному отклонению (допуски в диаметральном выражении).

Понятия о допусках в радиусном выражении не исключены, и применять такие допуски разрешается в случаях, когда эта величина непосредственно влияет на функционирование изделия или определяется при измерении (например, измерение эксцентриситета на кругломерах или позиционных отклонений на координатно-измерительных машинах).

### 4.1.3. Нормирование суммарных отклонений и допуска формы и расположения

Оцениваются данные отклонения по точкам реальной поверхности или реального профиля. Отклонения формы базовых элементов суммарным допуском не ограничиваются. К *суммарным отклонениям формы и расположения* относятся все виды биений.

Кроме известных видов биения, рассматриваемых в отдельных сечениях поверхности (радиального, торцевого и в заданном направлении), введены понятия о *полном радиальном и полном торцевом биениях*, определяемых по всем точкам поверхности. Суть этих понятий можно пояснить на примерах измерения полного биения.

*Полное радиальное биение* определяется как наибольшая разность показаний измерительной головки при относительном вращении детали и перемещении ее вдоль базовой оси (рис. 4.4, а) и может применяться для нормирования цилиндрических поверхностей. Оно ограничивает суммарно отклонения от *цилиндричности и соосности*.

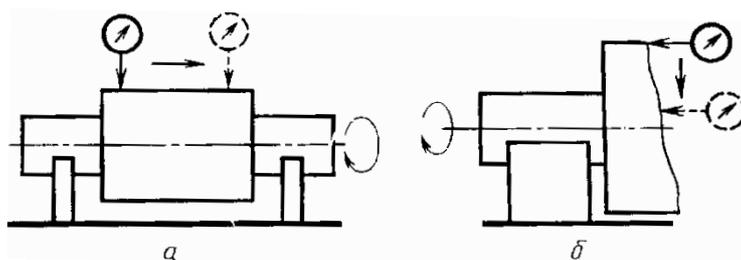


Рис. 4.4. Схема контроля биения:  
а – радиального; б – торцевого

*Полное торцевое биение* определяется как наибольшая разность показаний измерительной головки при относительном вращении детали вокруг базовой оси и радиальном перемещении (рис. 4.4, б). Оно применяется к плоским торцевым элементам и суммарно ограничивает отклонения от *плоскостности и перпендикулярности*.

В ГОСТ 24642-81 сохранены и дополнены понятия о *зависимых и независимых* допусках расположения.

Зависимыми могут быть в отдельных случаях и допуски формы, например, *допуск прямолинейности оси* отверстия или вала. Допускается применять любые методы и средства прямого или косвенного измерения отклонений формы и расположения, обеспечивающие соблюдение допусков, регламентированных в ГОСТ 24642-81.

## 4.2. Нормирование фактической величины отклонений формы и расположения

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными знаками. Предельные отклонения формы и расположения поверхностей нормируются стандартами и назначаются при наличии особых требований, вытекающих из условий работы, изготовления или измерения деталей.

Для измерения величины отклонений от *круглости* деталей типа тел вращения (например, цилиндров) применяются приборы – *кругломеры*. Кругломеры обеспечивают точное относительное вращение преобразователя (датчика) и контролируемой детали. При этом в случае отклонения поперечного сечения детали от правильной окружности измерительный наконечник преобразователя получает перемещения, которые усиливаются усилителем и записываются в виде *профилограммы*.

Для определения отклонения от круглости на профилограмму накладывают прилегающую окружность:

- для вала – это окружность наименьшего возможного диаметра, описанная вокруг профилограммы вала (рис. 4.5);
- для отверстия – окружность наибольшего возможного диаметра, вписанная в профилограмму отверстия (рис. 4.6).

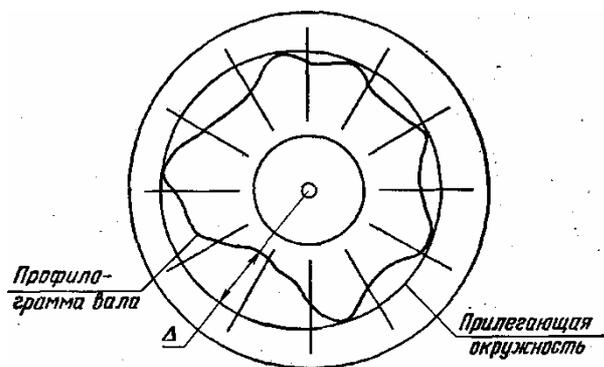


Рис. 4.5. Профилограмма вала

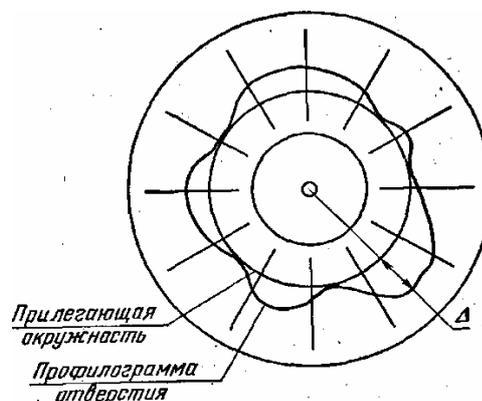


Рис. 4.6. Профилограмма отверстия

Отклонения от круглости (в данном случае – *огранка*) *догр* определяются по формуле

$$\text{догр} = \Delta / Y, \quad (4.1)$$

где  $\Delta$  – наибольшее расстояние прилегающей окружности до профилограммы, мм, измеренное в радиальном направлении (рис. 4.7, а);  $Y$  – коэф-

коэффициент увеличения прибора, при котором произведена запись профилограммы (1000, 2000, 4000 и т.д.).

Одним из элементарных видов отклонений от круглости является *овальность* (рис. 4.7, б). Для определения овальности можно применять двухконтактные средства измерений (микрометры, рычажные скобы и т.д.).



Рис. 4.7. Отклонение от круглости:  
а – огранка; б – овальность

Овальность  $\delta_{ов}$  определяется по формуле

$$\delta_{ов} = (d_{max} - d_{min}) / 2, \quad (4.2)$$

где  $d_{max}$  – наибольший измеренный диаметр, мм;  $d_{min}$  – наименьший измеренный диаметр, мм.

Частными видами отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности являются:

- *конусообразность* – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 4.8, а).
- *бочкообразность* – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 4.8, б).
- *седлообразность* – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения (рис. 4.8, в).

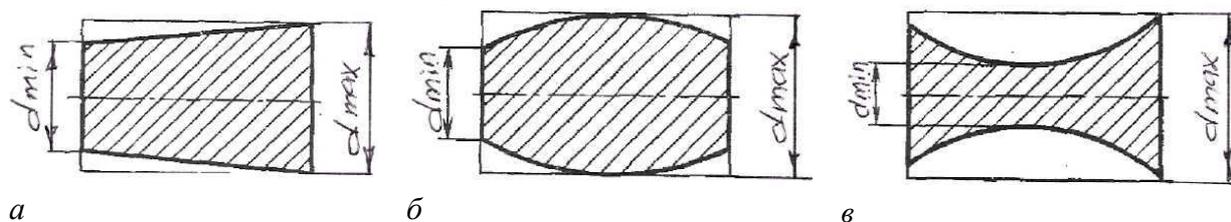


Рис. 4.8. Отклонения профиля продольного сечения:  
а – конусообразность; б – бочкообразность; в – седлообразность

Количественно конусообразность, бочкообразность и седлообразность оцениваются по формуле

$$\delta = (d_{max} - d_{min}) / 2, \quad (4.3)$$

где  $d_{max}$  – наибольший измеренный диаметр, мм;  $d_{min}$  – наименьший измеренный диаметр, мм.

Для измерения этих отклонений можно применять двухконтактные средства измерения (микрометры, рычажные скобы и т.д.).

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

ГОСТ 2.308-79 устанавливает правила указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах изделий для всех отраслей промышленности, ГОСТ 24643-81 – числовые значения допусков.

Как правило, предпочтение отдается условным обозначениям допусков, а не текстовым записям. Записи рекомендуется в основном применять для текстовой документации или в случаях, когда вид допуска или базирования не может быть выражен условным обозначением. Опыт применения условных обозначений показал, что они удобны, наглядны, упрощают оформление документации, позволяют ввести единообразие в текстовых формулировках.



Рис. 4.9. Указание допусков формы и расположения в прямоугольной рамке

При условном обозначении данные о допусках формы и расположении поверхностей указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две части и более (рис. 4.9), в которых помещают (слева направо):

- в первой – знак допуска по таблице 4.1;
- во второй – числовое значение допуска в миллиметрах;
- в третьей и последующих – буквенное обозначение элемента детали, выбранного в качестве измерительной базы (рис. 4.10, 4.11).

Существует правило базирования и указания баз в машиностроении (ГОСТ 21495-76). Буквенные обозначения каждого базового элемента вносятся слева направо в отдельное поле рамки (третье, четвертое и т.д.) в порядке убывания числа степеней свободы детали. Если же два или несколько элементов образуют объединенную базу и их последовательность не имеет значения (например, они образуют общую ось), то их буквенные обозначения вписывают вместе в третье поле рамки.

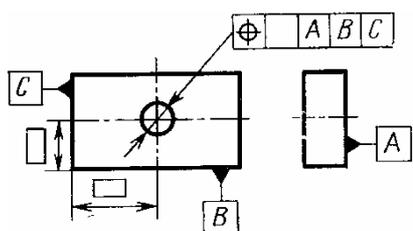


Рис. 4.10. Буквенное обозначение каждого базового элемента

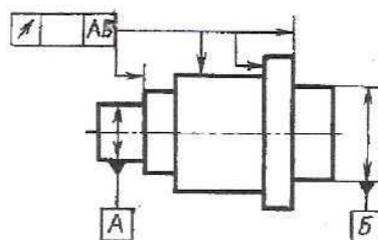


Рис. 4.11. Два или несколько элементов образуют объединенную базу

Суммарные допуски формы и расположения поверхностей, для которых не установлены отдельные графические знаки, обозначают знаками составных допусков в такой последовательности: знак допуска расположения, знак допуска формы. Например, на рисунке 4.12, а показан знак суммарного допуска перпендикулярности и плоскостности поверхности относительно основания 0,02 мм, на рисунке 4.12, б – знак суммарного допуска наклона и плоскостности поверхности относительно основания 0,05 мм.

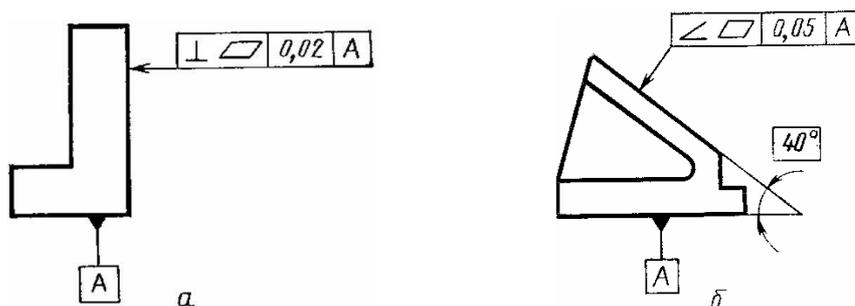


Рис. 4.12. Суммарные допуски:

а – перпендикулярности и плоскостности; б – наклона и плоскостности

Допуски расположения охватывающих и охватываемых поверхностей могут быть двух видов: *зависимыми* и *независимыми*.

*Зависимым* называется допуск расположения, величина которого зависит не только от заданного предельного отклонения расположения, но и от действительных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей. При зависимых допусках должны задаваться предельные отклонения расположения, соответствующие наименьшим предельным размерам охватывающих поверхностей (отверстий) и наибольшим предельным размерам охватываемых поверхностей (валов). При отклонениях действительных размеров от указанных выше предельных значений (в пределах полей допусков на размеры) допускается превышение проставленных на чертеже предельных отклонений расположения на величину, компенсированную отклонениями размеров.

*Зависимые* допуски расположения назначаются для деталей, которые сопрягаются с контрдеталью одновременно по двум или нескольким поверхностям и для которых требования взаимозаменяемости сводятся к обеспечению собираемости (под *собираемостью* понимается возможность соединения деталей по всем сопрягаемым поверхностям с соблюдением заданных условий сборки, например, гарантированного зазора).

Зависимые допуски связаны с зазорами между сопрягаемыми поверхностями. На чертежах проставляются минимальные значения допусков, соответствующие наименьшим зазорам. При отклонениях действительных размеров от пределов, соответствующих наименьшим зазорам, зазоры в соединении возрастают и, следовательно, могут быть допущены большие отклонения расположения.

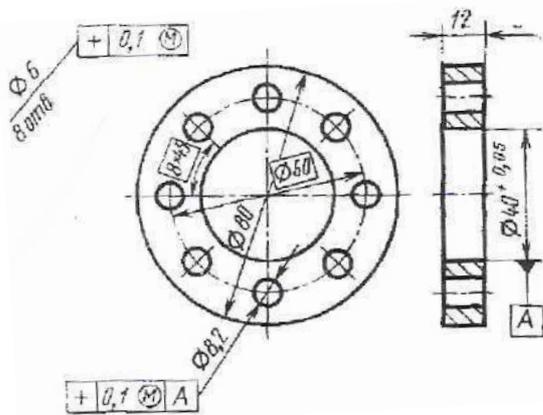


Рис. 4.13. Обозначение зависимого допуска

Например, для фланца с восемью отверстиями  $\varnothing 8,2^{+0,1}$  мм под крепежные детали (рис. 4.13) допуск на расстояние между осями отверстий задан  $+ 0,1$  мм (допуск зависимый).

Например, для фланца с восемью отверстиями  $\varnothing 8,2^{+0,1}$  мм под крепежные детали (рис. 4.13) допуск на расстояние между осями отверстий задан  $+ 0,1$  мм (допуск зависимый).

#### 4.4. Принципы назначения общих допусков формы и расположения поверхностей

Общим допуском формы или расположения называют допуск, указываемый на чертеже или в других технических документах общей записью и применяемый в тех случаях, когда допуск формы или расположения не указан индивидуально для соответствующего элемента детали. Общие допуски формы и расположения поверхностей по настоящему стандарту применяются, если на чертеже или в другой технической документации имеется ссылка на соответствующий стандарт.

Общие допуски формы и расположения установлены по трем классам точности. При выборе класса точности следует учитывать обычную точность соответствующего производства. Если необходимы меньшие допуски или допустимы и экономически выгодны большие допуски, то эти допуски должны быть указаны непосредственно для соответствующих элементов согласно ГОСТ 2.308-79. Значения общих допусков формы

и расположения применяются независимо от действительных размеров рассматриваемых и базовых элементов (допуски являются независимыми).

Общие допуски цилиндричности, профиля продольного сечения, наклона, перекоса осей, позиционные, полного радиального и полного торцевого биения, формы заданного профиля и формы заданной поверхности не устанавливаются. Отклонения этих видов косвенно ограничиваются допусками на линейные и угловые размеры или другими видами допусков формы и расположения, в том числе и общими. Если такого ограничения недостаточно, то перечисленные виды допусков должны указываться на чертеже непосредственно для соответствующих элементов.

Элементы деталей имеют размеры и геометрические характеристики (форма, расположение) поверхностей. Функция деталей требует установления предельных отклонений размеров, допусков формы и расположения элементов, превышение которых может привести к нарушению этой функции.

Ограничение размеров и геометрии элементов на чертеже должно быть полным и пониматься однозначно: не должно быть разночтений и произвольного истолкования требований при изготовлении и контроле. Использование общих допусков размеров, формы, расположения создает реальные предпосылки для решения этой задачи. Значения общих допусков формы и расположения установлены по классам точности, характеризующим различные уровни обычной производственной точности, достигаемой без применения дополнительной обработки повышенной точности. Выбор класса точности осуществляют с учетом функциональных требований к детали и возможностей производства.

Если по функциональным требованиям для элемента необходимы допуски меньшие, чем общие допуски, то они должны указываться на чертеже непосредственно для данного элемента. Это же относится и к случаям, когда общим допуском не могут быть оговорены все условия, необходимые для ограничения отклонений формы и расположения элемента, например, допуск расположения должен относиться к базе, отличной от указанной в настоящем стандарте, или может быть зависимым и т.д.

Допуски формы и расположения, на которые настоящий стандарт не распространяется, при необходимости их ограничения должны быть указаны на чертеже, иначе они могут остаться неограниченными. Увеличение допусков сверх принятых значений общих допусков обычно не дает экономических преимуществ при изготовлении.

Например, если при изготовлении элемента диаметром  $25 \pm 0,1$  мм и длиной 80 мм с общим допуском размера по ГОСТ 30893.1-2003 по классу

точности  $m$  и общими допусками формы и расположения по настоящему стандарту по классу точности  $H$  (0,1 мм для прямолинейности, круглости и радиального биения) обычная точность производства равна или превышает указанные допуски, то установление более грубых допусков для данного производства не представляет интереса. В тех случаях, когда допуск, превышающий общий допуск, все же дает экономию при изготовлении и может быть разрешен исходя из функции детали, его указывают непосредственно на чертеже, например, допуск круглости для большого и тонкого кольца.

#### 4.4.1. Общие допуски формы

Отклонения формы для элементов с указанными на чертеже предельными отклонениями размеров в соответствии с ГОСТ 25346-89 должны быть ограничены в пределах поля допуска размера.

Общие допуски прямолинейности и плоскостности для элементов с не указанными на чертеже предельными отклонениями (общими допусками) размеров приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Общие допуски прямолинейности и плоскостности

Класс точности	Общие допуски прямолинейности и плоскостности для интервалов номинальных длин, мм					
	до 10	свыше 10 до 30	свыше 30 до 100	свыше 100 до 300	свыше 300 до 1000	св. 1000 до 3000
$H$	0,02	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
$K$	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
$L$	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

*Примечание.* Допуск прямолинейности выбирается исходя из длины элемента, а плоскостности – по длине большей стороны поверхности или ее диаметру, если поверхность ограничена круговым контуром.

Общий допуск круглости для элементов с не указанными на чертеже предельными отклонениями размеров равен допуску на диаметр, но не должен превышать общего допуска на радиальное биение.

#### 4.4.2. Общие допуски расположения и биения

Общий допуск параллельности равен допуску размера между рассматриваемыми элементами. За базу следует принимать наиболее протяженный из двух рассматриваемых элементов. Если два элемента имеют одинаковую длину, то в качестве базы может быть принят любой из них.

Общие допуски перпендикулярности должны соответствовать приведенным в таблице 4.3. За базу следует принимать элемент, образующий более длинную сторону рассматриваемого прямого угла. Если стороны угла имеют одинаковую номинальную длину, то в качестве базы может быть принята любая из них.

Таблица 4.3

Общие допуски перпендикулярности

Класс точности	Общие допуски перпендикулярности для интервалов номинальных длин более короткой стороны угла, мм			
	до 100	свыше 100 до 300	свыше 300 до 1000	свыше 1000 до 3000
<i>H</i>	0,2	0,3	0,4	0,5
<i>K</i>	0,4	0,6	0,8	1,0
<i>L</i>	0,6	1,0	1,5	2,0

Общие допуски симметричности и пересечения осей должны соответствовать приведенным в таблице 4.4. За базу следует принимать элемент с большей длиной. Если рассматриваемые элементы имеют одинаковую длину, то в качестве базы может быть принят любой из них.

Таблица 4.4

Общие допуски симметричности и пересечения осей

Класс точности	Общие допуски симметричности и пересечения осей для интервалов номинальных длин более короткой стороны угла, мм			
	до 100	свыше 100 до 300	свыше 300 до 1000	свыше 1000 до 3000
<i>H</i>	0,5			
<i>K</i>	0,6		0,8	1
<i>L</i>	0,6	1,0	1,5	2
<i>Примечание.</i> Допуски симметричности и пересечения осей указаны в диаметральном выражении.				

Общие допуски радиального и торцевого биения, а также биения в заданном направлении (перпендикулярно к образующей поверхности) должны соответствовать указанным в таблице 4.5.

За базу следует принимать подшипниковые (опорные) поверхности, если они могут быть однозначно определены из чертежа, например, заданные как базы для указанных допусков биения. В других случаях за базу для общего допуска радиального биения следует принимать более длинный из двух соосных элементов. Если элементы имеют одинаковую номинальную длину, то в качестве базы может быть принят любой из них.

Общие допуски радиального и торцевого биения

Класс точности	Допуск биения, мм:
<i>H</i>	0,1
<i>K</i>	0,2
<i>L</i>	0,5

Общие допуски соосности применяются в случаях, когда измерение радиального биения невозможно или нецелесообразно. Общий допуск соосности в диаметральном выражении следует принимать равным общему допуску радиального биения.

Применение общих допусков дает следующие преимущества:

- чертежи легче читаются, облегчается связь с пользователем чертежами;
- конструктор экономит время за счет исключения детальных расчетов допусков; достаточно только знать, что допуск, исходя из функционального назначения детали, больше или равен общему допуску;
- чертежи четко показывают, какие элементы могут быть изготовлены при обычных возможностях процесса, что облегчает управление качеством благодаря уменьшению уровня контроля этих элементов;
- остальные элементы, которые имеют индивидуально указанные допуски, по большей части относятся к таким, для которых их функция требует относительно малых допусков, и которые, следовательно, могут требовать особых усилий при изготовлении; это обстоятельство облегчает планирование производства и помогает службе контроля качества при анализе требований к контролю;
- для работников служб снабжения и субподрядчиков упрощается работа по заключению договоров, так как обычная производственная точность известна до заключения контрактов; это устраняет также споры между поставщиком и потребителем при поставках продукции, так как чертежи с точки зрения требований являются полными.

Перечисленные преимущества применения общих допусков будут проявляться в полной мере, если есть уверенность в том, что общие допуски не будут превышены при изготовлении (обычная производственная точность данного производства обеспечивает соблюдение общих допусков, указанных на чертежах).

Поэтому производству рекомендуется:

- определять с помощью измерений, какова для него обычная производственная точность;

– при приемке чертежей обращать внимание на то, чтобы указанные в них общие допуски соответствовали или превышали его обычную производственную точность;

– контролировать выборочно отклонения формы и расположения элементов с общими допусками, чтобы убедиться, что обычная производственная точность не отклоняется от первоначально установленной.

– подход к назначению общих допусков предполагает, что в ряде случаев допуск, вытекающий из функциональных требований, превышает общий допуск. Поэтому случайное превышение общего допуска для какого-либо элемента не всегда приводит к нарушению функции детали.

На рисунке 4.14 показан пример указания общих допусков на чертеже.

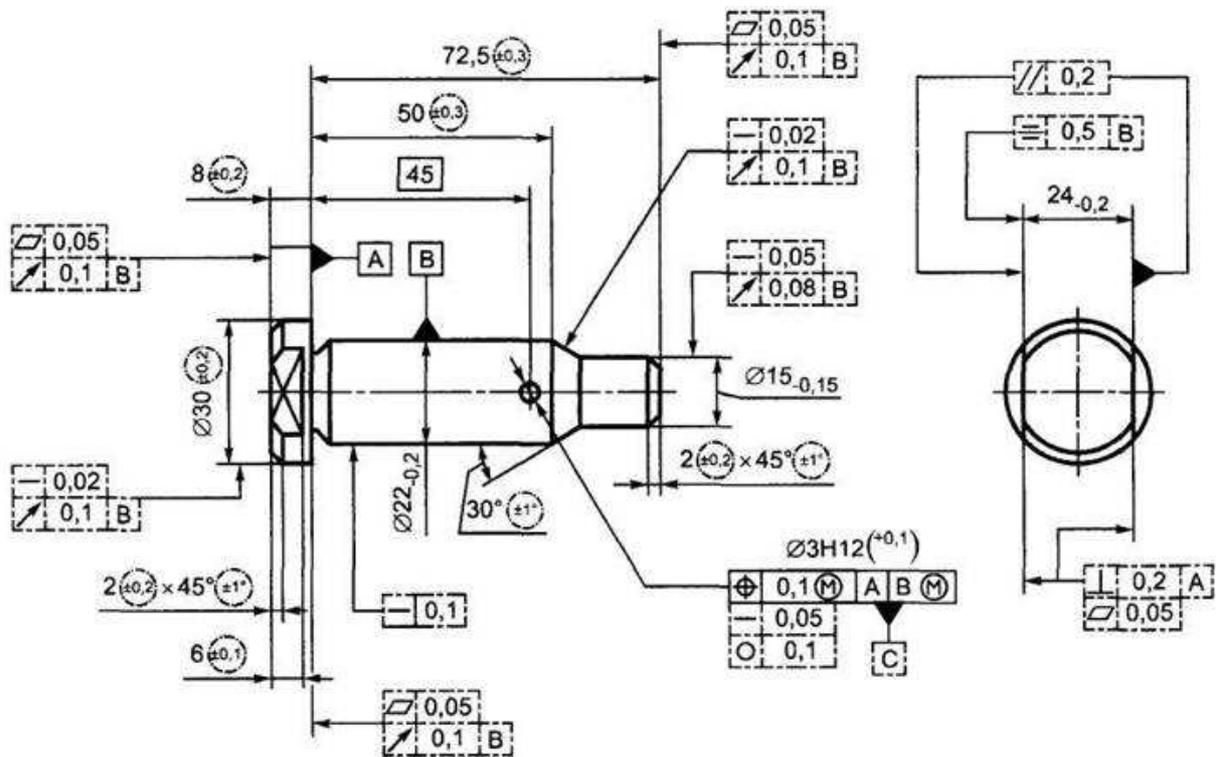


Рис. 4.14. Пример указания общих допусков на чертеже

Допуски, заключенные в окружности или прямоугольные рамки (изображенные штрихпунктирными линиями с двумя штрихами), являются общими. Выход отклонений формы и расположения элемента за общий допуск не должен вести к автоматическому отбраковыванию детали, если не нарушена способность детали к функционированию.

#### 4.5. Шероховатость поверхности

Точность обработки задается техническими условиями и требованиями чертежа. Для получения той или иной точности применяются различные технологические варианты.

Поверхностный слой детали, обработанный на металлорежущих станках или иным путем (литьем, давлением и др.), имеет чередующиеся выступы и впадины разной высоты и формы, сравнительно малых размеров по высоте и шагу. Высота и форма, а также характер расположения и направления неровностей зависят от режима обработки, условий охлаждения и смазки, зернистости инструмента, материала заготовки, жесткости технологической системы.

Поверхностный слой детали при эксплуатации часто испытывает максимальные напряжения, поэтому физико-механические свойства, его микро- и макрогеометрия определяют надежность всей детали. Шероховатость поверхности играет большую роль в подвижных соединениях деталей, в значительной степени влияя на трение и износ. Зазор или натяг, который можно определить при измерении деталей соединения, отличается от эффективного зазора или натяга, имеющего место при сборке и в процессе эксплуатации. Эффективный натяг уменьшается, а эффективный зазор увеличивается тем больше, чем большую шероховатость имеют сопрягаемые поверхности. Уменьшение шероховатости поверхности вносит большую определенность в характер и качество соединений деталей.

Шероховатость поверхности связана и с другими важными показателями изделий, такими как плотность и герметичность соединений, отражательная способность поверхности, контактная жесткость поверхности, прочность сцепления при притирании и склеивании, качество покрытий и т.п. Шероховатость поверхности влияет на точность измерений детали, ее необходимо нормировать, исходя из функционального назначения поверхности детали.

Термины и определения основных понятий, применяемых в науке, технике и производстве, относящихся к шероховатости поверхности, установлены ГОСТ 25142-82. Параметры, характеристики и обозначения шероховатости поверхности регламентированы ГОСТ 2789-73. Стандарт устанавливает перечень параметров и типов направлений неровностей, которые применяются при установлении требований и контроле шероховатости поверхности, числовые значения параметров и общие указания по установлению требований к шероховатости поверхности.

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

Базовая длина  $l$  – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности (рис. 4.15). Числовые значения базовой длины  $l$  выбираются из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

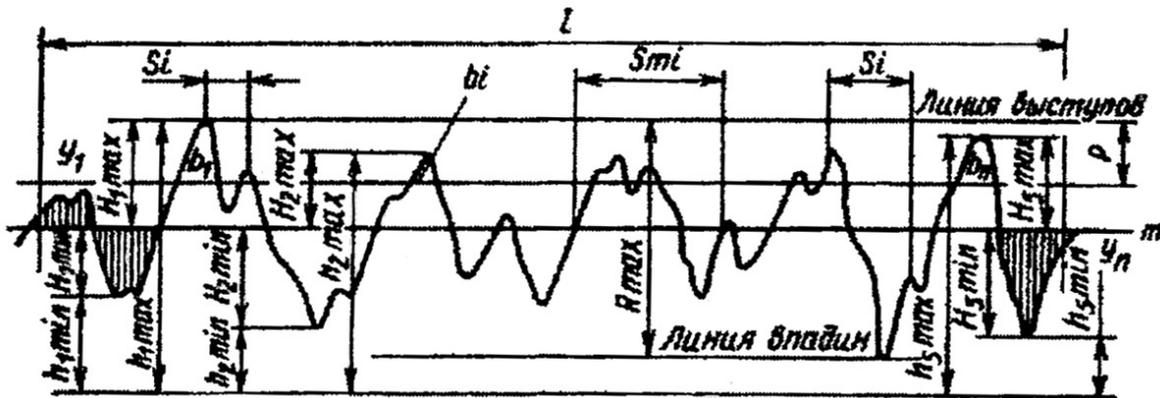


Рис. 4.15. Структура шероховатости поверхности

Требования к шероховатости поверхности устанавливаются путем указания параметра шероховатости (одного или нескольких):

- $R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля;
- $R_z$  – высота неровности профиля по 10 точкам;
- $R_{max}$  – наибольшая высота профиля;
- $S_m$  – средний шаг неровностей;
- $S$  – средний шаг местных выступов профиля;
- $tr$  – относительная опорная длина профиля, где  $p$  – значение уровня сечения профиля.

Значения этих параметров определяются на участке поверхности в пределах базовой длины  $l$ . Наиболее распространенными параметрами высоты неровностей профиля являются  $R_a$  и  $R_z$ . Значения параметров шероховатости для параметра  $R_a$  указывают без символа (например, 0,5), для остальных параметров – после соответствующего символа (например,  $R_{max}$  6,3;  $S_m$  0,63;  $R_z$  32).

Если параметры  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  определены на базовой длине  $l$  в соответствии с нормативной таблицей, то эти базовые длины не указываются в требованиях к шероховатости. Базовую длину в обозначении шероховатости поверхности не указывают.

При необходимости дополнительно к параметрам шероховатости поверхности устанавливаются требования к направлению неровностей поверхности, к способу или последовательности способов получения (обработки) поверхности.

**Параметры шероховатости, связанные с высотными свойствами неровностей:**

**$Ra$**  – среднее арифметическое отклонение профиля. Определяется как среднее арифметическое из абсолютных значений отклонений профиля в пределах базовой длины;

**$Rz$**  – высота неровностей профиля по десяти точкам. Определяется как сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины;

**$Rmax$**  – наибольшая высота профиля – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

**Параметры шероховатости, связанные со свойствами неровностей в направлении длины профиля:**

**$Sm$**  – средний шаг неровностей профиля – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины;

**$S$**  – средний шаг местных выступов профиля – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины.

Числовые значения параметров  $Sm$  и  $S$  принимают в диапазоне от 0,002 до 12,5 мм по ГОСТ 2789-73.

**Параметры шероховатости, связанные с формой неровностей профиля:**

**$tr$**  – относительная опорная длина профиля – отношение опорной длины профиля к базовой длине.

Параметр  $Ra$  является предпочтительным. Числовые значения параметров шероховатости (наибольшие, наименьшие, номинальные)  $Ra$ ,  $Rz$  и  $Rmax$  выбирают из соответствующих таблиц.

Параметры шероховатости поверхностей деталей машин выбирают исходя из функционального назначения данных поверхностей их конструктивных особенностей. При выборе параметров  $Ra$  и  $Rz$  следует помнить, что параметр  $Ra$  дает более полную оценку шероховатости, так как для его определения измеряют и суммируют расстояния большого числа точек действительного профиля до его средней линии, а при определении  $Rz$  только измеряют расстояния между пятью вершинами и пятью впадинами неровностей.

Влияние формы неровностей на эксплуатационные качества детали величиной  $Ra$  оценить нельзя, так как при различных формах неровностей значения  $Ra$  могут быть одинаковыми. Например, профили неровностей, изображенные на рисунке 4.16, имеют зеркально симметричную форму и одинаковые значения параметра  $Ra$ .



Рис. 4.16. Профили неровностей поверхностей, имеющих разную форму, но одинаковые значения  $Ra$

Для лучшей оценки свойств шероховатости необходимо знать ее высотные, шаговые параметры и параметр формы  $tp$ . Требования к шероховатости поверхности должны быть обоснованы и устанавливаться исходя из функционального назначения поверхности. Если в этом нет необходимости, то требования к шероховатости не устанавливаются и шероховатость этой поверхности не контролируется.

Требования к шероховатости поверхности должны устанавливаться указанием числового значения параметра (наибольшего, номинального или диапазона значений) и значений базовой длины  $l$ , на которой происходит определение параметра. В общем случае значение  $l$  выбирают по допустимым  $Ra$ ,  $Rz$  и  $Rmax$  согласно нормативным таблицам. Если параметры  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rmax$  определены на базовой длине в соответствии с таблицей, то эти базовые длины, не указываются в требованиях к шероховатости.

ГОСТ 2.309-73 устанавливает обозначения шероховатости поверхностей и правила нанесения их на чертежах изделий всех отраслей промышленности. Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рисунке 4.17. При наличии в обозначении шероховатости только значения параметра (параметров) применяют знак без полки линии-выноски. В обозначении шероховатости поверхности применяют один из знаков:  $Ra$  или  $Rz$ .

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 конструкции.

Структура обозначения шероховатости поверхности приведена на рисунке 4.17.

При применении знака без указания параметра и способа обработки его изображают без полки.



Рис. 4.17. Структура обозначения шероховатости поверхности

В обозначении шероховатости поверхности применяют один из знаков, изображенных на рисунках 4.18 – 4.20.

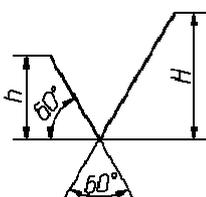


Рис. 4.18. Обозначение шероховатости поверхности без указания способа обработки

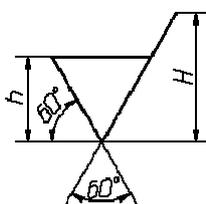


Рис. 4.19. Обозначение шероховатости поверхности при образовании которой обязательно удаление слоя материала

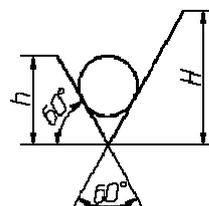


Рис. 4.20 Обозначение шероховатости поверхности при образовании которой осуществляется без удаление слоя материала

Высота  $h$  должна быть приблизительно равна применяемой на чертеже высоте цифр размерных чисел. Высота  $H$  равна  $(1,5...5) h$ . Толщина линий знаков должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной линии, применяемой на чертеже.

В обозначении шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается, применяют знак (см. рис. 4.18).

В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована только удалением слоя материала, применяют знак (см. рис. 4.19).

В обозначении шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала, применяют знак (см. рис. 4.20) с указанием значения параметра шероховатости. Поверхности детали, изготавливаемой из материала определенного профиля и размера, не подлежащие по данному чертежу дополнительной обработке, должны быть отмечены знаком (см. рис. 4.20) без указания параметра шероховатости. Состояние поверхности, обозначенной знаком (см. рис. 4.20) должно соответ-

ствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями, или другим документом.

Значение параметра шероховатости по ГОСТ 2789-73 указывают в обозначении шероховатости после соответствующего символа, например:  $Ra0,4$ ,  $Rz50$ .

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначении приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например:



При указании наименьшего значения параметра шероховатости после обозначения параметра следует указывать «min», например:



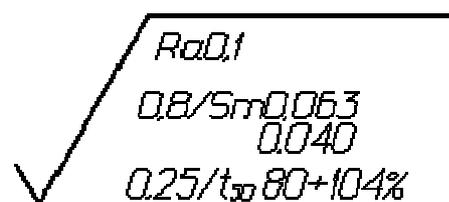
При указании диапазона значений параметра шероховатости поверхности в обозначении шероховатости приводят пределы значений параметра, размещая их в две строки, например:

$$\begin{array}{ccc} Ra\ 0,8 & Rz\ 0,10 & Rmax\ 0,80 \\ 0,4 & 0,05 & 0,32 \end{array}$$

В верхней строке приводят значение параметра, соответствующее более грубой шероховатости.

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

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



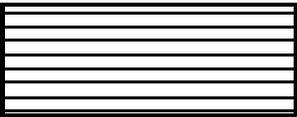
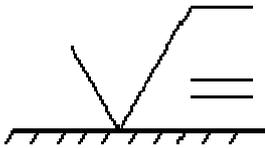
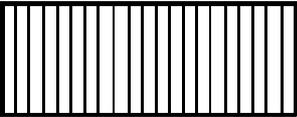
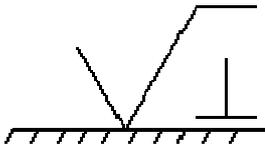
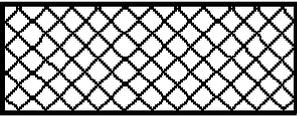
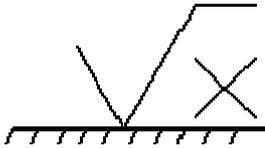
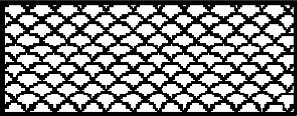
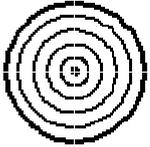
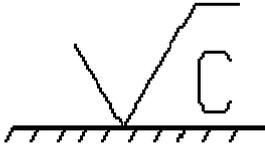
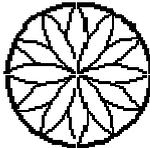
При нормировании требований к шероховатости поверхности параметрами  $Ra$ ,  $Rz$ ,  $Rmax$  базовую длину в обозначении шероховатости не приводят, если она соответствует указанной в ГОСТ 2789-73 для выбранного значения параметра шероховатости.

Условные обозначения направления неровностей должны соответствовать приведенным в таблице 4.6. Условные обозначения направления неровностей приводят на чертеже при необходимости. Высота знака условного обозначения направления неровностей должна быть приблизи-

тельно равна  $h$ . Толщина линий знака должна быть приблизительно равна половине толщины сплошной основной линии.

Таблица 4.6

Тип направление неровностей, изображение и обозначение

Схематичное изображение	Обозначение
	
	
	
	
	
	
	

Вид обработки поверхности указывают в обозначении шероховатости только в случаях, когда он является единственным, применимым для получения требуемого качества поверхности (рис. 4.21).

Допускается применять упрощенное обозначение шероховатости поверхностей с разъяснением его в технических требованиях чертежа по примеру, указанному на рисунке 4.22.



Рис. 4.21. Пример указания вида обработки поверхности

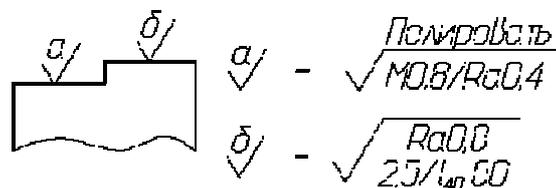


Рис. 4.22. Пример упрощенного обозначения шероховатости поверхностей

В упрощенном обозначении используют знак  $\surd$  и сточные буквы русского алфавита в алфавитном порядке, без повторений и, как правило, без пропусков.

Если направления измерения шероховатости должно отличаться от предусмотренного ГОСТ 2789-73, его указывают на чертеже по примеру, приведенному на рисунке 4.23.

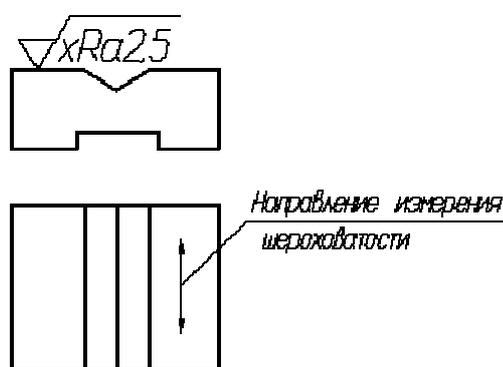


Рис. 4.23. Пример указания направления измерения шероховатости поверхности

#### 4.6. Правила нанесения шероховатости поверхностей на чертежах

Обозначения шероховатости поверхностей на изображении изделия располагают на линиях контура, выносных линиях (по возможности ближе к размерной линии) или на полках линий-выносок. Допускается при недостатке места располагать обозначения шероховатости на размерных линиях или на их продолжениях, а также разрывать выносную линию (рис. 4.24).

На линии невидимого контура допускается наносить обозначение шероховатости только в том случае, когда от этой линии нанесен размер.

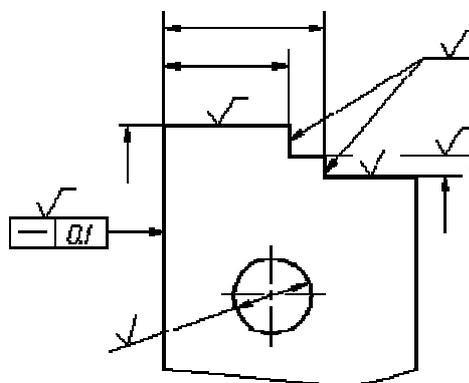


Рис. 4.24. Примеры расположения обозначения шероховатости

Обозначение шероховатости поверхности, в которых знак имеет полку, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на рисунках 4.25 и 4.26.

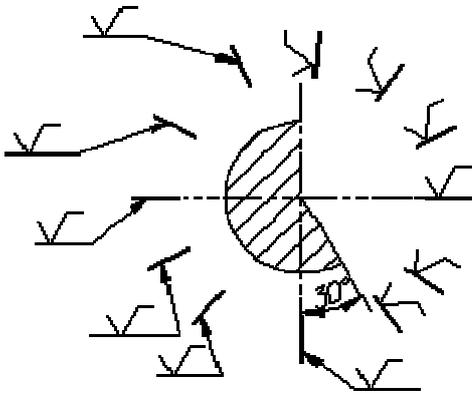


Рис. 4.25. Обозначение шероховатости поверхности знаком с полкой относительно основной надписи

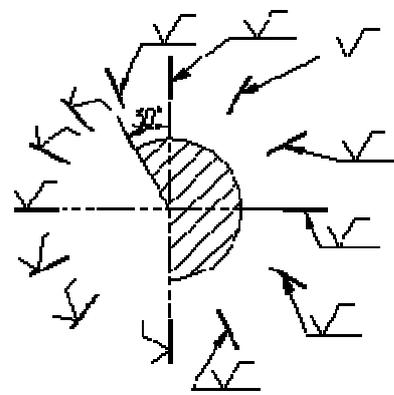


Рис. 4.26. Обозначение шероховатости поверхности знаком с полкой относительно основной надписи

Обозначения шероховатости поверхности, в которых знак не имеет полки, располагают относительно основной надписи чертежа так, как показано на рисунке 4.27.

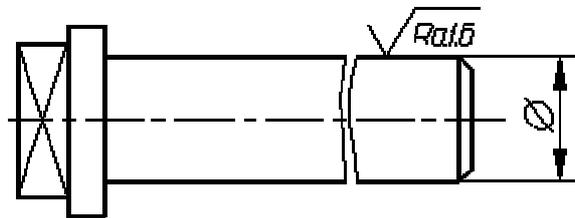


Рис. 4.27. Обозначение шероховатости поверхности знаком без полки относительно основной надписи

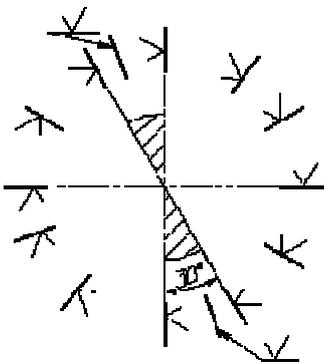


Рис. 4.28. Пример обозначения шероховатости поверхности

При обозначении изделия с разрывом обозначение шероховатости наносят только на одной части изображения, по возможности ближе к месту указания размеров (рис. 4.28).

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей изделия обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рис. 4.29). Размеры

и толщина линий знака в обозначении шероховатости, вынесенном в правый верхний угол чертежа, должны быть приблизительно в 1,5 раза больше, чем на обозначения, нанесенных на изображении.

Обозначение шероховатости, одинаковой для части поверхностей изделия, может быть помещено в правом верхнем углу чертежа (рис. 4.30, 4.31) вместе с условным обозначением  $\sqrt{\quad}$ . Это означает, что все поверхности, на которых на изображении не нанесены обозначения шероховатости или знак  $\sqrt{\quad}$ , должны иметь шероховатость, указанную перед условным обозначением.

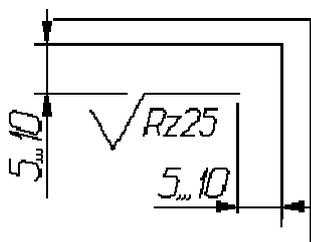


Рис. 4.29. Указание шероховатости одинаковой для всех поверхностей изделия

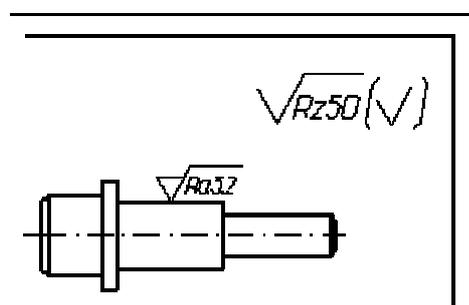


Рис. 4.30. Указание шероховатости одинаковой для части поверхностей изделия

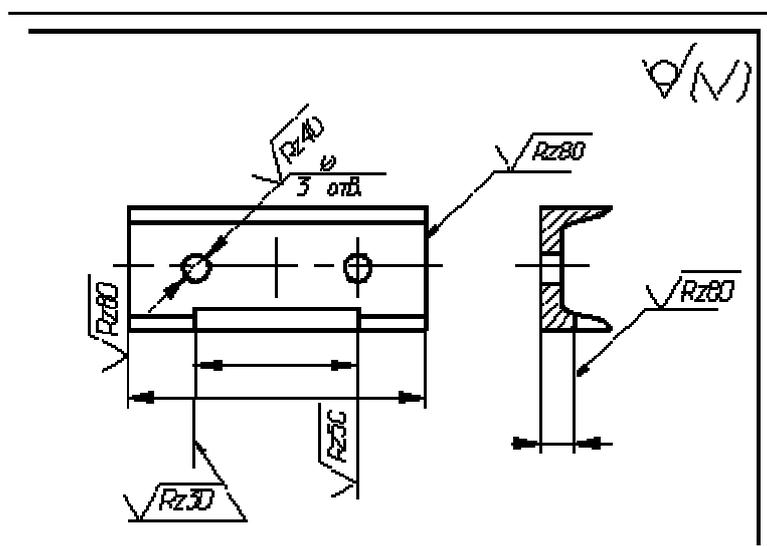


Рис. 4.31. Указание шероховатости, когда большая часть поверхностей не обрабатывается по данному чертежу

Размеры знака, взятого в скобки, должны быть одинаковыми с размерами знаков, нанесенных на изображении.

Обозначение шероховатости поверхностей повторяющихся элементов изделия (отверстий, пазов, зубьев и т.п.), количество которых указано на чертеже, а также обозначение шероховатости одной и той же поверхности наносят один раз, независимо от числа изображений.

Обозначение шероховатости симметрично расположенных элементов симметричных изделий наносят один раз.

Если шероховатость одной и той же поверхности различна на отдельных участках, то эти участки разграничивают сплошной тонкой линией с нанесением соответствующих размеров и обозначения шероховатости (рис. 4.32). Через заштрихованную зону линию границы между участками не проводят (см. рис. 4.32).



Рис. 4.32. Два варианта обозначения различной шероховатости на одной поверхности

Обозначение шероховатости рабочих поверхностей зубьев зубчатых колес, эвольвентных шлицев и т.п., если на чертеже не приведен их профиль, условно наносят на линии делительной поверхности, а для глобоидных червяков и сопряженных для них колес – на линии расчетной окружности (рис. 4.33).

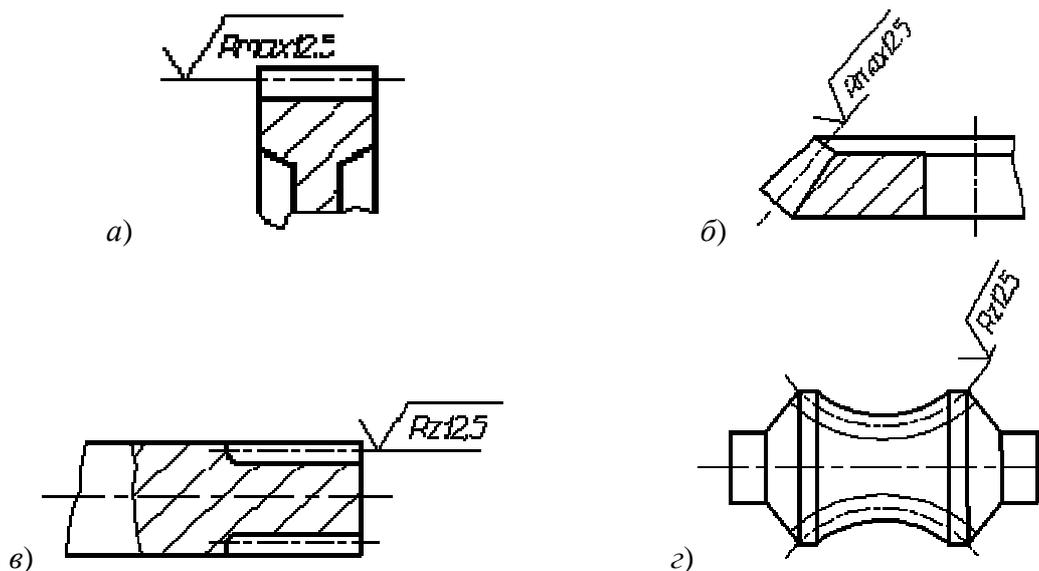


Рис. 4.33. Примеры обозначения шероховатости рабочих поверхностей зубьев: а – цилиндрическое колесо; б – коническое колесо; в – шлицевой вал; з – червяк

Обозначение шероховатости поверхности профиля резьбы наносят по общим правилам при изображении профиля (рис. 4.34) или условно на выносной линии для указания размера резьбы (рис. 4.35...4.38), на размерной линии или на ее продолжении (рис. 4.39).

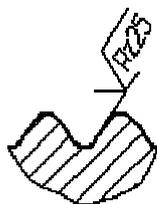


Рис. 4.34. Обозначение шероховатости профиля резьбы

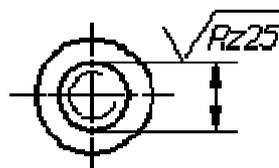


Рис. 4.35. Пример обозначения шероховатости наружной резьбы



Рис. 4.36. Пример обозначения шероховатости наружной резьбы

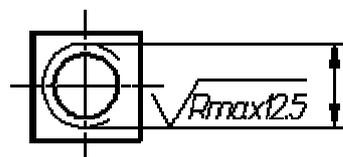


Рис. 4.37. Пример обозначения шероховатости внутренней резьбы

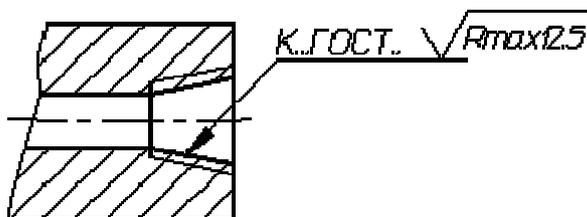


Рис. 4.38. Пример обозначения шероховатости внутренней конической резьбы

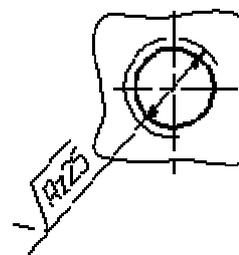


Рис. 4.39. Пример обозначения шероховатости внутренней резьбы

Если учесть, что шероховатость поверхностей, образующих контур, должна быть одинаковой, то обозначение шероховатости наносят один раз в соответствии с рисунком 4.40. Размер вспомогательного знака  $\sqrt{\varnothing}$  4...5 мм.

В обозначении одинаковой шероховатости поверхностей, плавно переходящих одна в другую, вспомогательный знак не приводят (рис. 4.41).



Рис. 4.40. Обозначение одинаковой шероховатости поверхностей, образующих замкнутый контур

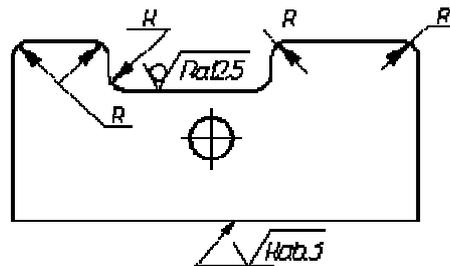


Рис. 4.41. Пример обозначения шероховатости плавно переходящих поверхностей

Обозначение одинаковой шероховатости поверхности сложной конфигурации допускается приводить в технических требованиях чертежа со ссылкой на буквенное обозначение поверхности, например: «шероховатость поверхности  $A - \sqrt{Ra 1.6}$ ». При этом буквенное обозначение поверхности наносят на полке линии-выноски, проведенной от утолщенной штрихпунктирной линии, которой обводят поверхность на расстоянии 0,8...1 мм от линии контура (рис. 4.42).

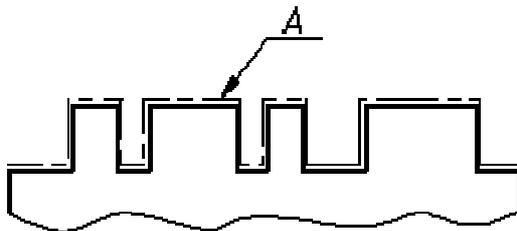


Рис. 4.42. Пример обозначения поверхности сложной формы, имеющей одинаковую шероховатость

## Лекция 5. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

### 5.1. Общие сведения

Подшипник – это опора, которая воспринимает нагрузки и допускает вращение вала либо оси.

*Подшипник качения* (рис. 5.1), это отдельная сборочная единица, которая состоит из наружного 1 и внутреннего 3 колец с дорожками качения, тел качения 2 и сепаратора 4, разделяющего и направляющего тела качения. Иногда для уменьшения радиального габарита подшипник выполняют без одного или обоих колец, и тогда тела качения контактируют непосредственно с валом или корпусом.

Основные стандартные размеры подшипника:  $d$  – внутренний и  $D$  – наружный диаметры;  $B$  – ширина колец.

*Достоинства:*

- малые потери на трение, высокий КПД ( $\eta = 0,995$ ) и незначительный нагрев;
- высокие нагрузочная способность и надежность;
- малые габаритные размеры в осевом направлении;
- высокая степень взаимозаменяемости;
- простота в эксплуатации и обслуживании, малый расход смазки;
- невысокая стоимость при массовом производстве.

*Недостатки:*

- ограниченный ресурс в связи с высокими контактными напряжениями;
- пониженная долговечность при ударных и вибрационных нагрузках;
- ограниченная быстроходность;
- повышенный шум при больших оборотах;
- большие радиальные размеры и неразъемность конструкции;
- ненадежность при работе в агрессивных средах.

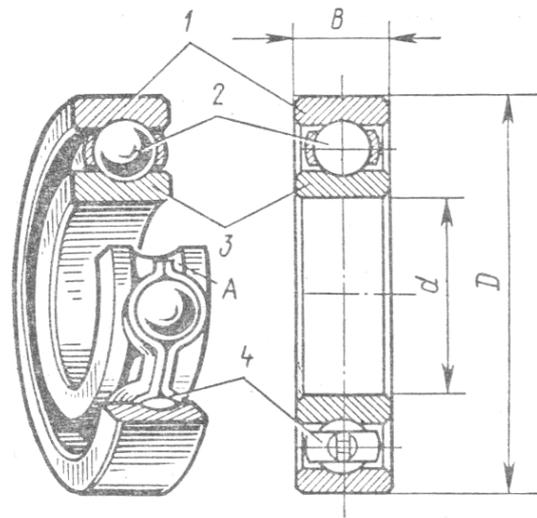


Рис. 5.1. Подшипник качения

**Классификация.** Подшипники качения классифицируются по следующим признакам: по форме тел качения; по направлению действия воспринимаемой нагрузки; по числу рядов тел качения; по конструктивным особенностям.

По форме тел качения подшипники разделяются на шариковые и роликовые (рис. 5.2, 5.3).

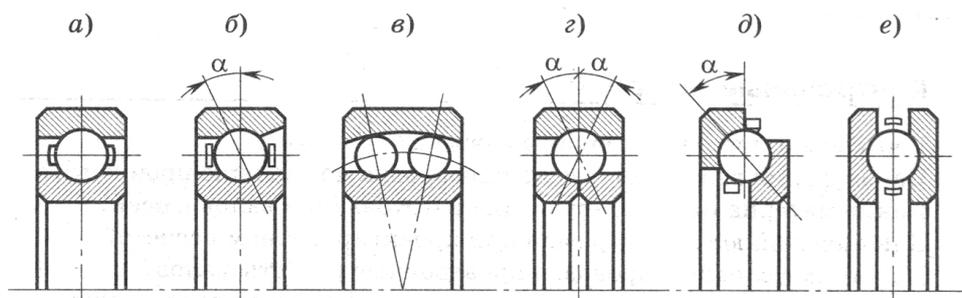


Рис. 5.2. Шариковые подшипники качения: *a* – радиальный; *б* – радиально-упорный; *в* – радиальный двухрядный сферический; *г* – радиально-упорный однорядный четырехточечный; *д* – упорно-радиальный; *е* – упорный

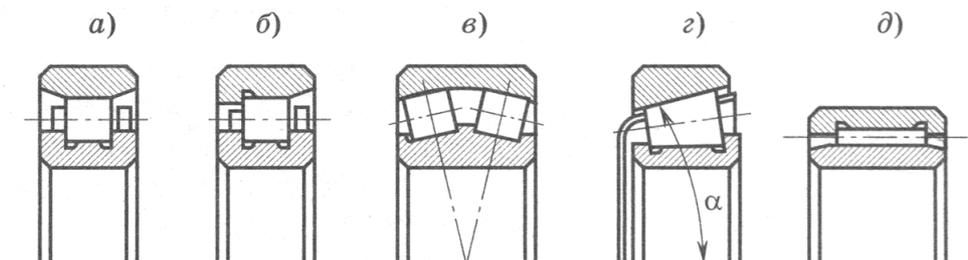


Рис. 5.3. Роликовые подшипники качения: *a, б* – радиальные с короткими цилиндрическими роликами; *в* – радиальный сферический двухрядный; *г* – конический однорядный; *д* – игольчатый

Ролики имеют различную форму и длину (рис. 5.4).

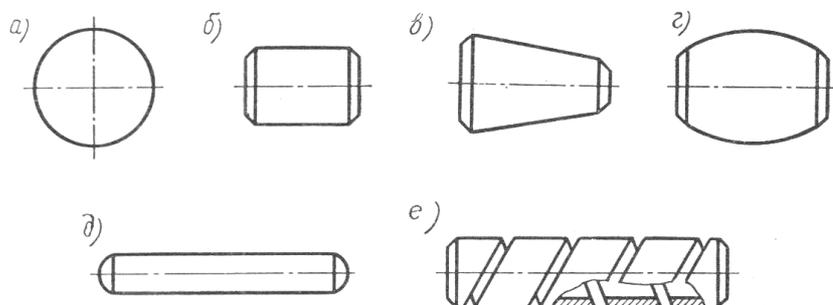


Рис. 5.4. Формы тел качения: *a* – шарик; *б* – ролик цилиндрический короткий; *в* – ролик конический; *г* – ролик бочкообразный; *д* – ролик тонкий длинный (игольчатый); *е* – ролик витой

По направлению действия воспринимаемой нагрузки подшипники качения делятся на радиальные, упорные, радиально-упорные и упорно-радиальные.

По числу рядов тел качения различают подшипники однорядные, двухрядные, трехрядные, четырехрядные и многорядные.

По способности компенсировать перекосы валов подшипники подразделяются на самоустанавливающиеся и несамоустанавливающиеся.

В зависимости от нагрузочной способности и габаритных размеров при одном и том же внутреннем диаметре подшипники разделяют на серии:

- по радиальным размерам: сверхлегкие, особо легкие, легкие, средние и тяжелые серии;
- по ширине: особо узкие, узкие, нормальные, широкие, особо широкие серии.

Примерное соотношение между габаритами различных серий показано на рисунке 5.5. Преимущественное распространение имеют подшипники легкой и средней серий нормальной ширины [2].

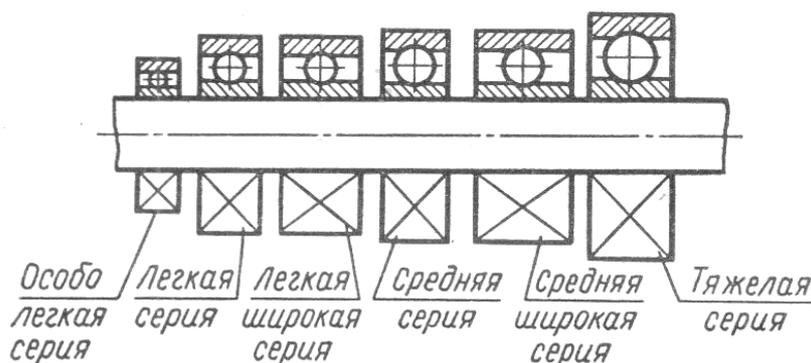


Рис. 5.5. Сравнительные габариты подшипников качения

Основные размеры подшипников качения устанавливает ГОСТ 3478-79. Для различных типов подшипников качения ГОСТ 520-2002 устанавливает классы точности: 8; 7; нормальный; 0; 6X; 6; 5; 4; Т; 2 (в порядке повышения точности). Для большинства узлов применяют подшипники класса точности – нормальный. Подшипники более высоких классов точности используют в узлах с большими скоростями и высокой точностью вращения. Кроме подшипников общего применения выпускают специальные подшипники. К ним относят подшипники теплостойкие, высокоскоростные, малозумные, коррозионно-стойкие, немагнитные, самосмазывающиеся и др. Различают подшипники с нормальным, пониженным и низким уровнем вибрации.

Классы точности определяют:

- допуски размеров, формы и взаимного положения элементов деталей подшипника качения (дорожек качения, тел качения и т.д.);
- допуски размеров и формы посадочных поверхностей наружного и внутреннего колец подшипника качения;
- допустимые значения параметров, характеризующих точность вращения подшипников.

**Условное обозначение.** Внутренний диаметр подшипника качения, его серия, тип, конструктивные особенности и класс точности имеют цифровое условное обозначение, которое наносят на торцевой поверхности колец, как правило, наружных.

Основное обозначение содержит до семи цифр, его читают справа налево. Внутренний диаметр подшипника (диаметр цапфы вала) в его условном обозначении указывается двумя первыми цифрами справа. В диапазоне диаметров  $d = 20...495$  мм эти цифры представляют собой частное от деления диаметра на 5. Для диаметров 10, 12, 15 и 17 мм используются обозначения 00, 01, 02 и 03 соответственно. Для подшипников с внутренним диаметром до 9 мм включительно первая цифра справа указывает фактический внутренний диаметр, вторая цифра – серию диаметров, на третьем месте указывается 0.

Третья цифра условного обозначения указывает серию по наружному диаметру: 1 – особо легкая; 2 – легкая; 3 – средняя; 4 – тяжелая; 5 – легкая широкая; 6 – средняя широкая.

Четвертая цифра определяет тип подшипника качения:

- 0 – радиальный шариковый;
- 1 – радиальный шариковый сферический;
- 2 – радиальный с короткими цилиндрическими роликами;
- 3 – радиальный роликовый сферический;
- 4 – радиальный роликовый с длинными цилиндрическими роликами или игольчатый;
- 5 – радиальный роликовый с витыми роликами;
- 6 – радиально-упорный шариковый;
- 7 – роликовый конический;
- 8 – упорный шариковый;
- 9 – упорный роликовый.

Пятая и шестая цифры указывают в условном обозначении конструктивные особенности подшипников (канавки на наружном кольце, защитные шайбы и др.).

Седьмая цифра справа обозначает серию подшипника по ширине. Нули, стоящие левее последней значащей цифры, опускаются.

Класс точности проставляют на подшипнике перед его условным обозначением и отделяют знаком «тире».

Буквы, проставленные правее от основного условного обозначения, характеризуют отличительные признаки подшипников (изменение металла, конструкции и др.). Например: А – повышенная грузоподъемность подшипника; Б – сепаратор из безоловянистой бронзы; Е – сепаратор из пластических материалов; Ш – специальные требования по шуму; Ю – все или часть деталей из коррозионно-стойкой стали.

## 5.2. Характеристика основных типов подшипников

Если нагрузка на подшипник направлена перпендикулярно оси вращения кольца, то ее называют радиальной  $F_r$ , а подшипники, предназначенные для восприятия таких нагрузок, – радиальными. В случае когда нагрузка на подшипник направлена под углом к оси вращения, ее можно разложить на радиальную  $F_r$  и осевую  $F_\alpha$ . Для восприятия подобных нагрузок существуют подшипники, которые в зависимости от соотношения  $F_\alpha/F_r$  по мере его роста называют радиально-упорными или упорно-радиальными. Если нагрузка на подшипник направлена по оси вращения кольца, то ее называют осевой, а подшипники, предназначенные для восприятия таких нагрузок, – упорными. Ось вращения тел качения этих подшипников перпендикулярна оси вращения колец.

### *Радиальные подшипники*

*Радиальный шариковый однорядный подшипник* (см. рис. 5.2, а) воспринимает в основном радиальную силу и небольшую осевую силу любого направления при большой частоте вращения. Устанавливают на жестких двухопорных валах и фиксируют положение вала относительно корпуса в двух осевых направлениях. Поскольку перекося колец может вызвать местную перегрузку шариков и дорожки качения, а также увеличение шума, то взаимный перекося колец должен быть минимальным ( $2' \dots 10'$ ). Сепараторы выполняют в основном штампованными из низкоуглеродистой стали и центрируют по телам качения. Подшипники могут иметь уплотнения с одной или с двух сторон и, как правило, заполняются пластичной смазкой. Имеют несколько конструктивных особенностей, в частности внутреннее коническое отверстие.

*Радиальный шариковый сферический подшипник* (см. рис. 5.2, в) состоит из двух рядов шариков, внутреннего кольца с двумя дорожками качения и наружного с одной сферической дорожкой качения, что позволяет внутреннему кольцу с комплектом шариков поворачиваться вокруг центра подшипника, т.е. самоустанавливаться. Такие подшипники предназначены для восприятия радиальных и небольших осевых нагрузок, т.е. фиксируют вал в обоих направлениях. При качательных движениях работают лучше, чем радиальные однорядные шариковые. Их применяют в случаях, когда соосность посадочных мест труднодостижима или когда имеется прогиб валов под нагрузкой при значительном расстоянии между опорами. Возможный допустимый перекос осей находится в пределах  $2,5...3^\circ$ . Подшипники могут иметь цилиндрическое или коническое отверстие внутреннего кольца с конусностью 1:12. Сепараторы изготавливают стальными штампованными, но могут быть выполнены и из стеклонеполненного полиамида. В высокоточных подшипниках применяют массивные латунные сепараторы.

*Радиальный роликовый подшипник с короткими цилиндрическими роликами* (см. рис. 5.3, а) предназначен для восприятия только радиальных сил, имеет более высокую грузоподъемность, чем шариковый радиальный. Требуется точной соосности посадочных мест, перекос не должен превышать  $4'$ . Цилиндрические тела качения ведутся беговыми дорожками колец, борта которых предотвращают перекос роликов, как и сепаратор, удерживающий ролики с данным кольцом, даже если съемное кольцо вынуть из подшипника. Поэтому кольца подшипников могут в определенных пределах по отношению друг к другу перемещаться в обе стороны в осевом направлении, что происходит, например, при температурных изменениях валов. Однорядные роликоподшипники имеют несколько конструктивных разновидностей.

Специальную группу представляют двухрядные роликоподшипники с короткими цилиндрическими роликами. Особенностью этих подшипников является расположение роликов, оси которых в одном ряду имеют смещение относительно роликов в другом ряду. Это способствует созданию повышенной жесткости в радиальном направлении и плавности вращения. Сепараторы исполняют как штампованными из низкоуглеродистой стали, так и массивными из латуни, бронзы, графитизированной стали или полиамида, которые центрируют по двухбортовому кольцу.

*Радиальный роликовый сферический подшипник* (см. рис. 5.3, в) предназначен для тяжелых нагрузок, главным образом радиальных, но могут

воспринимать и осевую нагрузку определенной величины. Сферический роликоподшипник имеет два ряда тел качения, и благодаря сферической поверхности беговой дорожки наружного кольца обладает способностью самоустановки и может работать при угле перекоса оси внутреннего кольца не более  $2,5^\circ$  относительно оси наружного, образывающегося или в результате прогиба вала под действием нагрузки, или вследствие технологических неточностей обработки и сборки узла. Подшипники устанавливают на тяжело нагруженных многоопорных валах, которые подвержены значительным прогибам, обусловленным внешними нагрузками, на валах с нагрузкой на консоли. Сферические подшипники применяют также в опорах насосов, мощных вентиляторов, редукторов и других машин, где действуют большие радиальные нагрузки и неизбежна несоосность посадочных мест. Их изготавливают как с цилиндрическим, так и с коническим отверстием. Массивные сепараторы изготавливают из латуни и полиамида, штампованные – из низкоуглеродистой стали.

*Радиальный роликовый подшипник с длинными цилиндрическими роликами (игольчатый)* (см. рис. 5.3, д) применяют при ограниченных радиальных размерах для восприятия радиальных нагрузок. Отношение длины игольчатого ролика к его диаметру лимитируется значением 8:1, с ростом скорости оно снижается и принимается, как правило, 4:1. При необходимости сохранения большой грузоподъемности и скоростных качеств в игольчатых подшипниках с сепаратором игольчатый ролик разделяют по длине на два ряда.

Модификации конструкций многообразны. Подшипники с полным заполнением игольчатыми роликами, т.е. без сепаратора с массивными кольцами, обычно применяют при очень высоких радиальных нагрузках. Благодаря большой статической грузоподъемности они могут воспринимать перегрузки, удары, вибрации. Подшипники без внутреннего кольца, наружные кольца которых изготовлены из закаленной листовой стали, позволяют при необходимости предельно уменьшить радиальные габариты узла. В данном случае поверхности роликовых дорожек сопрягаемого изделия должны быть выполнены с учетом требований по точности формы, твердости и шероховатости поверхности на уровне требований колец подшипников. Применяются и комбинированные игольчатые подшипники, представляющие собой комбинацию однорядного игольчатого роликоподшипника и упорного шарикоподшипника.

*Радиальный роликовый подшипник с витыми роликами* (рис. 5.6) предназначен для восприятия радиальных нагрузок, в том числе и ударного характера, при небольших частотах вращения.

### **Радиально-упорные подшипники**

*Радиально-упорный шариковый подшипник* (рис. 5.7, б) предназначен для восприятия радиальной и осевой нагрузок. Беговые дорожки в обоих кольцах выполнены так, что линия, соединяющая точки контакта шарика с кольцами, образует с плоскостью, перпендикулярной оси подшипника, определенный угол. С ростом данного угла контакта возрастает осевая грузоподъемность подшипника. У обычных конструкций однорядных подшипников угол контакта составляет  $12...36^\circ$ . По скоростным возможностям радиально-упорные подшипники с углом контакта  $12^\circ$  не уступают радиальным однорядным шарикоподшипникам. Увеличение угла контакта снижает их быстроходность. Подшипники способны воспринимать осевую нагрузку только в одном направлении, поэтому для фиксации вала в обе стороны их устанавливают по два на вал по различным схемам (*O* и *X*) (рис. 5.7). При комплектовании подшипников по схеме *O* (рис. 5.7, а) наружные кольца обращены друг к другу широкими торцами, т.е. линии углов контакта пересекают осевую линию подшипника в точках, расстояние между которыми больше, чем по схеме *X* (рис. 5.7, б). Вследствие этого опора, выполненная по схеме *O*, имеет повышенную жесткость и может быть нагружена большим моментом силы в осевой плоскости. При комплектовании подшипников по схеме *X* наружные кольца обращены друг к другу узкими торцами. Допускаемая радиальная нагрузка для спаренного подшипника больше, чем для соответствующего однорядного, в 1,8 раза, осевая нагрузка в обе стороны такая же, что и у однорядного подшипника.

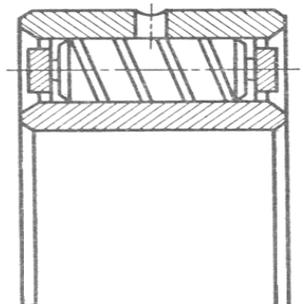


Рис. 5.6. Радиальный роликовый подшипник с витыми роликами

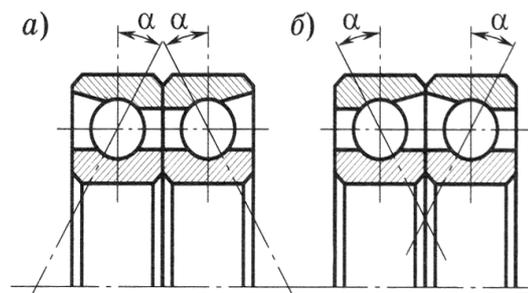


Рис. 5.7. Сдвоенные шариковые Радиально-упорные подшипники по схеме:  
а – *O*; б – *X*

*Подшипник с разъемным внутренним кольцом* (см. рис. 5.2, *г*) в зависимости от формы дорожек качения имеет трехточечный или четырехточечный контакт шарика с кольцами и воспринимает радиальную и двухстороннюю осевую нагрузку.

*Радиально-упорный подшипник с коническими роликами* (см. рис. 5.3, *г*). Тела качения представляют собой конические ролики, большой торец которых прижимается к борту внутреннего кольца. Конические роликовые дорожки и ролики имеют общую вершину конуса на оси подшипника. Если указанное условие нарушено, подшипник будет работать кинематически неправильно, с большим внутренним проскальзыванием, что приведет к его нагреву. Упорную поверхность направляющего борта внутреннего кольца выполняют сферической, как и контактирующий большой торец ролика. Ролики прижимаются к упорному борту вследствие возникающей осевой составляющей силы и направляются им даже при действии чисто радиальной нагрузки. Функции направления роликов способствует также сепаратор, который препятствует перекосу роликов. Конический роликоподшипник воспринимает осевую нагрузку только в одном направлении. Поэтому подшипники чаще монтируют попарно и соответственно регулируют.

Конические подшипники выполняют разъемными, что позволяет проводить отдельный монтаж и демонтаж наружных и внутренних колец. Данные роликоподшипники обладают значительной грузоподъемностью в радиальном и осевом направлениях. Осевая грузоподъемность зависит от угла контакта. При его увеличении растет осевая и уменьшается радиальная грузоподъемность подшипника. Для большинства типов конических роликоподшипников угол контакта равен  $10...17^\circ$ , но для нагрузок, которые действуют преимущественно в осевом направлении, имеются конические роликоподшипники с углом контакта  $25...30^\circ$ .

#### ***Упорно-радиальные подшипники***

*Шариковый* (см. рис. 5.2, *д*) и *роликовый упорно-радиальные подшипники* предназначены для восприятия значительной осевой и небольшой радиальной нагрузки. Этот тип подшипников постепенно приходит на смену упорным подшипникам, прежде всего, в быстроходных машинах.

#### ***Упорные подшипники***

*Упорный шариковый одинарный подшипник* (см. рис. 5.2, *е*) воспринимает осевые силы только в одном направлении. Подшипники одностороннего действия имеют один ряд шариков, которые находятся между двумя кольцами – так называемым тугим кольцом, монтируемым на валу, и свободным кольцом, устанавливаемым в корпусе. Подшипники двухсто-

ронного действия состоят из трех колец, среднее из которых является ту-гим. Предельные частоты вращения упорных подшипников ограничены и не допускают перекоса колец. Применяют их в тихоходных редукторах, поворотных устройствах и др.

Для передачи больших осевых усилий существуют конструкции упорно-радиальных многорядных подшипников с числом рядов до 15...20 (рис. 5.8). Наружные и внутренние кольца подшипников имеют беговые дорожки в форме конических скосов. Каждый ряд разделен дистанционными кольцами. Они используются в оборудовании для бурения нефтяных и других скважин.

Имеются конструкции упорных роликоподшипников с цилиндрическими, коническими и сферическими роликами (рис. 5.9). Упорные роликоподшипники с цилиндрическими роликами пригодны для очень низкой частоты вращения, но они воспринимают значительные осевые и ударные нагрузки в жестких опорах с небольшими габаритными размерами. В упорных роликоподшипниках с коническими роликами вершины конусов обычно пересекаются в одной точке на оси подшипника (рис. 5.9, а). Для низкой частоты вращения или колебательных движений подшипник можно использовать без сепаратора, для средней частоты вращения применяют сепараторы. Имеют большую грузоподъемность. В упорно-радиальных сферических роликоподшипниках (рис. 5.9, б) нагрузка передается под углом относительно оси подшипника, поэтому они воспринимают и значительную радиальную нагрузку. Имеют сравнительно высокую частоту вращения. Применяют в компрессорах, масляных насосах, нефтяном оборудовании.

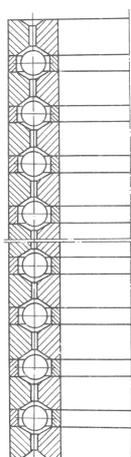


Рис. 5.8. Многорядный радиально-упорный подшипник

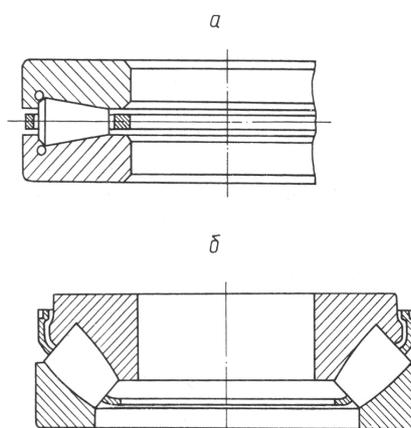


Рис. 5.9. Упорные роликоподшипники:  
а – с коническими роликами;  
б – со сферическими роликами

### 5.3. Конструкции подшипниковых узлов

Подшипниковые узлы, кроме собственно подшипников, включают в себя корпус с крышками, устройства для крепления колец, защитные, уплотнительные устройства и др. Они фиксируют вал в радиальном и осевом направлении, предохраняют тела качения от защемления, обеспечивают возможность регулировки зубчатых зацеплений и зазоров в самих подшипниках как при монтаже, так и в процессе эксплуатации, обеспечивают удержание смазочного материала, предохраняют подшипник от пыли и влаги.

**Крепление подшипников на валах.** На рисунке 5.10 приведены способы крепления подшипников на валу, которые применяют при нагружении вала значительной осевой силой в обоих направлениях. Надежное крепление подшипника осуществляют *круглой шлицевой гайкой* (рис. 5.10, а), которую от самопроизвольного отвинчивания стопорят многолапчатой шайбой. Стопорная шайба имеет один внутренний выступ и шесть наружных выступов-лапок. Внутренний выступ шайбы заходит в специально выполненный паз на валу, а один из ее наружных выступов отгибают в шлиц гайки.

Надежно и достаточно просто крепление *концевой шайбой* (рис. 5.10, б). При этом штифт фиксирует шайбу от поворота относительно вала. Концевые шайбы центрируют либо по отверстию подшипника (рис. 5.10, в), либо по валу (рис. 5.10, г).

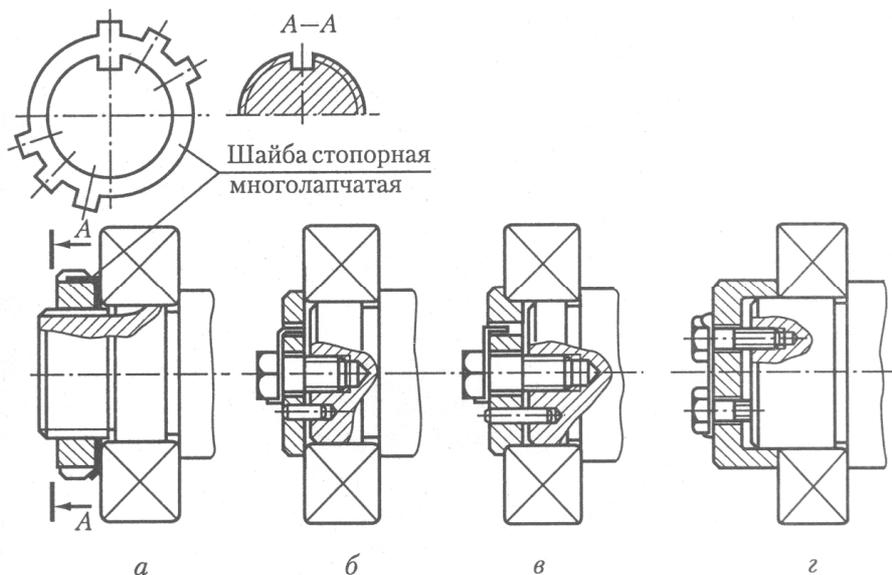


Рис. 5.10. Крепление подшипников на валах:  
а – круговой шлицевой гайкой; б, в, г – концевой шайбой

Достаточно часто встречается способ крепления подшипников с помощью пружинных упорных плоских колец (рис. 5.11, *в...д*). Так как при установке упорного кольца возможно возникновение зазора, то его устраняют компенсаторным кольцом, установленным между упорным кольцом и подшипником (рис. 5.11, *б*). Пружинное упорное плоское кольцо может воспринимать значительную осевую нагрузку.

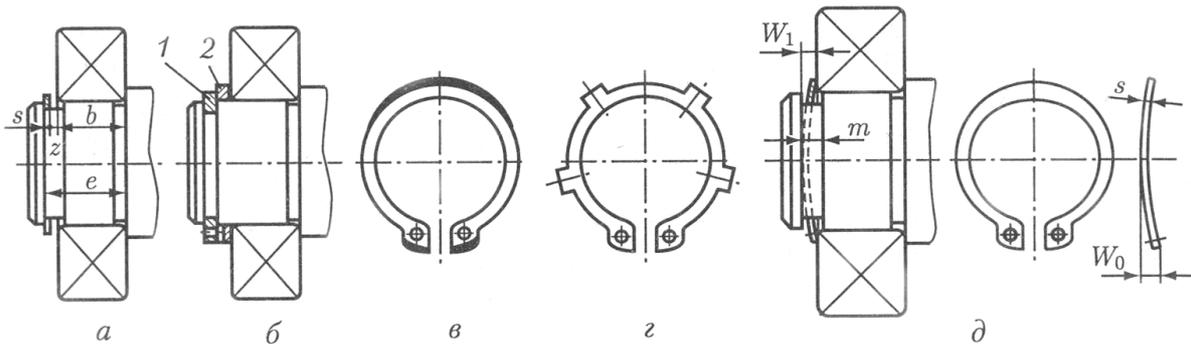


Рис. 5.11. Крепление подшипников на валах пружинным упорным плоским кольцом:  
*а* – установочные размеры кольца; *б* – постановка дополнительного компенсаторного кольца 2; *в, г, д* – форма колец

*Создание упорных заплечиков на валу.* Для того чтобы внутреннее кольцо подшипника было установлено на валу точно, без перекоса, его необходимо поджимать при сборке к заплечику вала или к торцу детали, установленной на валу. Если по каким-либо причинам не удастся создать заплечик вала требуемой высоты, то используют следующие варианты:

- между заплечиком вала и кольцом подшипника ставят промежуточное кольцо необходимой высоты (рис. 5.12, *а*);
- создают заплечик установкой пружинного упорного плоского кольца в канавку вала (рис. 5.12, *б*);
- устанавливают дополнительное кольцо 1, улучшающее контакт подшипника с пружинным кольцом (рис. 5.12, *в*);
- на канавку на валу устанавливают два полукольца Г-образного или прямоугольного сечения, которые от выпадания удерживают: внутреннее кольцо подшипника (рис. 5.12, *г*), пружинное кольцо (рис. 5.12, *д*), неразъемное кольцо (рис. 5.12, *е, ж*).

**Крепление подшипников в корпусе.** Наиболее распространенные способы крепления подшипников в корпусе показаны на рисунке 5.13.

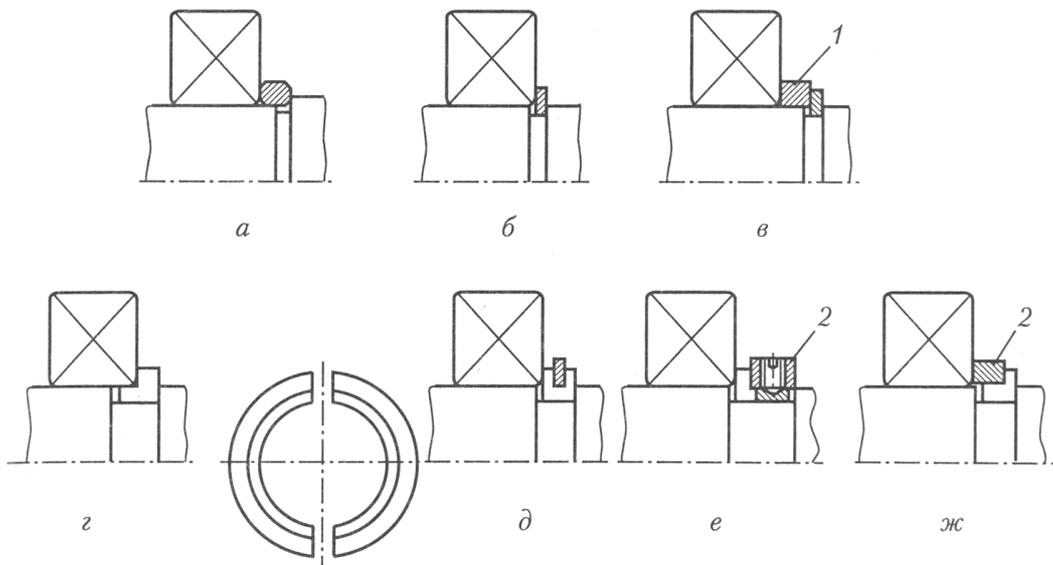


Рис. 5.12. Конструктивное оформление упорных заплечиков на валу

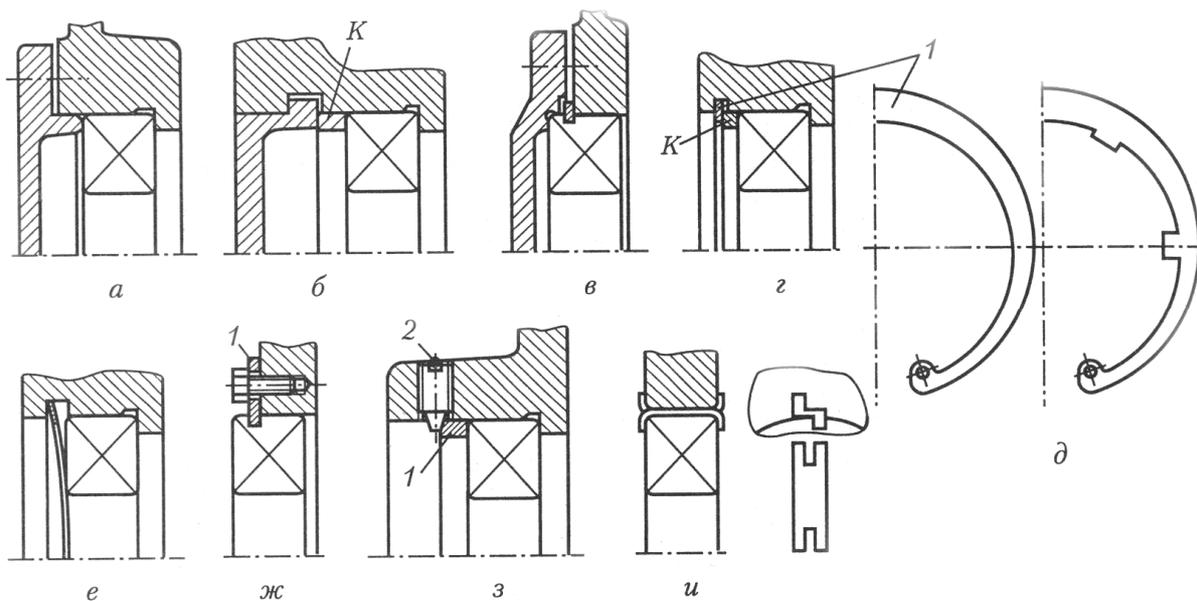


Рис. 5.13. Способы крепления подшипников качения в корпусе:  
*а* – привертной крышкой; *б* – закладной крышкой; *в, г, д* – пружинным упорным плоским кольцом; *е* – пружинным изогнутым стопорным кольцом;  
*ж, з* – установочными винтами; *и* – пластиной с разводящими концами

Достаточно простой и надежный способ закрепления подшипника в корпусе *привертной* или *закладной крышкой* показан на рисунках 5.13, *а, б*. Для закрепления подшипника в корпусе используют *пружинное упорное плоское кольцо* (рис. 5.13, *в, г*); *установочные винты* (рис. 5.13, *ж, з*); *пластины с разводящими концами* (рис. 5.13, *и*).

Все приведенные способы крепления подшипника в корпусе более или менее равноценны.

Долговечность подшипников качения определяют величиной и характером нагрузки, точностью изготовления, правильной посадкой на вал и в отверстие корпуса, качеством монтажа.

#### 5.4. Монтаж и демонтаж подшипников

При установке или демонтаже подшипников на вал и в корпус обязательным является выполнение следующего условия: *осевую силу необходимо прикладывать непосредственно к тому кольцу, которое напрессовывают или снимают*. Недопустимо силу при монтаже или демонтаже подшипника передавать через тела качения.

На рисунке 5.14 показаны возможные способы установки подшипников на вал, в корпус и одновременно на вал и в корпус.

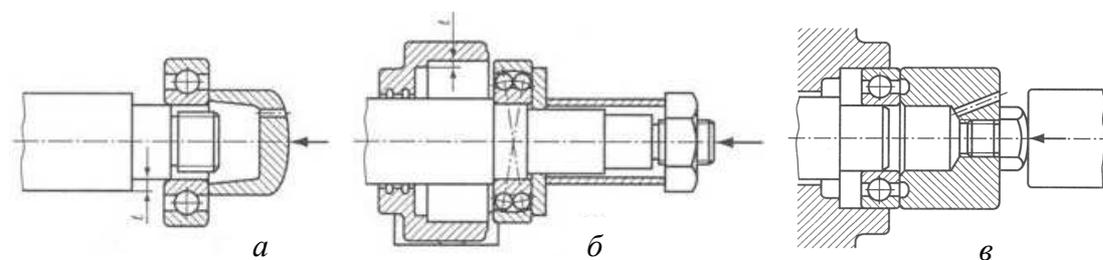


Рис. 5.14. Способы монтажа подшипников:  
*a* – на вал; *б* – в корпус; *в* – на вал и в корпус одновременно

Для демонтажа подшипников используют винтовые съемники с двумя (рис. 5.15, *a*) или тремя откидными тягами (рис. 5.15, *б*).

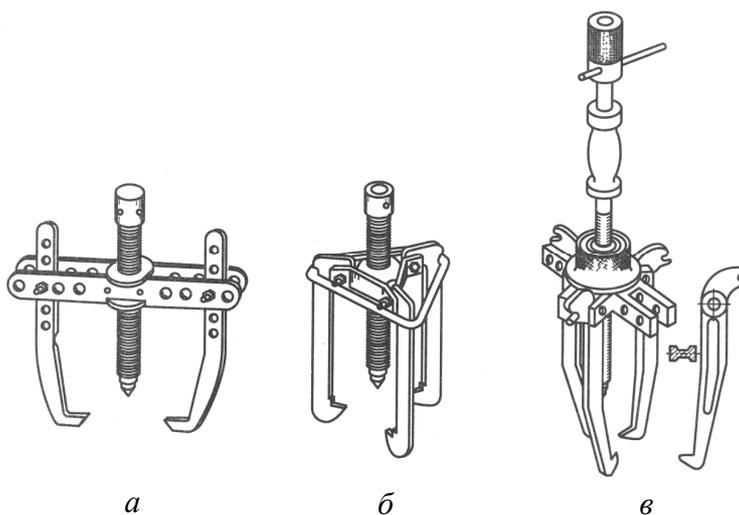


Рис. 5.15. Винтовые съемники:  
*a* – с двумя тягами; *б* – с тремя тягами

При удалении подшипника из корпуса его нужно захватить за наружное кольцо, а при снятии с вала – за внутреннее (рис. 5.16).

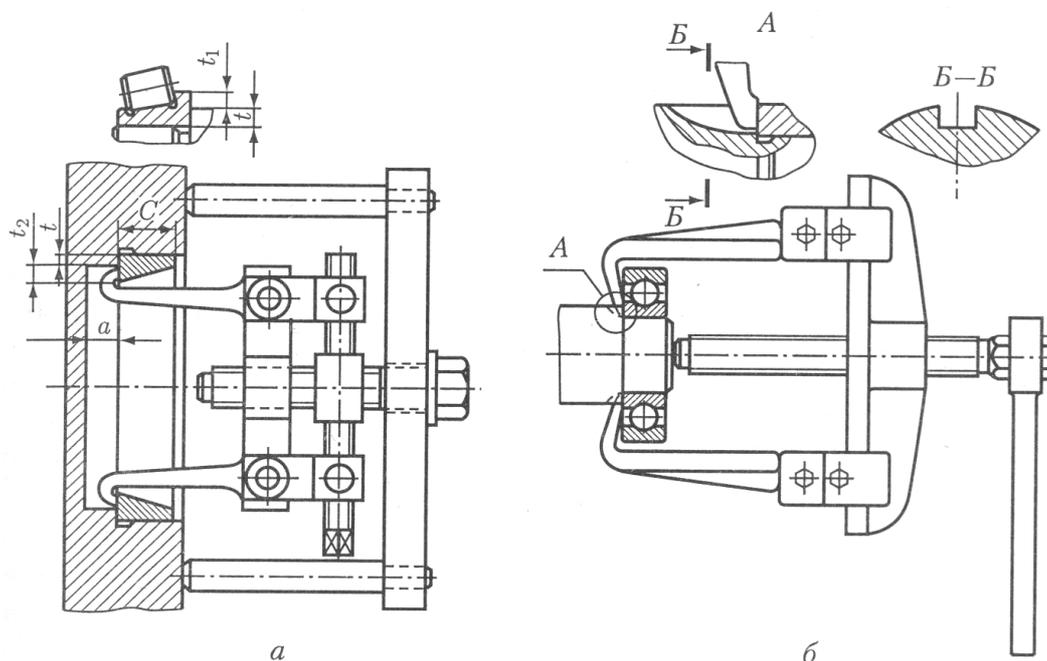


Рис. 5.16. Установка винтового съемника при:  
*а* – удалении из корпуса; *б* – снятии с вала

### 5.5. Посадки подшипников

**Назначение полей допусков вала и отверстия в корпусе при установке подшипников качения.** В зависимости от точности изготовления и сборки для различных типов подшипников установлены соответствующие классы точности (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Категории и классы точности подшипников

Категория	Класс точности									Дополнительные требования
	8	7	0	6Х	6	5	4	2	T	
<i>A</i>	–	–	–	–	–	+	+	+	+	По уровню вибрации По форме поверхностей качения По одному из перечисленных в стандарте параметров на выбор
<i>B</i>	–	–	+	+	+	+	–	–	–	По одному из перечисленных в стандарте параметров на выбор
<i>C</i>	+	+	+	–	+	–	–	–	–	Не предъявляются

Дополнительные технические требования к подшипникам качения устанавливаются тремя категориями: *A*, *B*, *C*.

Обозначение подшипников категорий *A* и *B*:

*A125-205*, где *A* – категория; *1* – ряд момента трения; *2* – группа радиального зазора; *5* – класс точности; *205* – номер подшипника.

Обозначение подшипников категории *C* (в обозначении категорию *C* не указывают):

*6-205*, где *6* – 6-й класс точности; *205* – номер подшипника.

*205*, где *205* – номер подшипника; нормальный класс точности (в обозначении не указывают).

На рисунке 5.17 показана схема расположения рекомендуемых полей допусков посадочных размеров для подшипников классов точности нормальный и 6.

Из схемы видно, что поля допусков для внутреннего и наружного колец подшипника качения расположены одинаково относительно нулевой линии: верхнее отклонение равно 0, нижнее – отрицательное.

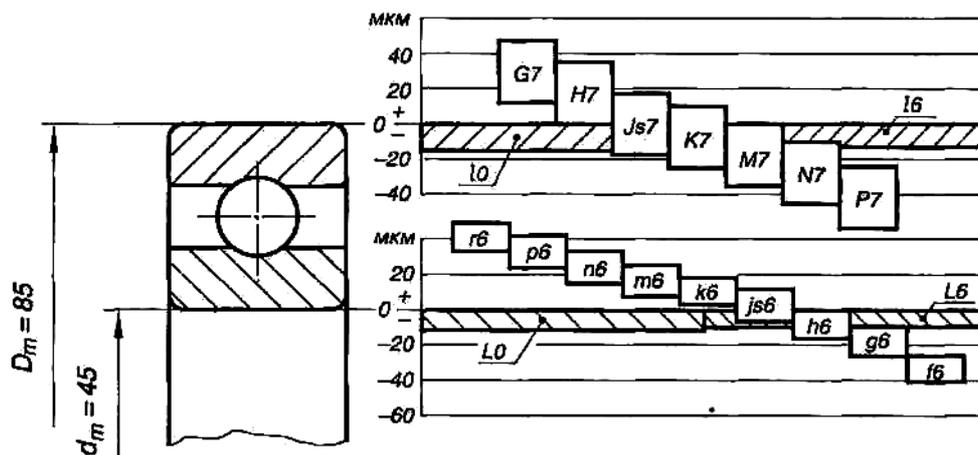


Рис. 5.17. Схемы расположения рекомендуемых полей допусков посадочных размеров внутренних и наружных колец подшипника

Валы с полями допусков *r6*, *p6*, *n6*, *m6*, *k6* при сопряжении с внутренним кольцом подшипника обеспечивают посадки с натягом.

Вследствие повышенных требований к форме посадочных поверхностей подшипников стандартом устанавливаются следующие поля допусков:

1. Поля допусков на средние диаметры  $D_m$  и  $d_m$ , которые ограничивают значения средних диаметров колец, равных  $D_m = (D_{max} + D_{min}) / 2$  и  $d_m = (d_{max} + d_{min}) / 2$ , где  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $d_{min}$  выбираются из ряда измерений в разных сечениях соответственно наружного и внутреннего диаметров. Обозначаются поля допусков, например, у подшипников нулевого класса – *l0* для наружного кольца и *L0* – для отверстия внутреннего кольца (см. рис. 5.17).

2. Поля допусков для ограничения самих  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $d_{min}$ , значения которых больше на величину допустимой погрешности формы.

При выборе полей допусков на вал и отверстие под внутреннее и наружное кольца подшипника необходимо учитывать следующее:

- класс точности подшипника качения;
- вид нагружения колец подшипника;
- тип подшипника;
- режим работы подшипника;
- геометрические размеры подшипника.

Практикой установлено, что соединение с валом или корпусом колец, вращающихся относительно нагрузки, должно быть осуществлено обязательно с натягом, исключающим проворачивание и обкатывание кольцом сопряженной детали и, как следствие, развальцовку посадочных поверхностей и контактную коррозию.

Посадки неподвижных относительно нагрузки колец назначают более свободными, допускающими наличие небольшого зазора, так как обкатывание кольцами сопряженных деталей в этом случае не происходит. Нерегулярное проворачивание невращающегося кольца件лезно, так как при этом изменяется положение его зоны нагружения. Кроме того, такое сопряжение облегчает осевые перемещения колец при монтаже, при регулировании зазоров в подшипниках и при температурных деформациях валов.

Подшипник является основным комплектующим изделием, не подлежащим в процессе сборки дополнительной доводке. Требуемые посадки в соединении подшипника качения получают назначением соответствующих полей допусков на диаметры вала и отверстия в корпусе.

**Влияние класса точности подшипника качения на выбор посадок.** Как видно из схемы полей допусков (см. рис. 5.17), для подшипников классов точности нормальный и 6 рекомендуемый набор полей допусков посадочных поверхностей одинаков. Для более высоких классов точности подшипников качения набор полей допусков посадочных поверхностей несколько изменяется, в частности, применяются поля допусков более точных квалитетов.

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

*Первая типовая схема* (рис. 5.18). Внутренние кольца подшипников вращаются вместе с валом, наружные кольца, установленные в корпусе, не подвижны. Радиальная нагрузка  $P$  постоянна по величине и не меняет своего положения относительно корпуса (рис. 5.18, а).

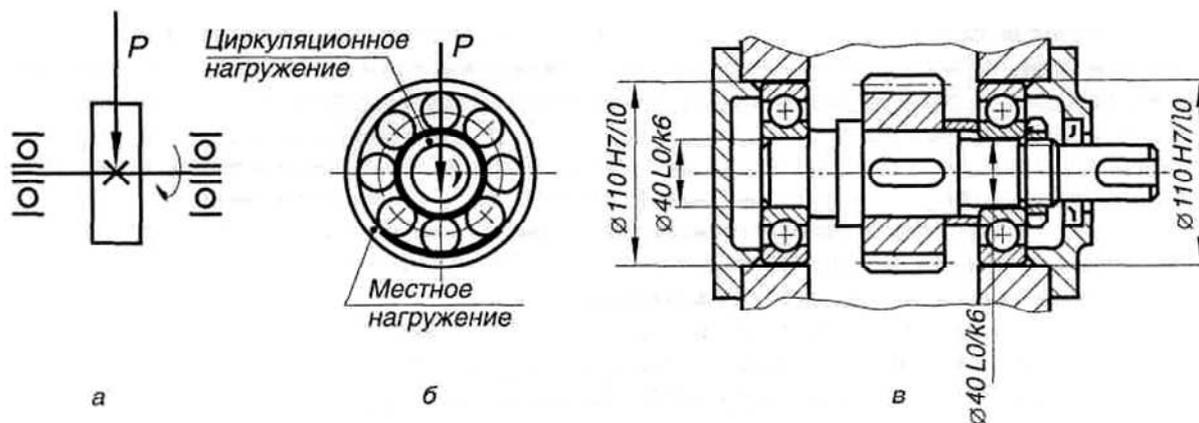


Рис. 5.18. Первая типовая схема нагружения подшипников:  
*а* – схема нагружения; *б* – вид нагружения; *в* – пример выбора посадки

В этом случае внутреннее кольцо воспринимает радиальную нагрузку  $P$  последовательно всей окружностью дорожки качения, такой вид нагружения кольца называется циркуляционным. Наружное кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку лишь ограниченным участком окружности дорожки качения, такой характер нагружения кольца называется местным (рис. 5.18, б).

Дорожки качения внутренних колец подшипников изнашиваются равномерно, а наружных – только на ограниченном участке.

При назначении посадок подшипников качения существует правило: кольца, имеющие местное нагружение, устанавливаются с возможностью их проворота с целью более равномерного износа дорожек качения; при циркуляционном нагружении, напротив, кольца сажают по более плотным посадкам.

Рекомендуемые посадки для подшипников классов точности нормальный и 6 приведены в таблице 5.2.

Пример выбора посадок представлен на рисунке 5.18, в.

Вторая типовая схема (рис. 5.19). 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 (рис. 5.19, а).

В этом случае наружное кольцо воспринимает радиальную нагрузку  $P$  последовательно всей окружностью дорожки качения, т.е. имеет циркуляционное нагружение. Внутреннее кольцо подшипника воспринимает радиальную нагрузку лишь ограниченным участком окружности дорожки качения, т.е. имеет местное нагружение (рис. 5.19, б).

Рекомендуемые посадки для подшипников 0 и 6 классов точности приведены в таблице 5.2.

Пример выбора посадок представлен на рисунке 5.19, в.

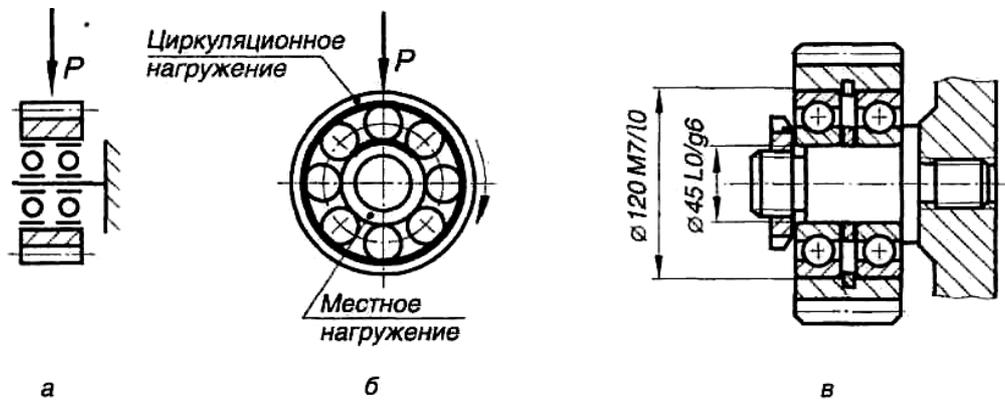


Рис. 5.19. Вторая типовая схема нагружения подшипников:  
а – схема нагружения; б – вид нагружения; в – пример выбора посадки

Третья типовая схема (рис. 5.20). 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  $P_c$ , вращающаяся вместе с валом (рис. 5.20, а).

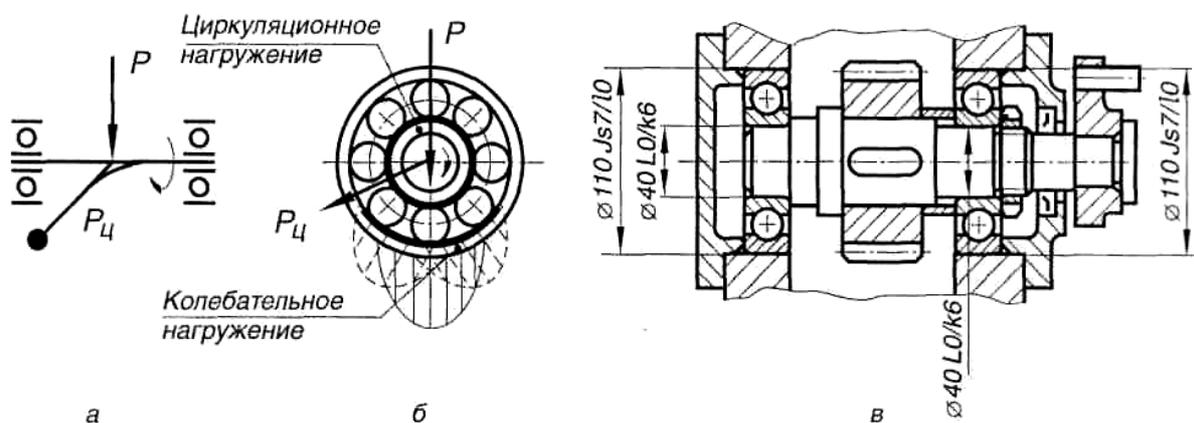


Рис. 5.20. Третья типовая схема нагружения подшипников:  
а – схема нагружения; б – вид нагружения; в – пример выбора посадки

Равнодействующая сил  $P$  и  $P_c$  совершает периодическое колебательное движение, симметричное относительно направления действия силы  $P$ . На рисунке 5.20, б штриховыми линиями показано последовательное положение эпюры нагружения наружного кольца подшипника на ограниченном участке дорожки качения, которая смещается справа налево и меняется по величине, такой режим нагружения кольца называется колебательным.

Внутреннее кольцо воспринимает суммарную радиальную нагрузку последовательно всей окружностью дорожки качения, т.е. имеет циркуляционное нагружение.

Рекомендуемые посадки приведены в таблице 5.2.

Пример выбора посадок представлен на рисунке 5.20, в.

Таблица 5.2

Рекомендуемые посадки наружного и внутреннего колец подшипников

Посадки шариковых и роликовых радиальных и радиально-упорных подшипников			
Вид кольца	Вид нагружения	Рекомендуемые посадки	
Внутреннее кольцо, посадка на вал	Циркуляционное	$\frac{L0}{n6}$ , $\frac{L0}{m6}$ , $\frac{L0}{k6}$ , $\frac{L0}{js6}$ , $\frac{L6}{n6}$ , $\frac{L6}{m6}$ , $\frac{L6}{k6}$ , $\frac{L6}{js6}$	
	Местное	$\frac{L0}{js6}$ , $\frac{L0}{k6}$ , $\frac{L0}{g6}$ , $\frac{L0}{f6}$ , $\frac{L6}{js6}$ , $\frac{L6}{k6}$ , $\frac{L6}{g6}$ , $\frac{L6}{f6}$	
	Колебательное	$\frac{L0}{js6}$ , $\frac{L6}{js6}$	
Наружное кольцо, посадка в корпус	Циркуляционное	$\frac{N7}{l0}$ , $\frac{M7}{l0}$ , $\frac{K7}{l0}$ , $\frac{P7}{l0}$ , $\frac{N7}{l6}$ , $\frac{M7}{l6}$ , $\frac{K7}{l6}$ , $\frac{P7}{l6}$	
	Местное		$\frac{H7}{l0}$ , $\frac{H7}{l6}$
	Колебательное	$\frac{Js7}{l0}$ , $\frac{Js7}{l6}$	

**Примечания.**

1. Поля допусков, заключенные в рамки, рекомендуются при осевой регулировке колец радиально-упорных подшипников.
2. При регулируемом наружном кольце с циркуляционным нагружением радиально-упорных подшипников рекомендуются посадки  $\frac{Js7}{l0}$ ,  $\frac{Js7}{l6}$ .
3. Таблица дана в сокращении.

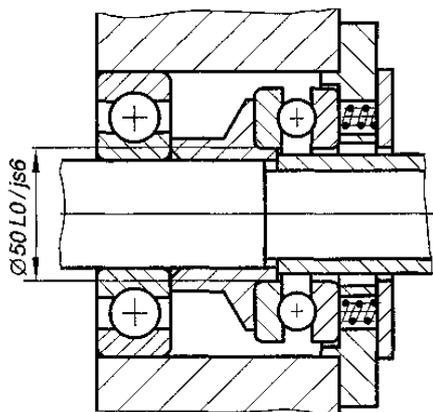


Рис. 5.21. Пример обозначения посадки подшипника

**Влияние типа подшипника на выбор посадок.** Тип подшипника оказывает определенное влияние на выбор посадки. Выше был рассмотрен выбор посадок для подшипников радиальных и радиально-упорных шариковых и роликовых.

Для тугих колец упорных шариковых и роликовых подшипников применяются посадки  $L0/js6$  или  $L6/js6$  (рис. 5.21).

## Лекция 6. ДОПУСКИ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 6.1. Шпоночные соединения

*Шпоночные соединения* применяют для передачи вращающего момента между валом и ступицей (например, ступицей зубчатого колеса, шкива, маховика и т.п.) с помощью специальной детали – *шпонки*. Шпоночные соединения подразделяют на *ненапряженные*, осуществляемые призматическими (рис. 6.1) или сегментными шпонками, и *напряженные*, осуществляемые клиновыми (рис. 6.2) шпонками.

Различают *неподвижные* и *подвижные* шпоночные соединения. В неподвижных соединениях ступица не может перемещаться по валу в осевом направлении, у подвижных соединений ступица может перемещаться по валу во время работы. Длинные направляющие шпонки крепят к валу винтами. В машиностроении основное распространение имеют ненапряженные неподвижные шпоночные соединения как более простые в изготовлении. В напряженных шпоночных соединениях используют клиновые шпонки, вызывающие небольшое радиальное смещение ступицы относительно вала.

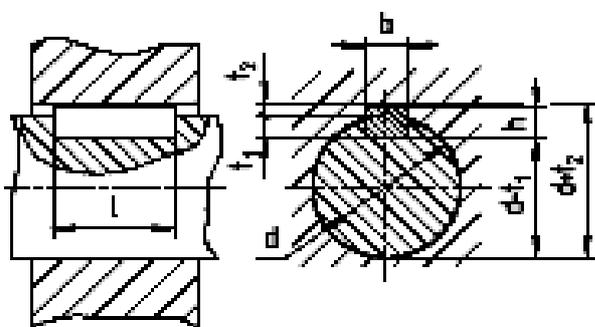


Рис. 6.1. Шпоночное соединение призматической шпонкой

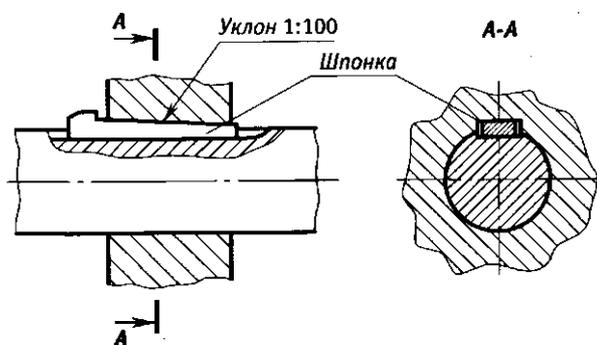


Рис. 6.2. Шпоночное соединение клиновой шпонкой

Призматические шпонки стандартизованы (ГОСТ 23360-78).

*Соединения призматическими шпонками* (см. рис. 6.1) имеют наибольшее распространение. Стандартизованы обыкновенные и высокие призматические шпонки. Последние обладают повышенной несущей способностью, их применяют, когда закрепляемые детали (ступицы) имеют малую длину. Момент передается узкими боковыми гранями шпонок.

По форме торцов различают шпонки трех исполнений: 1, 2 и 3 (рис. 6.3). Шпонки с закругленными торцами (исполнение 1) обычно размещают на валу в пазах, обработанных концевой фрезой (рис. 6.3, а); плоские торцы шпонок (исполнения 2 и 3) помещают вблизи деталей (концевые шайбы, кольца и т.д.), препятствующих осевому перемещению шпонок (рис. 6.3, б). Пазы обрабатывают дисковой фрезой, что технологичней и дает меньшую концентрацию напряжений у вала.

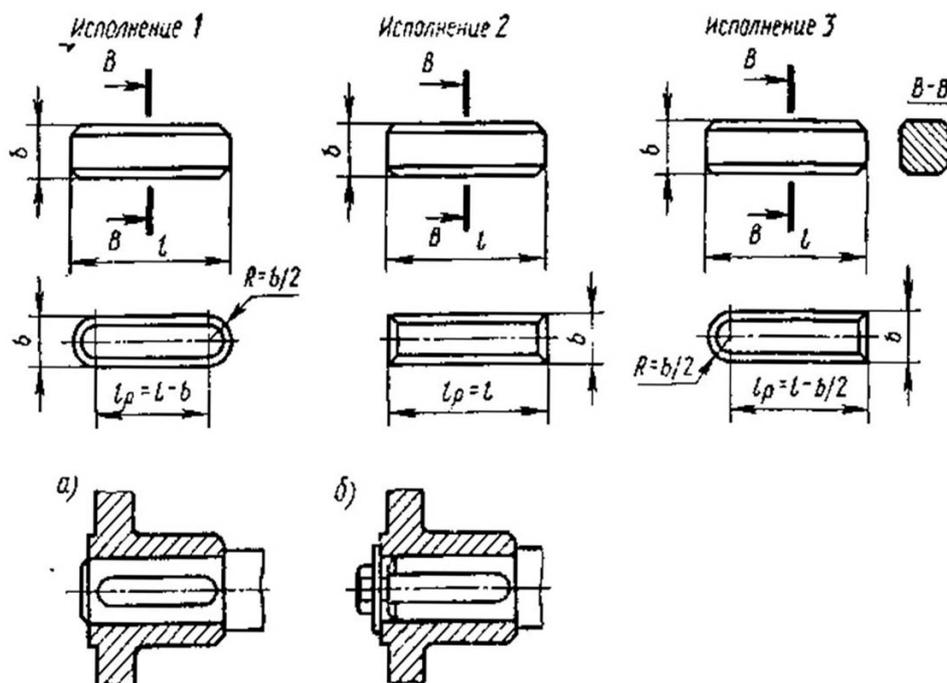


Рис. 6.3. Конструктивные параметры призматических шпонок различных исполнений

Для разных ступеней одного и того же вала рекомендуется назначать одинаковые шпонки по сечению исходя из ступени меньшего диаметра, имеющего шпоночный паз. Для предохранения от осевого смещения деталей, закрепленных на валу призматическими шпонками, применяют распорные втулки, установочные винты и др.

Призматические направляющие шпонки с креплением на валу используют в подвижных в осевом направлении соединениях. Эти шпонки отличаются от обыкновенных большей длиной.

*Соединения сегментными шпонками* (рис. 6.4) являются разновидностью соединений призматическими шпонками. Сегментные шпонки (пластины в виде сегмента), так же как и призматические, работают боковыми гранями. Эти шпонки и пазы для них просты в изготовлении,

удобны при монтаже и демонтаже (шпонки свободно вставляются в паз), они взаимозаменяемы. Глубокая посадка шпонки предохраняет ее от выворачивания под нагрузкой. Однако глубокий паз существенно ослабляет вал, поэтому сегментные шпонки применяют для передачи небольших вращающих моментов или лишь для фиксации элементов соединения.

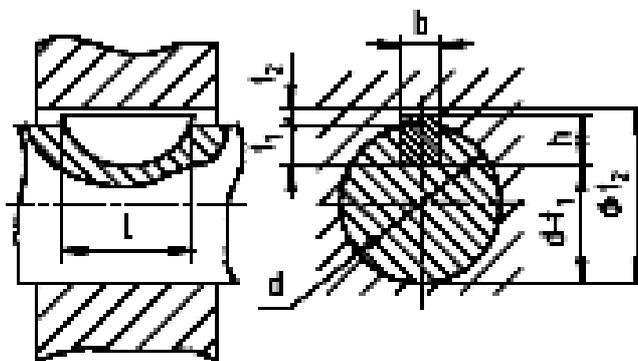


Рис. 6.4. Шпоночное соединение сегментной шпонкой

*Соединения клиновыми шпонками* (см. рис. 6.2). Клиновые шпонки представляют собой односкосные самотормозящие клинья с уклоном 1:100, которые ударами молотка забивают в пазы вала и ступицы. При этом создается напряженное соединение, передающее как вращающий момент, так и осевую силу, и препятствующее относительному смещению детали вдоль вала. Рабочими поверхностями клиновых шпонок являются верхняя и нижняя широкие грани. По боковым граням имеется зазор. При запрессовке клиновой шпонки происходит радиальное смещение ступицы по отношению к валу и перекос детали, что является причиной ее торцевого биения. Из-за этих недостатков, а также из-за трудности обработки паза в ступице с уклоном, равным уклону шпонки, применение клиновых шпонок ограничено. Применяют в тихоходных передачах.

Размеры сечений призматической шпонки (ширину  $b$  и высоту  $h$ ) выбирают в зависимости от диаметра  $d$  вала по ГОСТ 23360-78 (табл. 6.1). Длину шпонки конструктивно принимают на 5...10 мм меньше длины ступицы и согласовывают со стандартом (длины шпонок  $l$  выбирают из ряда: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, ..., 500 мм).

Размеры сечений сегментных шпонок (см. рис. 6.4) ширину  $b$ , высоту  $h$ , длину шпонки  $l$  и глубину паза вала  $t_1$  выбирают в зависимости от диаметра вала по ГОСТ 24071-97.

Размеры сечений призматической шпонки

Диаметр вала $d$ , мм	Сечение шпонки		Глубина паза	
	$b$	$h$	вала $t_1$	ступицы $t_2$
	Размеры, мм			
От 6 до 8	2	2	1,2	1,0
Свыше 8 до 10	3	3	1,8	1,4
» 10 » 12	4	4	2,5	1,8
» 12 » 17	5	5	3,0	2,3
» 17 » 22	6	6	3,5	2,8
» 22 » 30	8	7	4,0	3,3
» 30 » 38	10	8	5,0	3,3
» 38 » 44	12	8	5,0	3,3
» 44 » 50	14	9	5,5	3,8
» 50 » 58	16	10	6,0	4,3
» 58 » 65	18	11	7,0	4,4

При сборке шпонки, вала и втулки необходима взаимозаменяемость. Наиболее важным является соединение втулки и вала по размеру  $b$ , т.е. по ширине шпонки и канавок (пазов) вала и втулки.

Размеры, допуски, посадки и предельные отклонения соединений с призматическими шпонками установлены ГОСТ 23360-78.

Основные параметры шпонок и шпоночных пазов в соединениях с призматическими шпонками даны на рисунке 6.5.

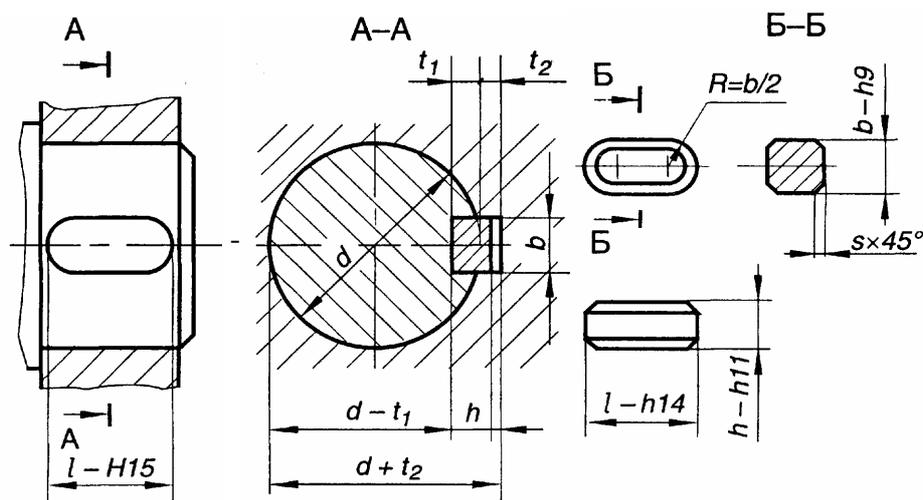


Рис. 6.5. Основные обозначения параметров соединений с призматическими шпонками

Стандартом установлены поля допусков по ширине шпонки и шпоночных пазов для свободного, нормального и плотного соединений (табл. 6.2).

Таблица 6.2

## Поля допусков по ширине шпонок

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

В таблице 6.3 приведены размеры пазов и шпонок, предусмотренные ГОСТ 23360-78.

Таблица 6.3

## Размеры пазов и шпонок

Диаметр вала $d$ , мм	Номинальный размер шпонки, мм		Номинальный размер паза, мм				
	$b \times h$	Фаска $S$		Глубина		Радиус $r$	
		$max$	$min$	На валу $t_1$	На втулке $t_2$	$max$	$min$
Свыше 30 до 38	$10 \times 8$	0,60	0,40	5,0	3,3	0,40	0,25
» 38 до 44	$12 \times 8$			5,0	3,3		
» 44 до 50	$14 \times 9$			5,5	3,8		
» 50 до 58	$16 \times 10$			6,0	4,3		
» 58 до 65	$18 \times 11$			7,0	4,4		
» 65 до 75	$20 \times 12$	0,80	0,60	7,5	4,9	0,60	0,40
» 75 до 85	$22 \times 14$			9,0	5,4		
» 85 до 95	$25 \times 14$			9,0	5,4		
» 95 до 110	$28 \times 16$			10,0	6,4		
» 110 до 130	$32 \times 18$			11,0	7,4		
» 130 до 150	$36 \times 20$	1,2	1,00	12,0	8,4	1,0	0,7
» 150 до 170	$40 \times 22$			13,0	9,4		
» 170 до 200	$45 \times 25$			15,0	10,4		
» 200 до 230	$50 \times 28$			17,0	11,4		

*Примечания.*

1. Длина шпонок должна выбираться из ряда: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 140; 160; 180; 200; 220.

2. Материал – сталь с временным сопротивлением разрыву не менее  $590 \text{ МН/м}^2$  ( $60 \text{ кгс/мм}^2$ ).

3. На рабочем чертеже проставляется один размер для вала  $t_1$  (предпочтительный вариант) и для втулки  $d + t_2$ .

4. В обоснованных случаях (пустотелые валы, передача пониженных крутящих моментов и т.п.) допускается применять меньшие размеры сечений стандартных шпонок.

5. Пример условного обозначения шпонки исполнения 1 (с радиусом закруглений  $R = b/2$ ) с размерами  $b = 18 \text{ мм}$ ,  $h = 11 \text{ мм}$ ,  $l = 100 \text{ мм}$ : Шпонка  $18 \times 11 \times 100$  ГОСТ 23360-78\*.

**Предельные отклонения и посадки шпоночных соединений.** Для ширины пазов вала и втулки допускаются любые сочетания указанных полей допусков. Рекомендуемые посадки приведены на рисунке 6.6.

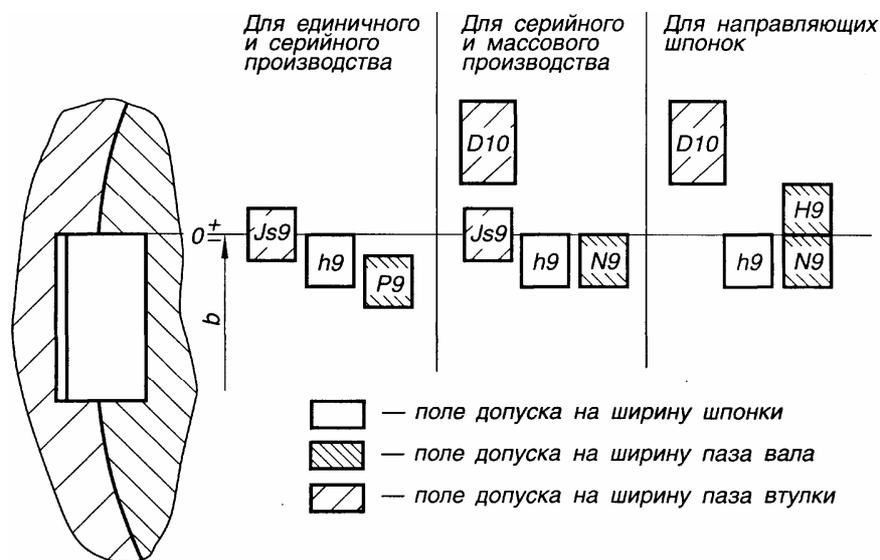


Рис. 6.6. Рекомендуемые посадки шпоночных соединений

Предельные отклонения на глубину пазов приведены в таблице 6.4.

Таблица 6.4

Предельные отклонения на глубину пазов шпонок

Высота шпонки $h$ , мм	Предельные отклонения на глубину паза на валу $t_1$ (или $d - t_1$ ) и во втулке $t_2$ (или $d + t_2$ ), мм	
	верхнее отклонение	нижнее отклонение
От 2 до 6	+ 0,1	0
От 6 до 18	+ 0,2	0
От 18 до 50	+ 0,3	0

Простановка посадок шпоночного соединения показана на рисунке 6.7.

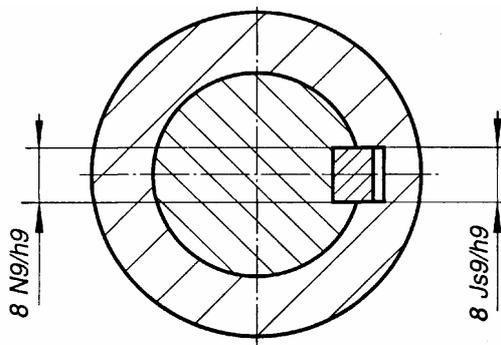


Рис. 6.7. Простановка посадок шпоночного сопряжения

## 6.2. Шлицевые соединения

*Шлицевые соединения вал – ступица* (рис. 6.8) представляют собой соединения, образуемые выступами – зубьями на валу, входящими во впадины – шлицы соответствующей формы в ступице. Эти соединения можно представить как многошпоночные, у которых шпонки выполнены за одно целое с валом.

Шлицевые соединения имеют по сравнению со шпоночными следующие преимущества:

- большую несущую способность при одинаковых габаритах благодаря значительно большей рабочей поверхности и равномерному распределению давления по высоте зубьев;
- большую усталостную прочность вала;
- детали на валах лучше центрируются и имеют лучшее направление при передвижении вдоль вала.

Различают шлицевые соединения неподвижные и подвижные с возможностью перемещения деталей вдоль оси под нагрузкой или без нагрузки (например, шлицевые соединения сверлильных шпинделей станков, карданных валов автомобилей и др.). Шлицевые (зубчатые) соединения стандартизованы. При данном диаметре соединения стандартами установлено число и размеры шлицев (зубьев), а также допуски на их размеры.

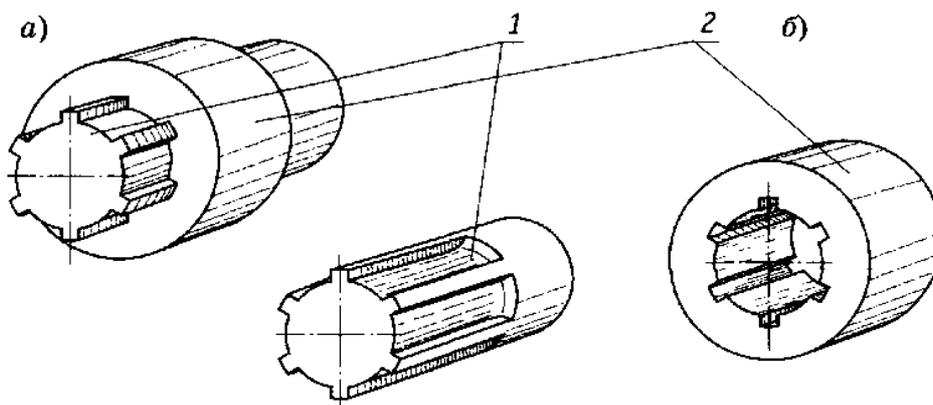


Рис. 6.8. Шлицевое соединение (а) и его детали (б):  
1 – вал шлицевой; 2 – ступица со шлицами

В машиностроении применяют прямобочные, эвольвентные и треугольные шлицы.

Наиболее распространены давно применяемые *прямобочные шлицевые соединения* (около 80%) по ГОСТ 1139-80. В поперечном сечении

профиль прямобочных шлицев (рис. 6.9) очерчивается окружностью выступов зубьев  $D$ , окружностью впадин  $d$  и прямыми, определяющими постоянную толщину зубьев  $b$ . Стандартом предусмотрены три серии соединений: легкая, средняя и тяжелая. С переходом от легкой 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. Соединения с прямобочными шлицами выполняют с центрированием по наружному диаметру  $D$  (рис. 6.9, *a*), по внутреннему диаметру  $d$  (рис. 6.9, *б*) и по боковым граням  $b$  (рис. 6.9, *в*).

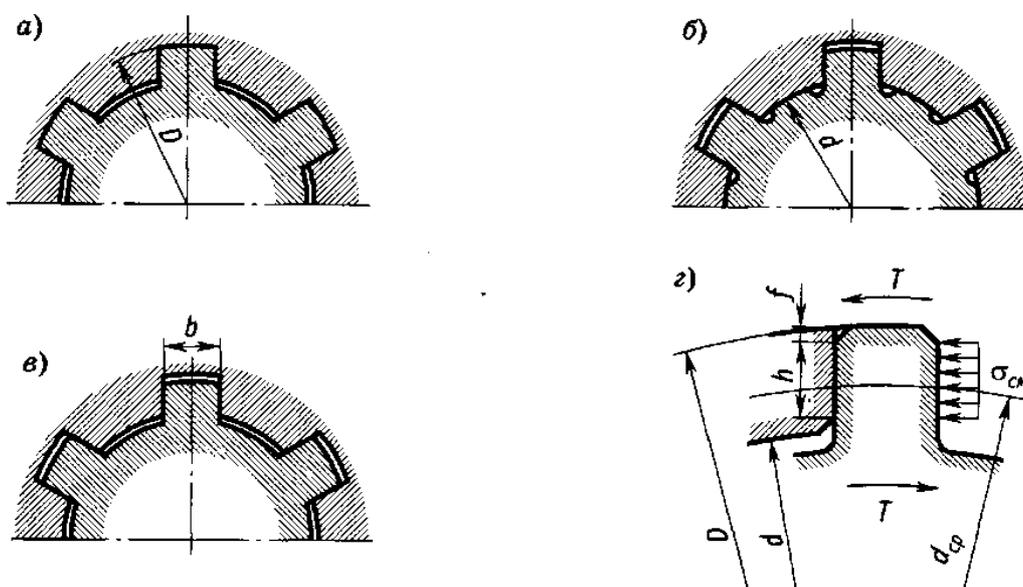


Рис. 6.9. Виды центрирования прямобочных шлицевых соединений:  
*a* – по наружному диаметру; *б* – по внутреннему диаметру;  
*в* – по боковым сторонам шлицев; *г* – форма прямобочного шлица

При выборе способа центрирования руководствуются величиной и характером нагрузки на соединение, требованиями по точности центрирования деталей соединения. Несущую способность шлицевых соединений и износостойкость шлицев можно значительно увеличить повышением твердости рабочей поверхности (боковых граней) шлицев путем закалки их до высокой твердости. Однако после закалки происходит искажение сопрягаемых поверхностей, устраняемое лишь последующим шлифованием, которое не всегда можно выполнить. Наружное шлифование шлицевых валов по диаметру  $D$  выполняется легко; сложнее шлифовать отверстия в ступицах по диаметру  $d$  и боковые грани зубьев шлицевых валов; невозможно шлифовать боковые грани шлицев и впадины между шлицами по диаметру  $D$  у ступиц.

В зависимости от числа шлицев (зубьев) ( $z = 6 - 20$ ) и их высоты ГОСТ 1139-80 предусматривает три серии прямобочных соединений для валов с  $d = 11 - 112$  мм: легкую, среднюю и тяжелую (табл. 6.5).

*Легкая серия* рекомендуется для неподвижных соединений, *средняя* – для подвижных, *тяжелая* – для неподвижных и подвижных при передаче больших моментов.

Таблица 6.5

Прямобочные шлицевые соединения (выборка из ГОСТ 1139-80)

Серия	Номинальный размер $z \times d \times D$	Ширина зубьев, $b$	$S_F$ , мм <sup>3</sup> /мм (ГОСТ 21425-75)
	Размеры, мм		
Легкая	6×23×26	6	66
	6×26×30	6	118
	6×28×32	7	126
	8×32×36	6	163
	8×36×40	7	182
	8×42×46	8	211
	8×46×50	9	230
	8×52×58	10	440
	8×56×62	10	472
Средняя	6×23×28	6	145
	6×26×32	6	191
	6×28×34	7	205
	8×32×38	6	308
	8×36×42	7	343
	8×42×48	8	396
	8×46×54	9	600
	8×52×60	10	672
	8×56×65	10	854
Тяжелая	10×23×29	4	312
	10×26×32	4	319
	10×28×35	4	426
	10×32×40	5	576
	10×36×45	5	749
	10×42×52	6	978
	10×46×56	7	1020
	16×52×60	5	1340
	16×56×65	5	1690

Более перспективны *соединения с эвольвентными зубьями* (шлицами). Их выполняют с центрированием по боковым, рабочим поверхностям (рис. 6.10, *а*) или по наружному диаметру (рис. 6.10, *б*); наиболее распро-

странен первый способ центрирования из-за простоты его получения. Профиль эвольвентных шлицев очерчивается, как и профиль зубьев эвольвентных зубчатых колес, окружностью вершин, окружностью впадин и эвольвентами с углом зацепления  $30^\circ$  (у зубчатых колес  $20^\circ$ ) при уменьшенной высоте зуба  $h = m$  (у зубчатых колес  $h = 2,25 m$ ). Размеры эвольвентных шлицев определяются по ГОСТ 6033-80.

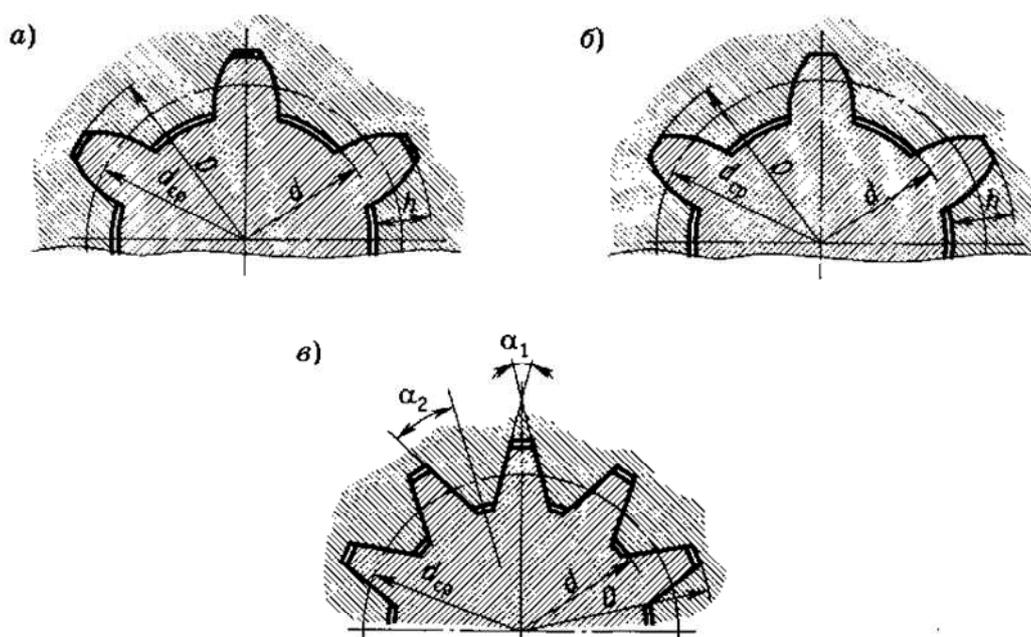


Рис. 6.10. Виды центрирования эвольвентных шлицевых соединений (а, б) и шлицевое соединение треугольного профиля (в)

*Шлицевые соединения треугольного профиля* (рис. 6.10, в) применяют редко при стесненных габаритах в радиальном направлении. Эти соединения центрируют по боковым сторонам зубьев. В основном их применяют в кинематических (приборных) механизмах. При необходимости беззазорного соединения применяют конические соединения треугольного профиля с конусностью 1 : 16 на валу.

Номинальные размеры основных параметров и число зубьев шлицевых соединений общего назначения с прямобочным профилем зубьев, параллельным оси соединения, изображены на рисунке 6.11.

Центрирование по  $D$  рекомендуется при повышенных требованиях к соосности элементов соединения, когда твердость втулки не слишком высока и допускает обработку чистовой протяжкой, а вал обрабатывается фрезерованием и шлифуется по наружному диаметру  $D$ . Применяется такое центрирование в подвижных и неподвижных соединениях.

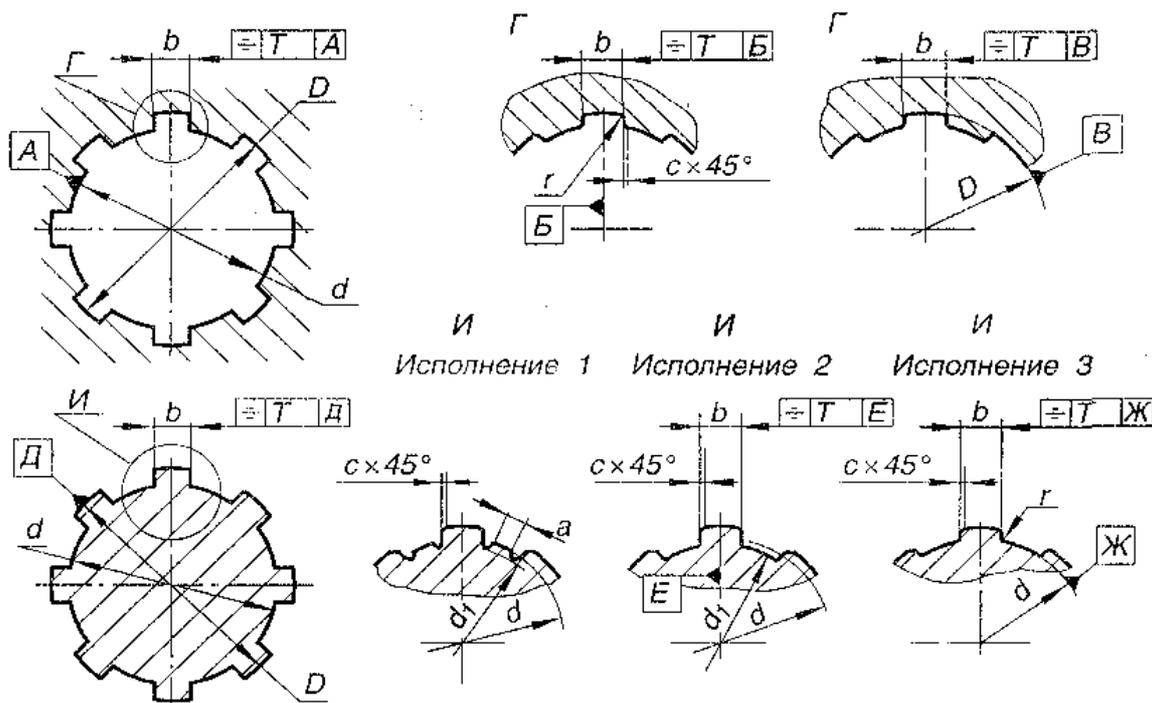


Рис. 6.11. Размеры основных параметров и число зубьев шлицевых соединений

Центрирование по  $d$  применяется в тех же случаях, что и центрирование по  $D$ , но при твердости втулки, не позволяющей обрабатывать ее протяжкой. Такое центрирование является наименее экономичным.

Центрирование по  $b$  используют, когда не требуется высокой точности центрирования, при передаче значительных крутящих моментов.

**Посадки шлицевых соединений с прямоугольным профилем зуба.** По ГОСТ 1139-80 установлены допуски и посадки шлицевых соединений с прямоугольным профилем зуба для различных способов центрирования.

Допуски симметричности боковых сторон шлицев в диаметральном выражении по отношению к оси симметрии центрирующего элемента приведены в таблице 6.6.

Таблица 6.6

Допуски симметричности боковых сторон шлицев

Ширина зуба $b$ , мм	2,5; 3	3,5; 4; 5; 6	7; 8; 9; 10	12; 14; 16; 18
Допуск симметричности, мм	0,01	0,012	0,015	0,018

**Условные обозначения шлицевых прямоугольных соединений.** Пример обозначения шлицевого соединения с центрированием по  $D$  показан на рисунке 6.12.

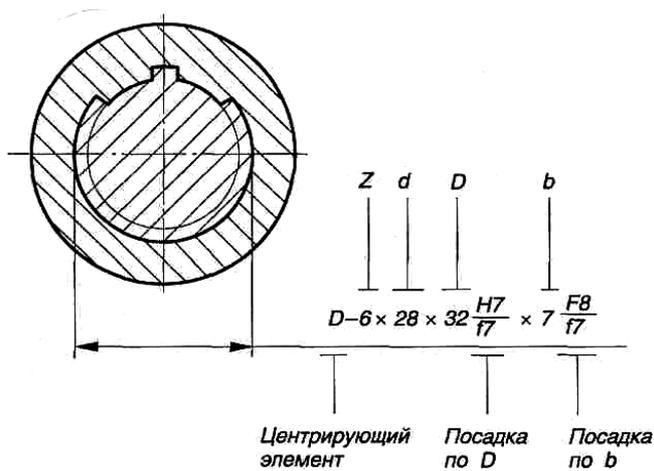


Рис. 6.12. Обозначения шлицевого соединения

### Посадки шлицевых эвольвентных соединений.

В шлицевых соединениях с эвольвентным профилем зубьев применяются следующие способы относительного центрирования вала и втулки: по боковым поверхностям зубьев  $s$  и  $e$ , по наружному диаметру  $D$  и допускается центрирование по внутреннему диаметру.

Наибольшее распространение получил способ центрирования по боковым поверхностям зубьев. Центрирование по внутреннему диаметру не рекомендуется.

В ГОСТ 6033-80 установлены допуски и посадки для различных способов центрирования.

Примеры выбора посадок приведены в таблице 6.7. Кроме указанных посадок, применяются и другие (см. ГОСТ 6033-80).

Таблица 6.7

Выбор посадок шлицевых эвольвентных соединений

Чертеж сопряжения						
	s(e)			D		
Центрирующий элемент						
Посадки	По D ( $d_a, D_f$ )	По s(e)	По $D_a, d_f$	По D	По s(e)	По $D_a, d_f$
Подвижное сопряжение	$D_f - H16$	$\frac{9H}{9g}, \frac{9H}{9h}$	$D_a - H11$	$\frac{H7}{f7}, \frac{H7}{g6}$	$\frac{9H}{9g}, \frac{9H}{9h}$	$D_a - H11$
Неподвижное сопряжение	$d_a - h12$	$\frac{7H}{8k}, \frac{7H}{7n}$	$d_{f \max} - h16$	$\frac{H7}{js6}, \frac{H7}{n6}$	$\frac{9H}{9g}, \frac{9H}{9h}$	$d_{f \max} - h16$

Пример условного обозначения шлицевых эвольвентных соединений приведен на рисунке 6.13.

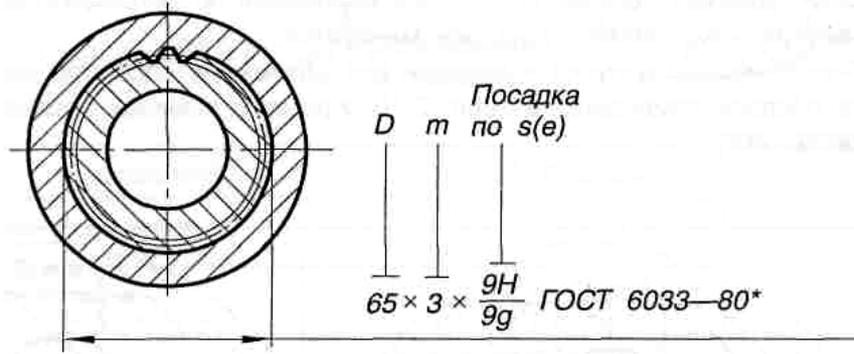


Рис. 6.13. Обозначения шлицевых эвольвентных соединений

Условное обозначение эвольвентного шлицевого соединения включает номинальный диаметр соединения  $D$ , модуль  $m$ , обозначение посадки соединения, помещаемое после размеров центрирующих элементов, и номер стандарта. Например,  $50 \times 2 \times 9 H/9g$  ГОСТ 6033-80 обозначает, что  $D = 50$  мм,  $m = 2$  мм, центрирование по боковым сторонам с посадкой  $9H/9g$ .

При центрировании по наружному диаметру:

$$50 \times H7/g6 \times 2 \text{ ГОСТ } 6033-80.$$

При центрировании по внутреннему диаметру:

$$150 \times 2 \times H7/g6 \text{ ГОСТ } 6033-80.$$

**Измерение и контроль деталей шлицевого соединения.** Основным видом контроля в стандартах на шлицевые соединения является комплексный проходной калибр, с помощью которого обеспечивается собираемость по размерам элементов соединения и их расположению. При этом имеется в виду, что параметры по непроходному пределу проверяются с помощью измерительных приборов или непроходными калибрами.

Измерение диаметров элементов шлицевых соединений не отличается от измерения гладких деталей. При этом измерение положения шлицев по окружности производится как и измерение шагов у зубчатых колес. Иногда для измерения расположения поверхностей и измерения прямолинейности шлицев изготавливаются специальные приспособления.

## Лекция 7. ДОПУСКИ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ И ГЛАДКИХ КОНУСОВ

### 7.1. Нормальные углы и конусности

Анализ конфигураций деталей, используемых в различных конструкциях машин и приборов, показывает, что достаточно часто их поверхности располагаются под некоторым углом, отличным от прямого. Нормирование такого расположения осуществляется через угловые размеры. Числовые размеры можно условно разделить на нормальные углы общего назначения и специальные углы, т.е. углы, размеры которых связаны расчетными зависимостями с другими принятыми линейными и угловыми размерами в силу специфических эксплуатационных или технологических требований [10].

ГОСТ 8908-81 устанавливает три ряда нормальных углов для первой группы углов, к которой относятся фаски, скосы, наклонные поверхности, штамповочные и литейные уклоны. Согласно принципу предпочтительности, первый ряд имеет приоритет перед вторым, второй перед третьим (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Ряды нормальных углов

Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 3
0 <sup>0</sup>				10 <sup>0</sup>				70 <sup>0</sup>
		0 <sup>0</sup> 15'			12 <sup>0</sup>		75 <sup>0</sup>	
	0 <sup>0</sup> 30'		15 <sup>0</sup>					80 <sup>0</sup>
		0 <sup>0</sup> 45'			18 <sup>0</sup>			85 <sup>0</sup>
	1 <sup>0</sup>			20 <sup>0</sup>		90 <sup>0</sup>		
		1 <sup>0</sup> 30'			22 <sup>0</sup>			100 <sup>0</sup>
	2 <sup>0</sup>				25 <sup>0</sup>			110 <sup>0</sup>
		2 <sup>0</sup> 30'	30 <sup>0</sup>			120 <sup>0</sup>		
	3 <sup>0</sup>				35 <sup>0</sup>			135 <sup>0</sup>
	4 <sup>0</sup>			40 <sup>0</sup>				150 <sup>0</sup>
5 <sup>0</sup>			45 <sup>0</sup>					165 <sup>0</sup>
	6 <sup>0</sup>				50 <sup>0</sup>			180 <sup>0</sup>
	7 <sup>0</sup>				55 <sup>0</sup>			270 <sup>0</sup>
	8 <sup>0</sup>		60 <sup>0</sup>					360 <sup>0</sup>
		9 <sup>0</sup>			65 <sup>0</sup>			

Термины и определения, относящиеся к поверхностям и элементам деталей, имеющим угловые размеры, установлены ГОСТ 25548-82.

Под прямой круговой конической поверхностью (конической поверхностью или конусом) понимают поверхность вращения, образованную прямой, вращающейся относительно оси и пересекающей ее (образующей).

Конус – обобщенный термин, под которым в зависимости от конкретных условий понимают коническую поверхность, коническую деталь или конический элемент детали. Различают наружный и внутренний конусы (рис. 7.1). Параметры наружных конусов помечают индексом  $e$ , внутренних –  $i$ .

Под основаниями конуса понимают окружности, образованные пересечением конической поверхности с плоскостями, перпендикулярными оси и ограничивающими его в осевом направлении.

Основной плоскостью называют плоскость поперечного сечения конуса, в котором задается номинальный диаметр конуса. Базовой плоскостью является плоскость, перпендикулярная оси конуса и служащая для определения осевого положения основной плоскости или осевого положения данного конуса относительно сопрягаемого с ним конуса.

Рассмотренные элементы конусов обозначаются следующим образом.

Диаметры поперечных сечений конусов: большого основания –  $D$ ; малого –  $d$ ; заданного сечения –  $D_s$  (в котором задан допуск), произвольно расположенного –  $d_i$ . Длина конусов –  $L$ , соединения –  $L_p$ , осевые расстояния от большого основания конуса до заданного сечения –  $L_s$ , до произвольно расположенного сечения –  $L_x$ .

Расстояние между основной и базовой плоскостями конуса называют базорасстоянием конуса. Базовая и основная плоскости могут совпадать.

Конические соединения (рис. 7.2) – соединения наружного и внутреннего конусов, имеющих одинаковые номинальные углы конусов, характеризуются большим диаметром  $D$ , малым диаметром  $d$ , длиной конического соединения  $L_p$ .

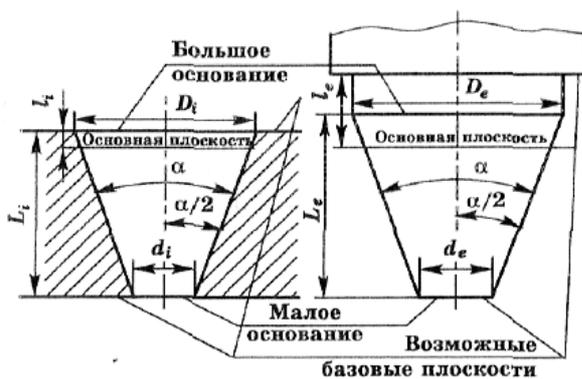


Рис. 7.1. Параметры внутренних и наружных конусов

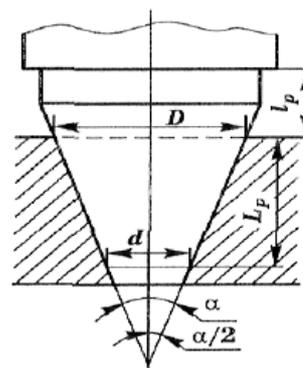


Рис. 7.2. Коническое соединение

Для призматических деталей (рис. 7.3), кроме нормальных углов, ГОСТ 8908-2000 допускает применять стандартные уклоны  $S$ .

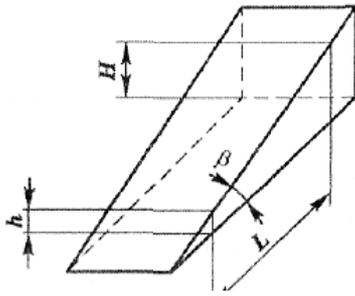


Рис. 7.3. Параметры угловых призматических деталей

Уклон представляет собой отношение перепада высот  $(H - h)$  к расстоянию  $L$  между местами их измерения:

$$S = (H - h)/L = \text{tg } \beta. \quad (7.1)$$

Конические соединения и отдельные конусы в осевом сечении нормируются углом конуса  $\alpha$  и углом уклона  $\alpha/2$ . Как правило, вместо них используют параметры уклона  $c$  и конусности  $C$ :

$$c = \frac{D - d}{2L} = \frac{\text{tg } \alpha}{2}, \quad (7.2)$$

$$C = \frac{D - d}{L} = 2 \text{tg } \alpha. \quad (7.3)$$

ГОСТ 8593-81 устанавливает два ряда нормальных конусностей и углов конусов (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Нормальные конусности

Исходная величина	Обозначение нормального конуса		Примерное назначение
	Ряд 1	Ряд 2	
$C$	1:500	-	Для соединений с гарантированным натягом
	1:200		
	1:100		
	1:50		
$C$		1:30	Для неподвижных установочных соединений
	1:20		
		1:15	
		1:12	
	1:10		
		1:8	
$C$		1:6	Для подвижных соединений
	1:5		
		1:4	
$\alpha$	30°		Для конструктивного оформления деталей
	45°		
	60°		
		75°	
	90°		
	1200		

## 7.2. Допуски угловых размеров и конических элементов деталей

Допуски углов призматических элементов и конусов с длиной стороны до 2500 мм нормированы ГОСТ 8908-81.

Устанавливается 17 степеней точности. Для указания допуска угла заданной точности к обозначению допуска угла  $AT$  добавляют номер соответствующей степени точности:  $AT1$ ,  $AT2$ , ...  $AT17$ . Область применения каждой из 17 степеней определяется функциональными требованиями к точности угловых размеров.

Так, степени точности выше 5-й используются при изготовлении угловых мер; 5-я, 6-я применяются для конусов особо высокой точности, конических элементов герметичных соединений, сменных измерительных наконечников, точных опор скольжения; 7-я, 8-я используются для деталей высокой точности, требующих хорошего центрирования, конических центрирующих поверхностей валов и осей, а также сопрягаемых с ними ступиц зубчатых колес и конусных муфт при высокой точности соединений; 9...12-я применяются в деталях нормальной точности: направляющих планках, фиксаторах, конических элементах валов, втулок и др.; 13... 15-я – для деталей пониженной точности, в стопорных устройствах и т.п.; 16-я, 17-я – для несопрягаемых угловых размеров.

Допуск угла при переходе от одной степени точности к другой изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6. Значение допуска призматической детали зависит от степени точности и длины меньшей стороны угла. Стандартом для каждой степени точности определены четыре вида допусков на угловые размеры:

$AT_\alpha$  – допуск угла, выраженный в угловых единицах: микроградусах, градусах, минутах, секундах;

$AT'_\alpha$  – округленное значение допуска угла в градусах, минутах, секундах, например, если допуск  $AT17 = 4^\circ 30' 01''$  (при интервале длин  $L_1$  до 10 мм), то соответствующий ему допуск  $AT'_\alpha = 4^\circ$ ;

$AT_h$  – допуск угла, выраженный отрезком на перпендикуляре (в микрометрах) к номинальному положению короткой стороны угла, на расстоянии  $L_1$  от вершины этого угла;

$AT_D$  – допуск угла конуса, выраженный допуском на разность диаметров в двух нормальных к оси сечениях конуса на заданном расстоянии между ними, определяется по перпендикуляру к оси конуса (рис. 7.4).

Допуски в угловых и линейных единицах связаны зависимостью

$$AT_h = 10^{-3} AT_\alpha L_1, \quad (7.4)$$

где  $AT_h$  выражен в микрометрах,  $AT_\alpha$  – в микрорадианах;  $L_1$  – длина стороны угла или длина образующей конуса, мм.

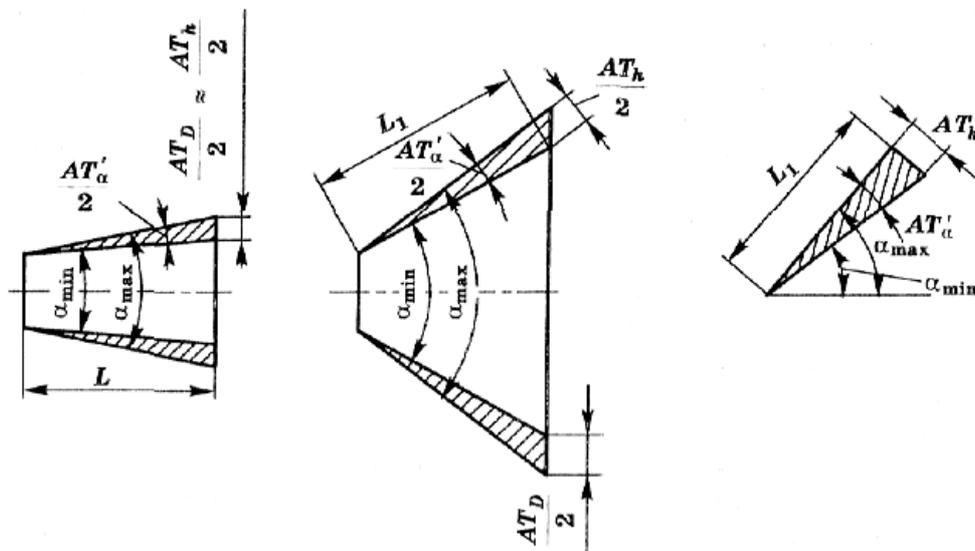


Рис. 7.4. Допуски углов и конусов

Для конусов, имеющих малые углы (при конусности  $C < 1:3$  или угле конуса,  $\alpha < 19^\circ$ ),  $AT_D \sim AT_h$ . При больших значениях  $C$  и  $\alpha$

$$AT_D = AT_h / \cos\alpha / 2. \quad (7.5)$$

Допуски углов конусов назначают в зависимости от длины конуса  $L$  для конусов с конусностью не более 1:3; в остальных случаях – от длины образующей ( $L_i$ ). Допуски углов призматических элементов детали устанавливают в зависимости от номинальной длины меньшей стороны угла.

Поле допуска угла может располагаться относительно номинального размера угла так, как показано на рисунке 7.5. В случаях, когда возможно путем дальнейшей обработки исправить брак, расположение поля допуска назначается в «тело» детали (в зависимости от ее конфигурации в «+» или в «-»). Когда элемент детали, ограниченный угловым размером, исправлению не подлежит, рационально использовать симметричное расположение поля допуска.

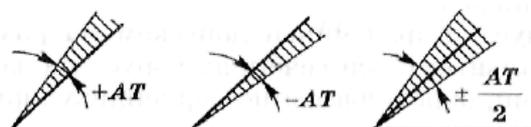


Рис. 7.5. Схемы расположения полей допусков

Все виды допусков конуса можно нормировать двумя способами (рис. 7.6):

1) совместным нормированием всех видов допусков одним допуском  $T_D$  диаметра конуса в любом сечении;

2) отдельным нормированием каждого вида допусков, а именно: допуска диаметра  $T_D$  в заданном сечении, допуска угла конуса  $AT$ , допуска круглости  $T_{FR}$  и допуска прямолинейности  $T_{FL}$  образующей конуса.

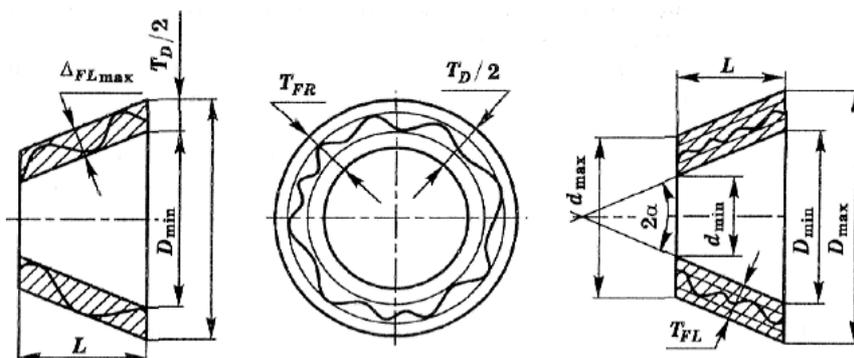


Рис. 7.6. Нормирование точности формы конических поверхностей

При выбранном качестве допуски  $T_D$  и  $T_{FR}$  определяют по номинальному диаметру большего основания конуса, а допуск  $T_{FL}$  – соответственно по номинальному диаметру в заданном сечении и длине конуса  $L$ .

### 7.3. Посадки конических соединений

Для конических соединений установлены посадки с зазором, натягом и переходные.

Посадки с зазором применяют в подвижных соединениях.

Посадки с натягом используют для получения герметичных соединений, а также соединений, обеспечивающих передачу крутящего момента. При этом происходит самоцентрирование деталей.

Конусные соединения обеспечивают более легкую по сравнению с цилиндрическими соединениями разборку, позволяют регулировать натяг в процессе эксплуатации. Так как сопрягаемые поверхности конические, тот или иной характер соединений может быть достигнут для одной и той же пары конус – втулка за счет:

а) фиксации положения наружного и внутреннего конуса в осевом направлении путем:

- совмещения конструктивных элементов конусов;
- установки заданного осевого смещения конусов;

– установки заданного осевого расстояния между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов;

б) фиксации заданной силы запрессовки.

Нормирование точности элементов конических соединений по способу а) рекомендуется применять в посадках с фиксацией по конструктивным элементам и по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов.

Поля допусков и посадки выбирают в зависимости от способа фиксации взаимного осевого положения сопрягаемых конусов.

В посадках рекомендуется сочетать поля допусков диаметров наружного и внутреннего конусов одного качества, и только в обоснованных случаях допуск внутреннего конуса можно назначать на один или два качества менее точным.

В посадках с фиксацией по заданному смещению сопрягаемых конусов от начального положения или по заданному усилию запрессовки следует применять поля допусков от 8-го до 12-го качества.

#### 7.4. Контроль углов и конусов

ГОСТ 25548-82 устанавливает два способа нормирования допусков конусов.

*Способ 1* – совместное нормирование всех видов допусков допуском  $T_D$  диаметра конуса в любом сечении.

Допуск  $T_D$  определяет поле допуска конуса, ограниченное двумя предельными конусами, между которыми должны находиться все точки реальной поверхности конуса, и ограничивает не только отклонение диаметра, но и отклонения угла и формы конуса (рис. 7.7).

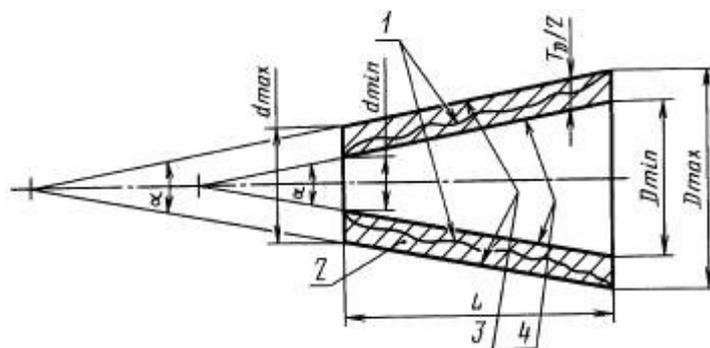


Рис. 7.7. Графическая интерпретация способа нормирования допусков конусов:

1 – реальная поверхность; 2 – поле допуска конуса;

3 – наибольший предельный конус; 4 – наименьший предельный конус

*Способ 2* – раздельное нормирование каждого вида допусков: допуска  $T_{DS}$  диаметра конуса в заданном сечении, допуска  $AT$  угла конуса, допуска  $T_{FL}$  прямолинейности образующей конуса.

Объекты угловых измерений в машиностроении и приборостроении многочисленны и разнообразны. Это приводит к необходимости использования разнообразных средств измерений, различных по точности, пределам измерений, производительности и назначению.

Важнейшим признаком, по которому классифицируют средства измерений углов и конусов, является тип (вид) меры, с которой сравнивают измеряемый угол.

К первой группе средств относят прототипы изделий (их часто называют «жесткими мерами») в виде угловых мер.

Вторая группа измерительных средств – гониометрических – объединяет приборы и устройства, с помощью которых измеряемый угол сравнивается с соответствующими значениями встроенной в прибор угломерной круговой или дуговой (секторной) шкалы.

Третья группа средств – тригонометрических – отличается тем, что мерой, с которой сравнивают измеряемое изделие, является угол прямоугольного треугольника.

Две стороны этого угла воспроизведены или измерены средствами и методами линейных измерений. Эта группа средств наиболее разнородная по пределам измерений и физическим принципам, положенным в основу их действия. В частности, к ней наряду с синусными и тангенсными устройствами, координатными приборами (в том числе автоматами для сортировки конусов) относятся также автоколлимационные и интерференционные приборы.

Классификация угломерных средств по указанным признакам позволяет изыскать закономерности, общие для средств, которые входят в данную классификационную группу, и характеризующие точность измерений.

В свою очередь приборы и устройства, входящие в каждую из групп, объединяются по физическому принципу, положенному в основу действия прибора, способу фиксации угла, конструкции и др.

При реализации метода сравнения измеряемого угла  $\alpha$  с углом образцовой меры  $A$  в качестве меры могут быть использованы призматическая угловая мера (плитка), угольник с рабочим углом  $90^\circ$  и конический калибр-пробка. Сущность метода (рис. 7.8) состоит в том, что мера  $A$ , установленная в нужном положении с помощью трех жестких упоров 1, будет приведена в это же положение и при повторной установке.

Следовательно, сколько бы раз ни устанавливали меру в это положение, индикатор 2 или другой контактный прибор для линейных измерений, измерительный наконечник которого соприкасается со стороной меры  $A$  на ее краю, должен каждый раз показывать один и тот же отсчет. Он будет показывать этот же отсчет, если вместо меры  $A$  будет установлено изделие  $B$  с точно таким же углом. Если же угол изделия отличается от угла меры, показание индикатора будет отличаться от показания при установке меры на  $\delta$ .

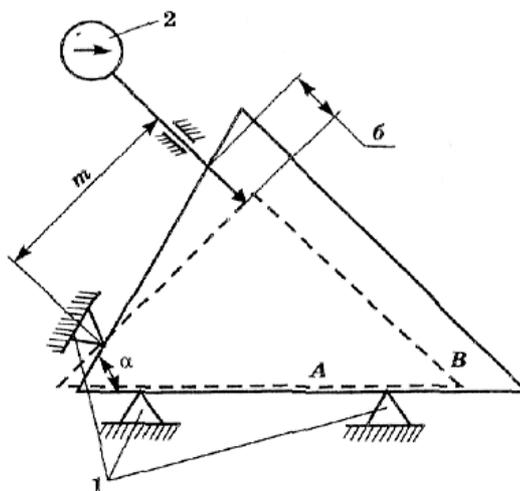


Рис. 7.8. Измерение угла сравнением мерой

Поскольку для данных условий измерений размер постоянен, шкала индикатора может быть отградуирована в угловых единицах, что дает возможность определять отклонения измеряемых углов изделий непосредственно по шкале индикатора.

Алгебраическая сумма измеренного отклонения  $\delta$  и действительного угла меры и составляет размер измеряемого рабочего угла. При изготовлении различных деталей машин в качестве измерительных средств применяют угловые шаблоны с углом, который должно иметь изделие, причем в большинстве случаев изделие подгоняют по шаблону без просвета.

Касание измерительных поверхностей с изделием должно быть линейным, в связи с чем для контроля изделий, углы которых образованы плоскими гранями, шаблоны изготовляют с лекальной (закругленной малым радиусом) поверхностью одной или обеих сторон рабочего угла.

В тех случаях, когда надо установить точный угол, образованный линиями или узкими гранями, угловые плитки можно применять вместо шаблона. Шаблоны контролируют угловыми плитками, а изделия – шаблонами на просвет.

Если углы изделия и шаблоны, а также допуск измеряемого угла обеспечивают отчетливо видимый просвет, можно применять предельные шаблоны, при контроле которыми устанавливают, находится ли измеряемый угол в пределах допускаемых значений.

Рабочие углы предельных шаблонов отличаются один от другого на значение всего поля допуска угла изделия.

Металлические угольники с рабочим углом  $90^\circ$  служат для проверки взаимной перпендикулярности плоскостей (линий) изделий, а также для проверки перпендикулярности относительных перемещений деталей машин. Кроме того, угольники применяют при различных монтажных работах. Формы, размеры и технические условия на угольники стандартизированы (ГОСТ 3749-77).

При измерении угла изделия  $B$  методом сравнения с углом угольника  $A$  (рис. 7.9) оценивают просвет между ними.

Отклонение угла изделия от угла угольника определяется отношением ширины просвета  $P$  к длине стороны угольника  $H$ .

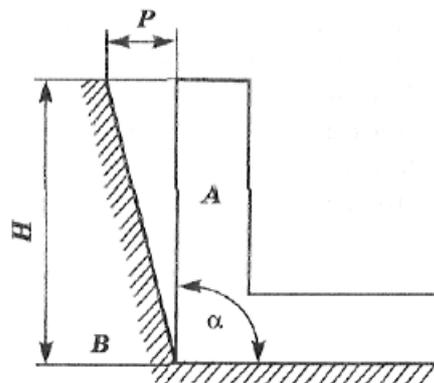


Рис. 7.9. Сравнение угла изделия с углом угольника

Поскольку размер  $H$  неизменен, просвет может служить мерой отклонений угловых величин так же, как и в предыдущем случае. Просвет можно наблюдать как у конца стороны угольника (угол изделия больше угла угольника), так и у вершины угла (угол изделия меньше угла угольника). При контроле на просвет необходимо установить отсутствие просвета между измерительными поверхностями или его значение. При обычной освещенности порядка 100...150 лк просвет между плоской поверхностью изделия и рабочей поверхностью лекальной линейки невооруженный глаз обнаруживает начиная примерно с 1,5...1 мкм. Угловая погрешность, вносимая зоной просвета, тем больше, чем короче протяженность контакта изделия и угольника. При ширине контакта 3...5 мм зона невидимого просвета может достигать 4 мкм. Если же при этом обе контактируемые поверхности не доведенные, а шлифованные, невидимый просвет может достигать до 6 мкм.

Для более точной оценки просветов, превышающих невидимую зону, применяют так называемый образец просвета.

Просвет, ширину которого предстоит оценить, сравнивают на глаз с набором аттестованных просветов и по идентичности щелей определяют его размер. При достаточном навыке и наличии лекальной поверхности у линейки такую оценку можно выполнить с погрешностью порядка 1...1,5 мкм при малых просветах (до 5 мкм) и 2...3 мкм при больших просветах (до 10 мкм). Для просвета свыше 10 мкм этот метод неприменим. При просветах от 20 мкм и более можно пользоваться щупами.

Для оценки просветов от 5 до 20 мкм применяют концевые меры длины. Если, например, требуется определить отклонение угла от  $90^\circ$  по угольнику, на одну из сторон измеряемого угла кладут концевую меру 1 (рис. 7.10), к которой подводят до упора угольник. Далее, пользуясь другими концевыми мерами 2 как щупами, определяют расстояние между верхней частью рабочей поверхности угольника и стороной измеряемого угла. При этом меру 2 можно подобрать по ощущению тугого контакта между изделием и угольником или на основе предельного метода. Этот метод заключается в том, что подбирают две меры с минимальной дискретностью. Одна из них входит в зазор между угольником и изделием, а другая нет.

Размер зазора можно принять как среднее арифметическое размеров двух плиток. Разность размеров мер 1 и 2 является искомой шириной просвета.

Контроль контактными приборами осуществляется следующим образом. На плите укрепляют стойку с прибором, ось которого расположена горизонтально, и упор. К упору подводят угольник так, чтобы при этом измерительный наконечник прибора переместился на некоторое расстояние, после чего устанавливают прибор на нуль или фиксируют отсчет (рис. 7.11). Далее угольник снимают и на его место ставят измеряемое изделие. Разность отсчетов, полученных при контакте прибора с угольником и изделием, отнесенная к расстоянию  $A$  между осью измерительного наконечника и рабочей поверхностью плиты, принимают за отклонение угла изделия.

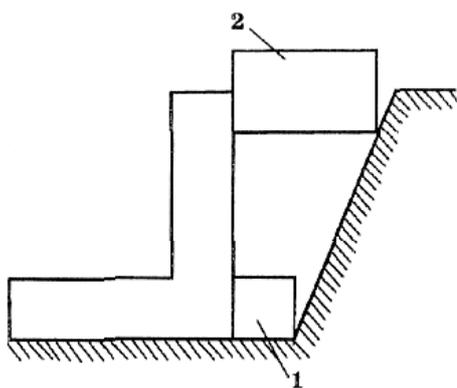


Рис. 7.10. Измерение угла с помощью угольника и концевых мер длин

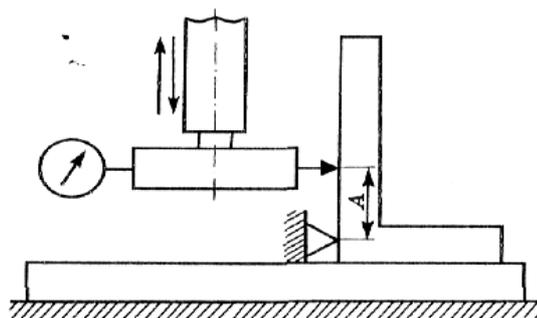


Рис. 7.11. Контроль угла с помощью показывающего прибора

Точность измерения углов с помощью жесткой угловой меры зависит в первую очередь от точности угла меры, с которым сравнивают угол изделия, или от точности определения его действительного значения. В последнем случае в результат измерения вносят поправку, равную откло-

нению действительного значения угла меры от номинального со знаком, обратным этому отклонению. Кроме того, точность результата измерения зависит от точности прибора, правильности базирования изделия и т.д.

Для одновременного контроля размеров конуса (наружного и внутреннего) применяются конусные калибры, которые изготавливают в комплекте.

Контроль изделий калибрами является комплексным, поскольку проверяется не только угол конуса, но также и его диаметр в расчетном сечении по положению калибра относительно изделия вдоль оси. Для этой цели на поверхности калибра имеются две ограничительные линии (соответственно уступ на калибре-втулке).

Угол конуса детали проверяют по прилеганию поверхности калибра к поверхности проверяемой детали. Для этого калибр тщательно вытирают от пыли, масла и наносят на его конусную поверхность слой краски (берлинской лазури), равномерно распределяя ее по всей поверхности. Затем калибр осторожно вставляют или надевают на проверяемую деталь (также заранее тщательно протертую) и поворачивают его на  $2/3$  оборота вправо и влево.

Если конусность калибра и проверяемой детали совпадает, краска будет стираться равномерно по всей образующей калибра. По доле стертой и оставшейся краски судят о годности детали по конусности. Толщина равномерно наносимого слоя краски  $0,002...0,01$  мм. Предельная погрешность этого метода измерения –  $20...24''$ .

При использовании конусных калибров необходимо следить, чтобы на их рабочих поверхностях и поверхностях контролируемых деталей отсутствовали различные забоины, царапины и т.д.

Для измерения внутренних конусов и клиновидных пазов применяют аттестованные шарики или цилиндры.

Приборами массового применения для деталей машин, реализующими гониометрическую схему измерения углов, являются угломеры. На каждую сторону измеряемого угла накладывают «без просвета» плоские грани линеек угломера. Обе линейки шарнирно соединены друг с другом. Одна из них связана с указателем, другая – с угломерной шкалой, имеющей общую ось с осью шарнира. Этот принцип для угломеров различных типов конструктивно реализован по-разному.

При применении тригонометрических схем измерений угол выражают как функцию длины сторон прямоугольного треугольника, измеряемой или воспроизводимой линейными мерами.

Применяют синусные и тангенсные схемы, основанные на измерении или воспроизведении противоположащего измеряемому углу катета (в обеих схемах), гипотенузы (при синусной схеме) или прилежащего катета (при тангенсной схеме).

Для небольших углов (примерно до  $15^\circ$ ) обе схемы по точности практически равноценны, но для больших углов погрешность измерения может быть значительной и здесь предпочтительна тангенсная схема.

Поскольку при применении тригонометрических устройств по значениям синусов или тангенсов определяют углы или размеры линейных отрезков, из которых составляют соответствующую измерительную схему, необходимо пользоваться таблицей тригонометрических функций. От того, сколько значащих цифр содержат таблицы для каждого значения угла, зависит точность его определения. Для практических измерений достаточно пяти значащих цифр.

При измерениях малых углов тригонометрическими устройствами синусная и тангенсная функции практически равны самим углам, поэтому для этих случаев важен вывод о том, что точность этих методов зависит главным образом от точности измерения малого катета.

Типичными примерами реализации тригонометрического метода измерений углов являются измерения с помощью синусных линеек и координатные методы.

Для угловых измерений и делительных работ при разметке и обработке деталей применяют оптические делительные головки.

## **7.5. Общие сведения о средствах измерения углов и конусов**

*Угловые призматические меры.* Угловые призматические меры являются наиболее точным средством измерения углов в машиностроении. Они предназначены для передачи размера единицы плоского угла от эталонов образцовым и рабочим угловым мерам и приборам, для поверки и градуировки мер и приборов и для измерения углов изделий.

Конструкции однозначных и многозначных угловых мер показаны на рисунке 7.12. Рабочие углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  мер заключаются между смежными измерительными поверхностями у угловых плиток – мер типа I, II и III; между нормальными к измерительным поверхностям у угловых призм – мер типа IV; между рабочими гранями и основанием у мер типа V. Число граней угловых призм может быть  $n = 4...15$ .

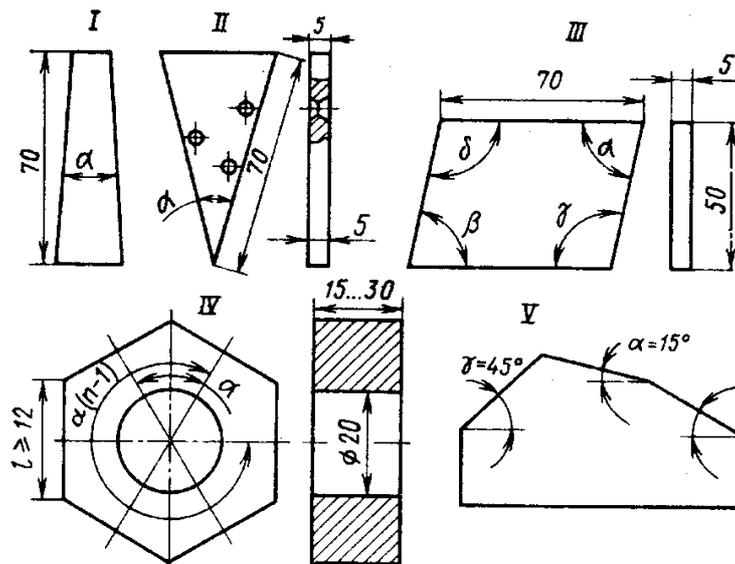


Рис. 7.12. Угловые призматические меры:  
I - V – типы мер

Измерительные поверхности угловых плиток обладают свойством притираемости. Плитки комплектуются в наборы. Порядок составления блоков плиток такой же, как у концевых мер длины. У кромок рабочих поверхностей плиток имеются отверстия, через которые с помощью набора принадлежностей плитки соединяются в блоки.

**Угольники.** Угольники поверочные  $90^\circ$  предназначены для проверки и разметки прямых углов изделий, для контроля изделий при сборке или монтаже и т.п.

Угольники выпускаются двух типов: лекальные (рис. 7.13, а) и слесарные (рис. 7.13, б). Они имеют измерительные и опорные поверхности. Размеры поверхностей измеряются в диапазоне от  $60 \times 40$  мм до  $1600 \times 1000$  мм. Угольники выпускаются трех классов точности 0, 1 и 2. При измерениях опорная поверхность угольника плотно без зазора прижимается к поверхности изделия (рис. 7.13, в). По размеру зазора  $b$  между измерительной поверхностью и поверхностью изделия на расстоянии  $l$  определяют отклонение от прямого угла.

**Универсальные угломеры.** Угломеры с нониусом выпускаются двух типов: УН – для измерения наружных и внутренних углов; УМ – для измерения наружных углов. Наружными называют углы  $0 \dots 180^\circ$ , так как измерительные поверхности приборов охватывают изделие, а внутренними – углы больше  $180^\circ$ .

Угломер УН (рис. 7.14, а) состоит из основания 2 с угловой шкалой, имеющей диапазон показаний  $90^\circ$  и цену деления  $C = 1^\circ$ .

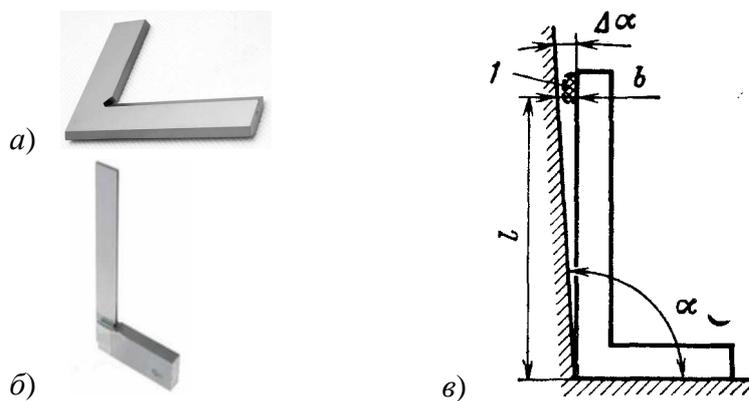


Рис. 7.13. Угольники: *a* – лекальные; *б* – слесарные; *в* – методика контроля отклонений от прямого угла

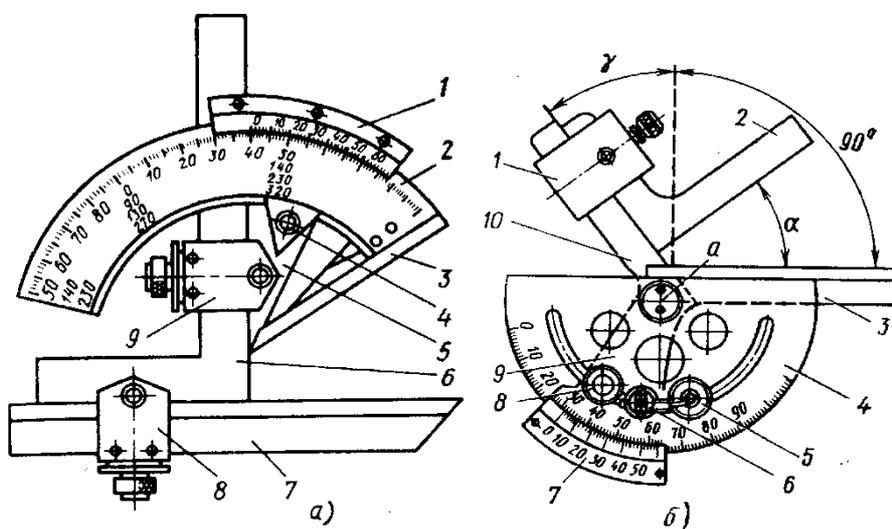


Рис. 7.14. Нониусный угломер: *a* – модель УН; *б* – модель УМ

На основании 2 закреплены основная линейка 3 и подвижный сектор 5 с нониусом 1. Стопор 4 фиксирует сектор в нужном положении. С помощью державки 9 к сектору можно прикрепить угольник 6, к которому державкой 8 можно присоединять съемную линейку 7. Последнюю можно устанавливать на сектор 5. В полностью собранном виде между плоскостями основной и съемной линейки измеряют углы  $0...50^\circ$ . Если на секторе 5 установлена съемная линейка 7, то измерения выполняются в пределах  $140...200^\circ$ . Между плоскостями сектора 5 и основной линейки 3 углы измеряются в пределах  $230...320^\circ$ . Полный диапазон измерений угломера УН составляет  $0...320^\circ$ .

Угломер УМ (рис. 7.14, б) также имеет основание 4 с угловой шкалой с диапазоном показаний  $90^\circ$ . С основанием жестко скреплена съемная линейка 3. Подвижная линейка 10 выполнена заодно с сектором 9, несущим нониус 7. Сектор поворачивается вокруг оси *a* и фиксируется стопором 8.

## Лекция 8. ДОПУСКИ РЕЗЬБОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ И СОЕДИНЕНИЙ

### 8.1. Общая классификация резьбы

Резьбовые соединения широко распространены в машиностроении (в большинстве современных машин свыше 60% всех деталей имеют резьбу).

Резьбы классифицируются:

- 1) по профилю винтовой поверхности (т.е. по контуру осевого сечения) – на треугольные, трапецеидальные, пилообразные (упорные), круглые и др.;
- 2) по форме поверхности, на которой образована резьба, – на цилиндрические и конические, наружные и внутренние;
- 3) по направлению винтового движения резьбового контура – на правые и левые;
- 4) по числу заходов – на одно- и многозаходные;
- 5) по эксплуатационному назначению различают резьбы общего применения и специальные, предназначенные для соединения одного типа деталей определенного механизма.

К первой группе относятся резьбы:

- *крепежные* – метрическая, дюймовая, применяемые для разъемного соединения деталей машин, главное требование к которым – обеспечить точность соединений и сохранить плотность (нераскрытие) стыка в процессе эксплуатации.
- *кинематические* – трапецеидальная и прямоугольная, применяемые для ходовых винтов столов измерительных приборов и т.п., главное требование к которым – обеспечить точное перемещение при наименьшем трении.
- *трубные и арматурные резьбы* – применяемые для трубопроводов и арматуры разнообразного назначения, главное требование к которым – обеспечить герметичность соединений.

Ко второй группе относят, например, резьбы объективов микроскопов.

Общие требования для всех резьб – обеспечение свинчиваемости независимо изготовленных деталей без какой-либо пригонки и надежное выполнение предписанных эксплуатационных требований.

Например, длительно сохранять прочность соединения, обеспечивать плавность хода и высокую нагрузочную способность (домкраты, прессы), точность перемещения (ходовые винты станков) и т.д.



Шаг резьбы  $P$  – расстояние между соседними одноименными боковыми сторонами профиля, измеренное в направлении, параллельном оси, на расстоянии, равном половине среднего диаметра от этой оси.

Ход резьбы  $t$  – величина относительно осевого перемещения винта (гайки) за один оборот, определяемая расстоянием между ближайшими одноименными боковыми сторонами профиля, принадлежащими одной и той же винтовой поверхности в направлении, параллельном оси резьбы.

$$t = P - n, \quad (8.1)$$

где  $n$  – число заходов резьбы;

$\alpha$  – угол профиля резьбы – угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости.

Половина угла профиля  $\alpha/2$  – угол между боковой стороной профиля и перпендикуляром, опущенным из вершины исходного профиля симметричной резьбы на ось резьбы.

Измеряя  $\alpha/2$ , можно установить не только величину  $\alpha$ , но и перекос резьбы, происходящий от неточной установки инструмента или изделия.

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

Рабочая высота профиля  $H_1$  – высота соприкосновения сторон профиля наружной и внутренней резьбы в направлении, перпендикулярном к оси резьбы.

Длина свинчивания резьбы (высота гайки)  $l$  – длина соприкосновения винтовых поверхностей наружной и внутренней резьбы в осевом направлении;  $l = 0,8 d$  – высота стандартных гаек.

Метрические резьбы бывают с крупным и мелким шагом. Установлено 3 ряда диаметров метрической резьбы, и каждый диаметр имеет крупный и мелкие шаги с тем, чтобы при выборе резьб первый ряд предпочитать второму и третьему рядам. У резьбы с крупным шагом каждому наружному диаметру соответствует шаг, определяемый по зависимости

$$d \approx 6P^{1,3}. \quad (8.2)$$

У резьбы с мелкими шагами одному и тому же наружному диаметру могут соответствовать разные шаги. Метрические резьбы с мелкими шагами применяют при соединении тонкостенных деталей, ограниченной длине свинчивания и т.д.

### 8.3. Основы взаимозаменяемости резьбы

**Предельные контуры резьбы.** На длине свинчивания резьбовых деталей расположено несколько витков резьбы, образующих резьбовой контур (рис. 8.2).

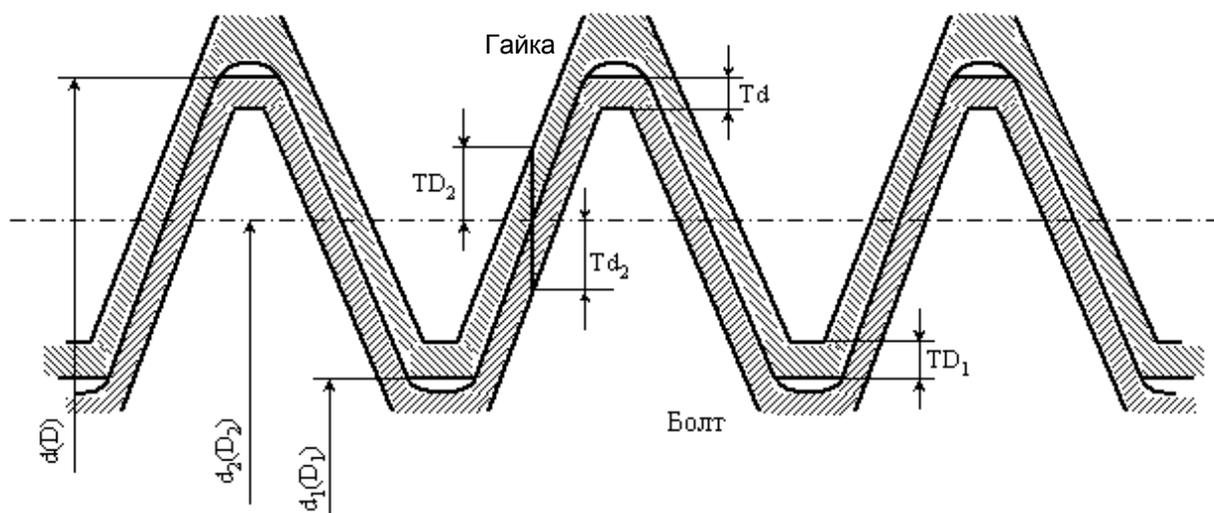


Рис. 8.2. Схема расположения полей допусков резьбы

Для обеспечения взаимозаменяемости деталей устанавливают предельные контуры резьбы болта и гайки. Для обеспечения свинчиваемости действительные контуры свинчиваемых деталей не должны выходить за предельные контуры по всей длине свинчивания.

Толстой линией показан номинальный контур резьбы, определяющий наибольший предельный контур резьбы болта и наименьший – гайки. Он является контуром максимума материала на обработку. От номинального контура в направлении, перпендикулярном оси резьбы, отсчитывают отклонения и располагают в сторону оси поля допусков диаметров резьбы болта, в противоположную сторону – поля допусков диаметров резьбы гайки, определяющие наименьший предельный контур болта и наибольший – гайки.

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, определяемые действительными значениями диаметров, угла и шага резьбы, не должны выходить за предельные контуры на всей длине свинчивания. Соблюдение номинального контура лучше всего проверяется проходными резьбовыми калибрами (они

должны свинчиваться с проверяемой резьбой). Наименьший предельный контур болта ( $d_{2min}$  и  $d_{1min}$ ) и наибольшей гайки ( $D_{2max}$  и  $D_{1max}$ ) контролируют непроходными резьбовыми калибрами (они не должны свинчиваться или проходить) или определяют эти диаметры с помощью универсальных измерительных средств.

**Отклонения шага и угла профиля резьбы.** У всех цилиндрических резьб с прямолинейными боковыми сторонами профиля отклонения шага и угла профиля для обеспечения свинчивания могут быть скомпенсированы соответствующим изменением действительного среднего диаметра резьбы.

Отклонением шага резьбы  $\Delta P$  называется разность между действительным и номинальным расстоянием в осевом направлении между двумя средними точками любых одноименных боковых сторон профиля в пределах длины свинчивания или заданной длины.

Отклонение шага складывается из прогрессивных погрешностей шага, возрастающих пропорционально количеству витков резьбы на длине свинчивания  $l$ , периодических, изменяющихся по периодическому закону, и местных, не зависящих от количества витков резьбы на длине свинчивания (рис. 8.3).

Свинчивание резьбовых деталей, не имеющих погрешность шага резьбы, возможно только при наличии разности  $f_p$  их средних диаметров, полученной за счет уменьшения среднего диаметра резьбы болта или увеличения среднего диаметра резьбы гайки.

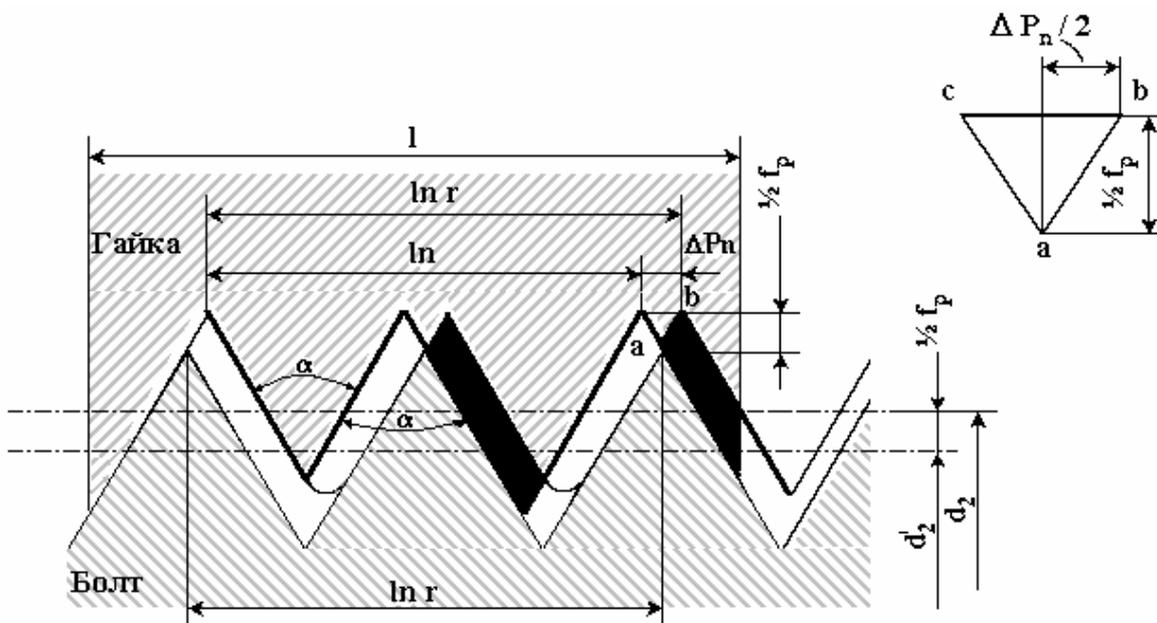


Рис. 8.3. Схема возникновения погрешности шага

Предположим, что гайка не имеет погрешностей шага, а болт имеет погрешность шага на длине свинчивания  $\Delta P_{II}$

$$\Delta P_{II} = P_{II_6} - P_{II_2}. \quad (8.3)$$

При равенстве диаметров резьбы болта и гайки эти детали не свинчиваются, так как правые боковые стороны профиля резьбы болта и профиля резьбы гайки не совместятся. При уменьшении среднего диаметра резьбы болта на  $f_p$  профиль его резьбы сместится к оси в верхней части резьбы на  $0,5 f_p$  и в нижней части резьбы также на  $0,5 f_p$ . Новое положение профиля резьбы болта показано пунктиром. Кроме того, весь болт может быть смещен влево на величину  $ab$ . Следовательно, при  $ab = a'b' = 0,5\Delta P_{II}$  боковая сторона  $EF$  профиля резьбы болта может быть совмещена с боковой стороной  $CD$  профиля резьбы, т.е. свинчивание станет возможным.

$$\frac{f_p}{2} = \frac{\Delta P_n}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (8.4)$$

при  $\alpha = 60^\circ$

$$f_p = \Delta P_n \cdot \operatorname{ctg} 30^\circ = 1,732\Delta P_{II} \quad (8.5)$$

**Приведенный средний диаметр резьбы.** Свинчиваемость будет обеспечена только в том случае, если разность средних диаметров резьб болта и гайки будет не меньше сумм диаметральных компенсаций погрешностей шага и половины угла профиля обеих деталей. Для упрощения контроля резьбы и расчета допусков введено понятие приведенного среднего диаметра резьбы, учитывающего влияние на свинчиваемость величин  $d_2(D_2)$ ,  $f_p$  и  $f_\alpha$ , где  $f_\alpha$  – суммарная диаметральная компенсация отклонения половины угла профиля.

У всех цилиндрических резьб с прямолинейными боковыми сторонами профиля отклонения угла профиля для обеспечения свинчивания могут быть скомпенсированы соответствующим изменением действительного среднего диаметра резьбы.

**Отклонением половины угла профиля резьбы ( $f_\alpha$ )** болта или гайки (для резьб с симметричным профилем) называют разность между действительными и номинальными значениями  $\alpha/2$ . Эта погрешность может быть вызвана погрешностью полного угла профиля (при равенстве половин угла), перекосом профиля относительно оси детали (когда биссектриса угла симметричного профиля не перпендикулярна оси резьбы) и сочетанием обоих факторов.

Значение среднего диаметра резьбы, увеличенное для наружной резьбы или уменьшенное для внутренней резьбы на суммарную диаметральную компенсацию отклонений шага и угла наклона боковой стороны профиля, называется приведенным средним диаметром.

Приведенный средний диаметр определяется по формулам:

– для наружной резьбы

$$d_{2np} = d_{2изм} + f_p + f_\alpha; \quad (8.6)$$

– для внутренней резьбы

$$D_{2np} = D_{2изм} - (f_p + f_\alpha). \quad (8.7)$$

**Суммарный допуск среднего диаметра резьбы.** Средний диаметр, шаг и угол профиля являются основными параметрами резьбы, так как они определяют характер контакта резьбового соединения. Однако вследствие взаимосвязи между отклонениями шага, угла профиля и собственно среднего диаметра допустимые отклонения этих параметров отдельно не нормируют. Устанавливают только суммарный допуск на средний диаметр болта  $Td_2$  и гайки  $TD_2$ , который включает допустимое отклонение собственно среднего диаметра  $\Delta d_2$  ( $\Delta D_2$ ) и диаметральные компенсации погрешности шага и угла профиля, т.е.

$$Td_2(TD_2) = \Delta d_2(\Delta D_2) + f_p + f_\alpha. \quad (8.8)$$

Верхний предел суммарного допуска среднего диаметра наружной резьбы ограничивает величину приведенного среднего диаметра  $d_{2npmax}$ , а нижний предел – величину собственно среднего диаметра  $d_{2min}$ . Для внутренней резьбы – это допуск, нижний предел которого ограничивает величину приведенного среднего диаметра  $D_{2npmin}$ , а верхний предел – величину собственно среднего диаметра  $D_{2max}$ . Тогда условия годности резьбы имеют следующий вид:

$$d_2 \geq d_{2min}; \quad d_{2np} \leq d_{2max}, \quad (8.9)$$

$$D_2 \geq D_{2min}; \quad D_{2np} \geq D_{2min}. \quad (8.10)$$

## 8.4. Система допусков и посадок метрических резьб

Внутренние и наружные резьбы соединяются по боковым сторонам профиля. Возможность контакта по вершинам и впадинам резьбы исключается соответствующим расположением полей допусков по  $d(D)$  и  $d_1(D_1)$ . В зависимости от характера сопряжения по боковым сторонам профиля (т.е. по среднему диаметру) различают резьбы со скользящей посадкой, с зазором, натягом и переходными посадками.

Система допусков и посадок метрической резьбы регламентирована ГОСТ 16093-81, предусматривающим допуски посадок с зазором.

1. Степени точности резьбы. Допуски диаметров резьбы устанавливаются степенями точности, обозначенные цифрами: с 3 по 9.

Вид резьбы	Степени точности
Диаметры наружной резьбы: – внутренний $d_1$ ; – средний $d_2$	4; 6; 8 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9
Диаметры внутренней резьбы: – внутренний $D_1$ ; – средний $D_2$	4; 5; 6; 7; 8 4; 5; 6; 7; 8

Допуск внутреннего диаметра  $d_1$  наружной резьбы и наружного диаметра  $D$  внутренней резьбы не устанавливаются.

Допуски среднего диаметра являются суммарными.

2. Допуски резьбы. Основным рядом допусков для всех диаметров, в соответствии с рекомендацией ISO, принят ряд по 6-й степени точности.

3. Поле допусков резьбы (рис. 8.4). Положение поля допуска диаметра резьбы определяется основным отклонением (верхним  $es$  для наружной резьбы и нижним  $EI$  для внутренней). Для получения посадок резьбовых деталей с зазором предусмотрено 5 основных отклонений для наружной и 4 для внутренней резьбы. Эти отклонения одинаковы для  $d_1$ ;  $d_2$  и  $D_1$ ;  $D_2$ . Выбранная величина основного отклонения соблюдается единой по всему периметру профиля, т.е. распространяется и на ненормируемые  $d$  и  $D$ .

Отклонения  $d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $E$ ,  $F$ ,  $G$  преимущественно назначают для резьб с защитными покрытиями.

Отклонения отсчитываются от номинального профиля резьбы в направлении, перпендикулярном оси резьбы (рис. 8.5).

Поле допуска диаметра резьбы образуется сочетанием допуска и основного отклонения.

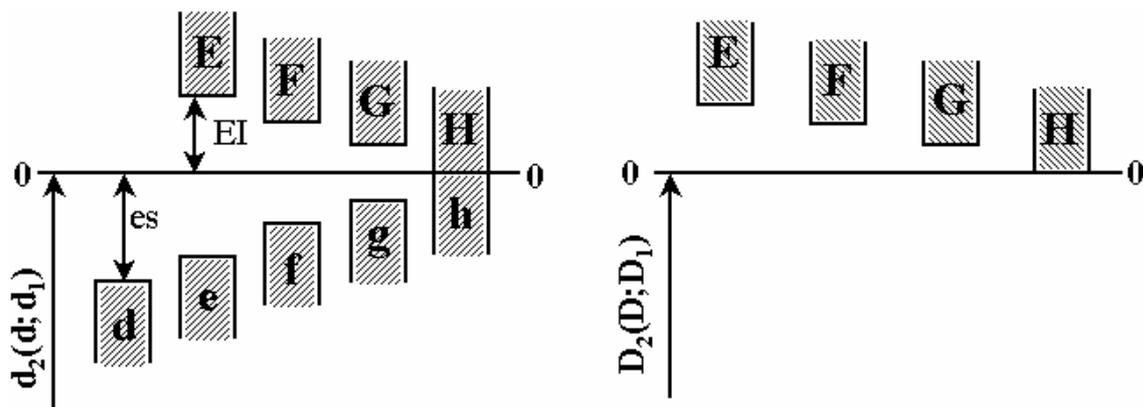


Рис. 8.4. Схема расположения полей допусков резьбы

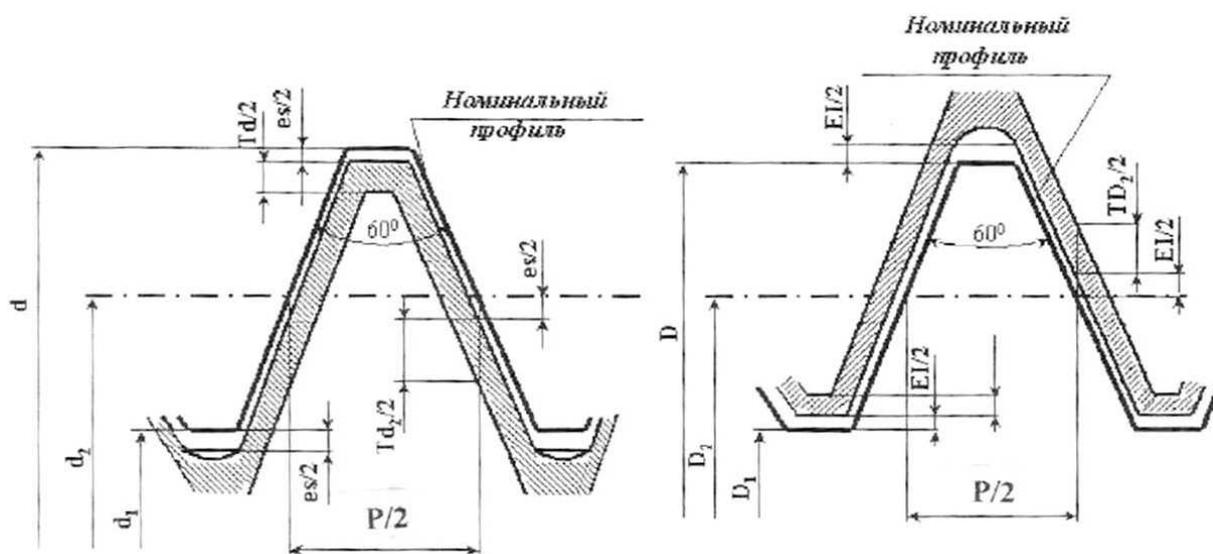


Рис. 8.5. Схемы расположения полей допусков наружной и внутренней резьбы в посадках с зазором

Поле допуска резьбы образуется сочетанием поля допуска среднего диаметра с полем допуска диаметра выступов (наружного диаметра  $d_1$  для наружной резьбы и внутреннего диаметра  $D_1$  для внутренней резьбы).

Поля допусков резьбы устанавливаются в классах точности – точный, средний и грубый – в зависимости от длины свинчивания.

**Длина свинчивания.** Для выбора степени точности в зависимости от длины свинчивания установлены три группы свинчивания:  $S$  – короткие,  $N$  – нормальные и  $L$  – длинные.

К нормальной ( $N$ ) длине свинчивания относятся длины свыше  $2,24Pd^{0,2}$  до  $6,7Pd^{0,2}$ . Длины свинчивания, меньше нормальной, относятся к группе  $S$ , а больше – к группе  $L$ .

**Классы точности резьбы.** В соответствии со сложившейся во многих странах практикой поля допусков сгруппированы в 3 классах точности: точном, среднем и грубом.

Понятие о классах точности условное (на чертежах указывают не классы, а поля допусков), оно используется для сравнительной оценки точности резьбы.

Точный класс – для ответственных статически нагруженных резьбовых соединений. Средний класс – для резьб общего применения. Грубый класс – при нарезании резьбы в длинных глубоких отверстиях.

### **8.5. Обозначения на чертежах полей допусков и посадок метрической резьбы**

Обозначение поля допуска резьбы следует за обозначением размера резьбы.

Примеры обозначения точности резьбы:

– с крупным шагом

болт М12 – 6g ; гайка М12 – 6H ;

– с мелким шагом

болт М12×1 – 6g ; гайка М12×1 – 6H.

Посадки резьбовых деталей обозначают дробью, в числителе которой указывают поле допуска гайки, а в знаменателе – поле допуска болта, например: М12 – 6H/6g; М12×1 – 6H/6g.

Длину свинчивания  $N$  в условном обозначении резьбы не указывают.

### **8.6. Общие сведения о методах и средствах контроля и измерений резьбовых поверхностей**

Резьба представляет собой сложную поверхность, характеризующуюся несколькими элементами, поэтому для определения точности ее выполнения используются два метода: поэлементный, когда каждый элемент измеряется отдельно, и комплексный, когда контроль всех элементов ведется одновременно.

Различают резьбоизмерительные инструменты для комплексного контроля и для измерения отдельных параметров: наружной и внутренней резьб; цилиндрической и конической резьб; ходовых винтов и т.п. Наибольшим разнообразием отличаются резьбоизмерительные инструменты для измерения наружных резьб. Внутренние резьбы обычно измеряют по слепкам.

Шаг резьбы измеряют резьбовыми шаблонами (рис. 8.6). Резьбовой шаблон представляет собой пластину, на которой нанесены зубцы с шагом резьбы, обозначаемым на плоскости шаблона. Набор шаблонов для метрической или дюймовой резьбы скрепляется в кассету. Резьбовыми шаблонами определяют только шаг резьбы.

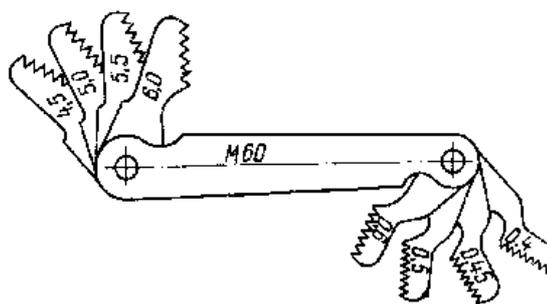


Рис. 8.6. Резьбовые шаблоны

Правильность выполненной на детали внутренней и наружной резьбы комплексно оценивают с помощью резьбовых калибров. Резьбовые калибры разделяются на проходные, имеющие полный профиль резьбы и являющиеся как бы прототипом детали резьбового соединения, и непроходные, контролирующие только средний диаметр резьбы и имеющие укороченный профиль (рис. 8.7). Перед контролем проверяемые детали необходимо очистить от стружки и грязи. С калибрами следует обращаться осторожно, чтобы на рабочей резьбовой поверхности не появились забоины и царапины.

Для измерения наружного, среднего, внутреннего диаметров и шага резьбы применяют резьбовые микрометры (рис. 8.8, 8.9).

Резьбовой микрометр имеет в шпинделе и пятке посадочные отверстия, в которые устанавливают комплекты сменных вставок, соответствующие измеряемым элементам резьбы. Для удобства измерений резьбовой микрометр закрепляют в стойке, а затем настраивают по шаблону или эталону. При настройке микрометра по резьбовым эталонам погрешность измерений составляет 0,01 – 0,1 мм.

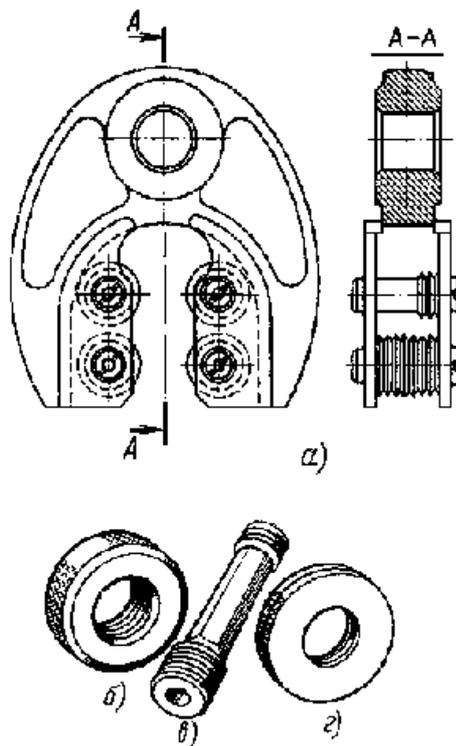


Рис. 8.7. Резьбовые калибры:  
*a* – предельная резьбовая роликовая скоба;  
*б* – проходное кольцо;  
*в* – резьбовой калибр;  
*г* – непроходное кольцо

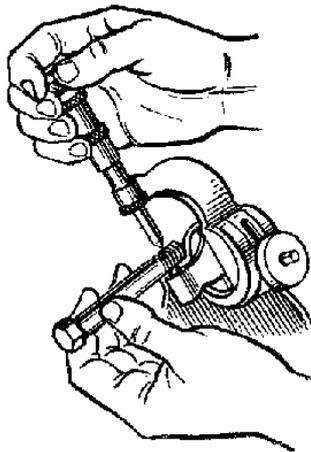


Рис. 8.8. Резьбовой микрометр

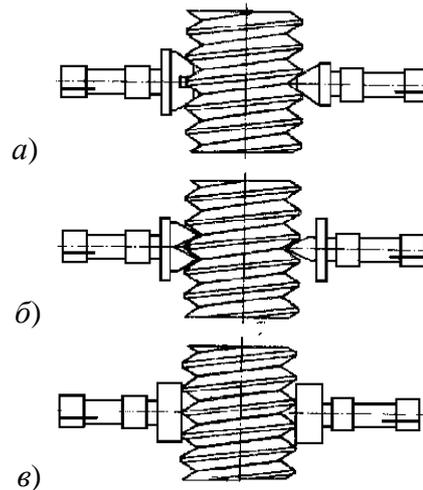


Рис. 8.9. Схема измерения резьбовым микрометром: *a* – среднего диаметра; *б* – внутреннего диаметра; *в* – наружного диаметра

К средствам комплексного контроля, используемым при приемке готовых деталей, относятся проходные и непроходные калибры, с помощью которых определяют, находятся ли в допусковых пределах размеры сопрягаемых винтовых поверхностей (болт и гайка) на длине свинчивания. Проходным калибром, который должен при проверке свинчиваться, контролируют так называемый приведенный средний диаметр (искусственно созданный контрольный параметр), обеспечивающий сопряжение резьбового соединения. Для комплексного контроля пользуются также индикаторными резьбоизмерительными инструментами с резьбовыми измерительными элементами (рис. 8.10).

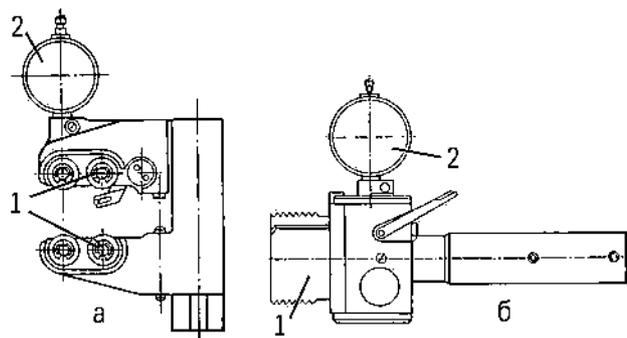


Рис. 8.10. Схемы индикаторных приборов для измерения наружной (*a*) и внутренней (*б*) резьб: 1 – резьбовые измерительные элементы; 2 – отсчетное устройство

Резьбоизмерительные инструменты, предназначенные для измерения отдельных параметров наружной резьбы – среднего диаметра, профиля и шага, используют при определении точности технологического процесса

или для оценки эксплуатационных свойств специальных точных резьбовых деталей (ходовых винтов, винтов микрометров, резьбовых калибров и т.п.). Для измерения среднего диаметра применяют микрометры со вставками, имеющими резьбовой профиль.

Один из способов определения среднего диаметра точной резьбы – измерение с помощью проволочек (роликов), которые закладывают между витками резьбы и каким-либо измерительным средством – оптиметром, микрометром и др. Определяют размер по высоте, на которую выступают проволочки над наружным диаметром резьбы. Пользуются также специальными приспособлениями с тремя, двумя или одной проволочкой, а при измерении среднего диаметра внутренней резьбы – нутромерами специальной конструкции или приборами со сменными сферическими наконечниками.

Измерение профиля резьбы в деталях с относительно крупным шагом (ходовые винты, червяки) производят приборами, измерительный узел которых разворачивается на угол профиля резьбы, и наконечник перемещается вдоль ее боковой поверхности. Иногда для этой цели пользуются угломерами специальной конструкции (рис. 8.11).

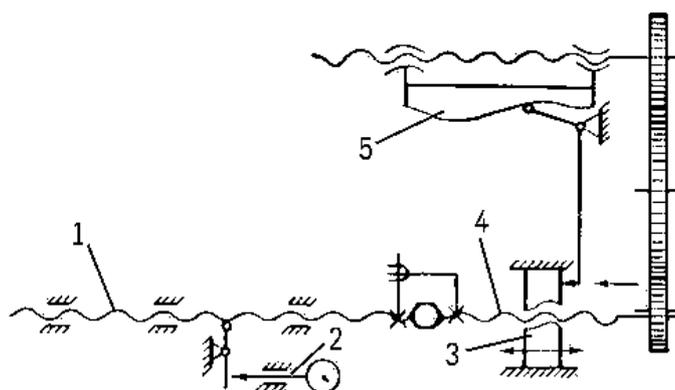


Рис. 8.11. Прибор для измерения резьбы ходовых винтов методом сравнения с образцовым винтом: 1 – измеряемый винт; 2 – отсчетное или регистрирующее устройство; 3 – коррекционная линейка образцового винта; 4 – образцовый винт; 5 – гайка образцового винта

Шаг резьбы обычно определяют в осевом сечении на инструментальных и универсальных микроскопах и проекторах. Для контроля точных резьбовых деталей (например, ходовых винтов) служат приборы, обеспечивающие непрерывное измерение шага винтовой линии при вращении детали. Измерение осуществляют методом сравнения реальной винтовой линии с теоретической винтовой линией, воспроизводимой на приборе с помощью образцового винта, или импульсных линейных и угловых датчиков, выдающих импульсы с частотой, пропорциональной линейным перемещениям винтовой поверхности за определенный угол поворота.

## Лекция 9. ДОПУСКИ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ПЕРЕДАЧ

### 9.1. Основные элементы зубчатого колеса и передачи

Зубчатая передача – это механизм, который с помощью зубчатого зацепления передает или преобразует движение с изменением угловых скоростей и моментов. Обычно зубчатая передача состоит из двух колес. Меньшее из колес передачи принято называть *шестерней*, а большее – *колесом*. Термин «зубчатое колесо» является общим для передачи.

У зубчатого колеса различают *тело колеса* и *зубчатый венец*; колесо, радиус которого равен бесконечности, называют *зубчатой рейкой* (рис. 9.1).

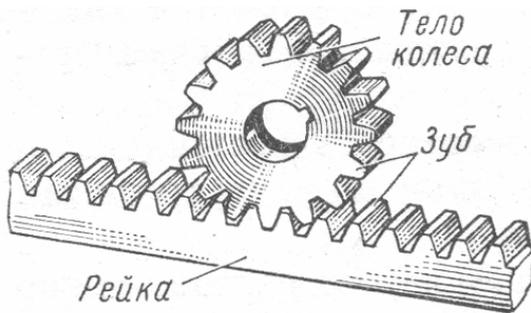


Рис. 9.1. Передача зубчатое колесо-рейка

Зубчатые передачи применяют для преобразования и передачи вращательного движения между валами с параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Зубчатые передачи применяют для преобразования и передачи вращательного движения между валами с параллельными, пересекающимися и перекрещивающимися осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

### 9.2. Классификация зубчатых передач

Зубчатые передачи можно классифицировать по следующим признакам:

- по взаимному расположению осей валов;
- по расположению зубьев на поверхности колес;
- по форме профиля зубьев;
- по взаимному расположению зубчатых колес в передаче;
- по конструктивному исполнению;
- по характеру движения осей;
- по величине окружной скорости;
- по характеру и величине передаваемой силы.

По взаимному расположению осей валов различают передачи (рис. 9.2): *цилиндрические* (а – г) – с параллельными осями; *конические* (д, е) – с пересекающимися осями; *гиперболоидные* (з, ж) – со скрещивающимися осями; *реечные* (и).

По расположению зубьев на поверхности колес различают передачи (см. рис. 9.2): *прямозубые* (а, г, д, и), *косозубые* (б), *шевронные* (в) и с *круговым зубом* (е).

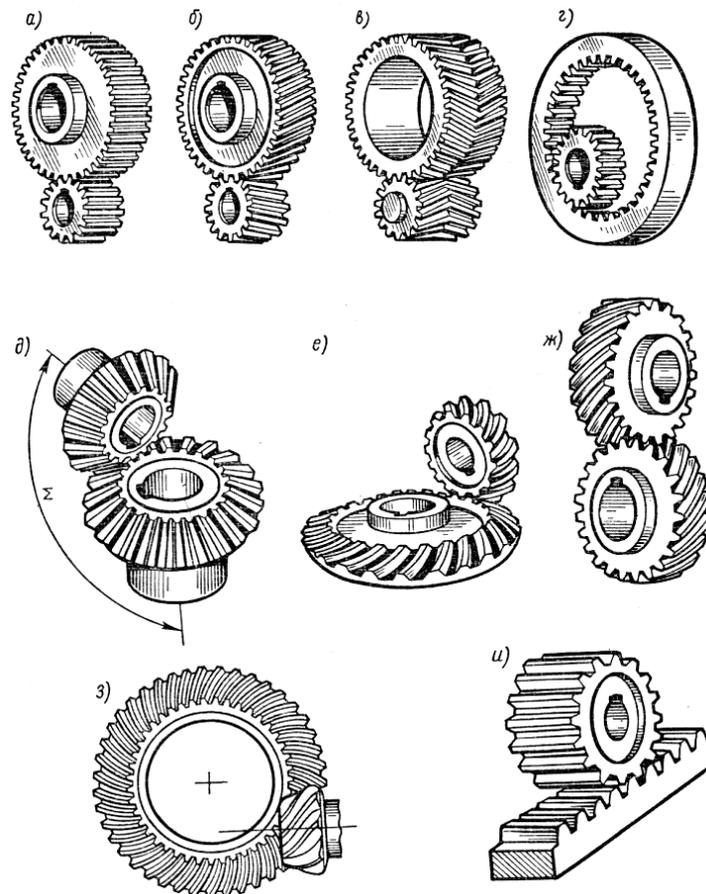


Рис. 9.2. Зубчатые передачи: *а* – цилиндрическая прямозубая; *б* – цилиндрическая косозубая; *в* – цилиндрическая шевронная; *г* – цилиндрическая с внутренним зацеплением; *д* – коническая прямозубая; *е* – коническая косозубая; *ж* – цилиндрическая винтовая; *з* – коническая винтовая (гипоидная); *и* – реечная

По форме профиля зубьев различают передачи эвольвентные, циклоидальные и с зацеплением Новикова.

По взаимному расположению зубчатых колес различают передачи (см. рис. 9.2) с внешним (*а*, *б*, *в*) и внутренним (*г*) зацеплением.

По конструктивному исполнению передачи могут быть открытыми, расположенные вне корпуса и имеющие легкое ограждение, и закрытые, расположенные в корпусе и изолированные от внешней среды.

По характеру движения осей передачи можно разделить на рядные, имеющие неподвижные геометрические оси всех колес, и планетарные передачи, в которых оси одного или нескольких колес подвижны.

По величине окружной скорости различают передачи: тихоходные ( $v \leq 3$  м/с), среднескоростные ( $v = 3 \dots 15$  м/с), скоростные ( $v = 15 \dots 40$  м/с) и быстроходные ( $v \leq 3$  м/с).

По характеру и величине передаваемой силы различают силовые передачи, использующие для передачи значительных мощностей, и кинематические, выполняющие кинематические функции и практически не передающие мощности.

### 9.3. Краткие сведения об изготовлении зубчатых колес

В зависимости от материала, формы и размеров колес заготовки для них получают литьем, ковкой или штамповкой. Формирование зубьев осуществляют нарезанием, накаткой и литьем.

Нарезание зубьев выполняют двумя методами – копированием и обкаткой.

При использовании метода *копирования* впадина между зубьями вырезается специально спрофилированным инструментом – фрезой, протяжкой, шлифовальным кругом (рис. 9.3, а, б). Этот метод малопроизводителен и неточен. Применяется для нарезания крупномодульных цилиндрических прямозубых, косозубых и шевронных колес, а также в ремонтном производстве.

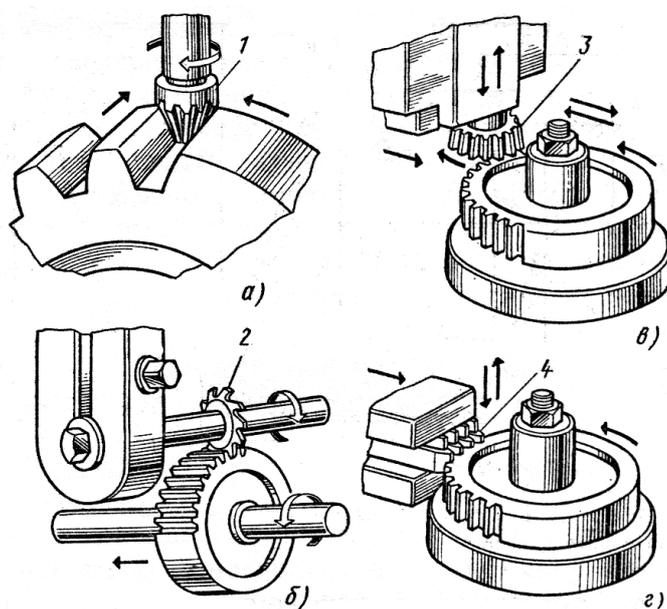


Рис. 9.3. Нарезание зубчатых колес копированием с помощью фрез и обкаткой с помощью долбяка и гребенки:  
1 – пальцевая фреза; 2 – модульная дисковая фреза; 3 – долбяк; 4 – гребенка

Метод *обкатки* основан на воспроизведении зацепления зубчатой пары. Одной из зубчатых деталей является обрабатываемая заготовка,

а второй – зуборежущий инструмент (рис. 9.3, в, г). В процессе нарезания заготовка вращается вокруг своей оси, а долбяк или гребенка совершают возвратно-поступательное движение по вертикали и поступательное движение параллельно касательной заготовке. В качестве зуборежущего инструмента применяются и червячные фрезы, имеющие в осевом сечении форму инструментальной рейки. Метод обкатки дает непрерывный процесс нарезания, что обеспечивает повышенную производительность и точность по сравнению с методом копирования.

Точные зубчатые колеса подвергаются отделочным операциям: шевингованию, шлифованию, притирке и др.

Мелкомодульные зубчатые колеса изготавливают и *накатыванием* (обработкой давлением). После накатывания улучшается структура поверхностного слоя, что обеспечивает повышение прочности зубьев на 15...20%. Накатывание – высокопроизводительный метод изготовления зубчатых колес, сокращающий отход металла в стружку. Применяется в массовом производстве.

*Литье* используют для изготовления открытых массивных тихоходных зубчатых колес пониженной точности (в поворотных механизмах башенных кранов, бетономешалок, лебедок и др.) и пластмассовых зубчатых колес.

#### 9.4. Эвольвентное зацепление зубчатых колес

В машиностроении применяются в основном зубчатые передачи с эвольвентным зацеплением, названным так по форме боковой поверхности зубьев. Эвольвента (от латинского *evolvere*) означает разворачивать, разматывать. В простейшем случае у цилиндрических прямозубых колес профиль боковой поверхности зубьев является разверткой окружности.

**Эвольвента и ее свойства.** Если на диск 3 (рис. 9.4) с радиусом  $r_b$  намотать нить 2, а на свободном конце нити завязать петлю и вставить в нее острие карандаша, то при сматывании натянутой нити с диска карандаш очертит на плоскости, перпендикулярной оси диска, кривую 1, называемую эвольвентой.

Прямую линию (натянутую нить), перекатывающуюся без скольжения по

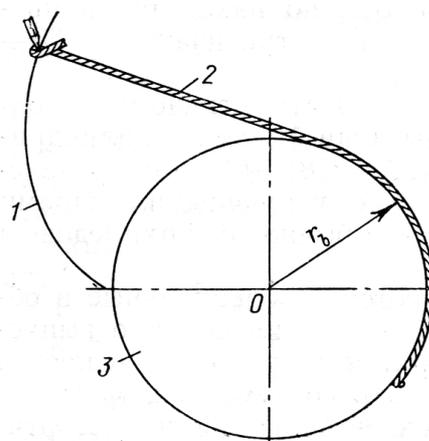


Рис. 9.4. Образование эвольвенты

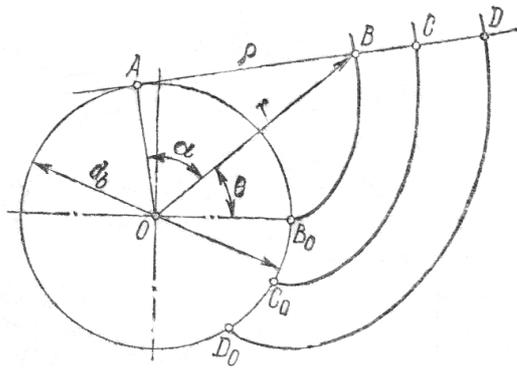


Рис. 9.5. Эвольвента окружности и семейство эвольвент

окружности радиуса  $r_b$ , называют *производящей прямой*, а окружность, по которой перекачивается эта прямая линия – *основной окружностью* или *эволютой*. Если на нити, с помощью которой построена эвольвента, завязать ряд узелков, расположенных на равных расстояниях друг от друга, то при сматывании нити с диска радиусом  $r_b$ , каждый узелок опишет эвольвенту (рис. 9.5).

Построенные таким образом эвольвенты представляют как бы одну сторону зубьев цилиндрических прямозубых колес, другая сторона которых образуется точками производящей прямой, перекачиваемой по основной окружности в противоположном направлении.

Очевидно, что расстояние между двумя соседними эвольвентами, измеренное вдоль натянутой нити, т.е. по прямым, касательным к основной окружности, будет постоянным и равным длине дуги этой окружности между начальными точками двух соседних эвольвент. Это расстояние называется *основным нормальным шагом*  $p_{bn}$ .

Характер и параметры зацепления определяются следующими свойствами эвольвенты:

- нормаль к эвольвенте в любой точке является касательной к основной окружности;
- длина отрезка  $AB$  нормали к эвольвенте равна длине дуги  $AB_0$  основной окружности;
- точка  $A$  основной окружности есть центр кривизны эвольвенты в точке  $B$ ;
- все эвольвенты одной и той же основной окружности эквидистанты ( $BC = B_0C_0$ ;  $CD = C_0D_0$ ; ...)

Форма эвольвенты зависит от радиуса основной окружности. При малом радиусе основной окружности эвольвента получается сильно искривленной. При безграничном увеличении радиуса основной окружности эвольвента вырождается в прямую линию. При  $r_b$  равном бесконечности, цилиндрическое зубчатое колесо превращается в рейку с прямолинейными боковыми сторонами. Благодаря этому можно определить форму и размеры элементов зубчатых колес, а также режущего инструмента, работающе-

го методом обкатки, контуром зубчатой рейки, а параметры зубчатых колес могут быть установлены с помощью параметров стандартных реек.

Реечный контур, принятый в качестве базового для определения теоретических размеров зубчатых колес, называется *исходным контуром*.

**Эвольвентное зацепление.** Для представления о взаимодействии зубьев двух сопряженных цилиндрических зубчатых колес возьмем два диска 1 и 5 (рис. 9.6) наденем их на параллельные валы и свяжем натянутой лентой 2. Если затем к ленте прикрепить заточенный с двух сторон карандаш 3, остриями соприкасающийся с привинченными к дискам планками 4 и 6, то при вращении одного из дисков карандаш очертит на каждой из планок эвольвенту. Если удалить заштрихованную часть планок, т.е. обрезать их точно по эвольвенте, и, сняв ленту, ввести в зацепление полученные криволинейные эвольвентные выступы, то при вращении диска 2 прикрепленный к нему эвольвентный выступ будет давить на эвольвентный выступ диска 5 и тем самым приведет этот диск в движение.

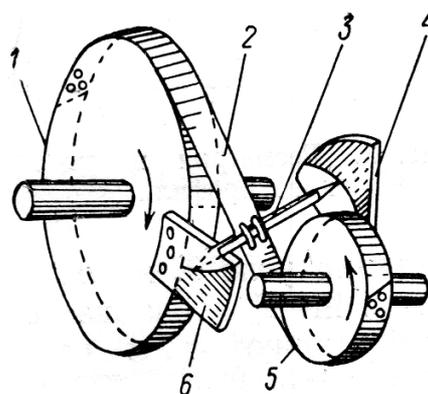


Рис. 9.6. Схема получения сопрягаемых эвольвент

На рисунке 9.7 изображены два зубчатых колеса, соприкасающиеся боковыми эвольвентными сторонами зубьев. Отрезок  $cp$  является как бы частью ленты, намотанной на диск радиуса  $r_{b2}$ , а эвольвента 1 – кривой, описанной точкой  $p$  при перекачивании этой ленты. Точно так же отрезок  $pd$  представляет часть ленты, намотанной на диск радиуса  $r_{b1}$ , а эвольвента 2 – кривую, очерченную той же точкой  $p$ .

Очевидно, что прямая  $cd$  занимает положение, подобное ленте на рисунке 9.6. Прямая  $MN$  является общей касательной к окружности радиусов  $r_{b1}$  и  $r_{b2}$ , а так как эти ок-

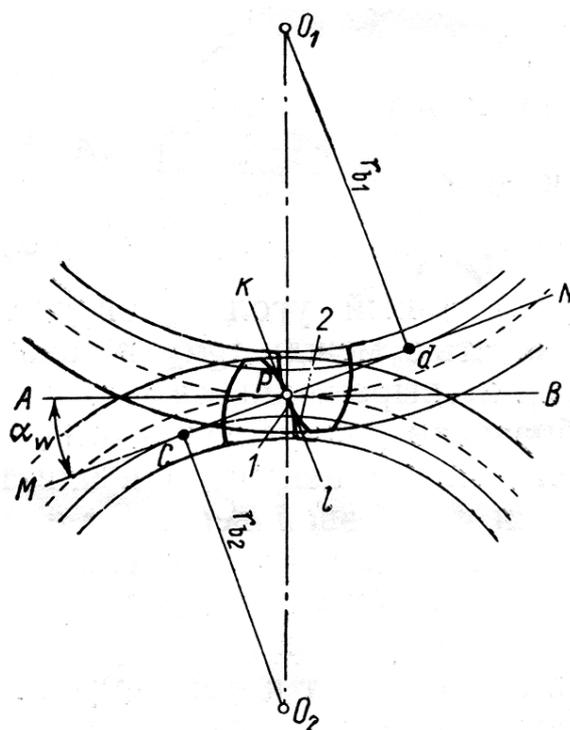


Рис. 9.7. Взаимодействие эвольвент

ружности являются основными окружностями, касательная  $MN$  есть одновременно и производящая прямая двух эвольвент.

При работе цилиндрических зубчатых колес точка касания сопряженных эвольвентных профилей перемещается по касательной к основным окружностям данных колес, в силу чего эта линия называется линией зацепления. По ГОСТ 16530-83 *линией зацепления* называется траектория общей точки контакта зубьев при ее движении относительно неподвижного звена зубчатой передачи, которая при линейном контакте определяется в ее главном сечении. Часть профиля зуба, по которой происходит взаимодействие с профилем парного колеса, называется *активным профилем*.

Прямая, проведенная перпендикулярно касательной  $kl$  к эвольвенте, называется *контактной нормалью*, следовательно, линия зацепления  $MN$  является общей контактной нормалью к сопряженным эвольвентам. Прямую линию, пересекающую оси вращения сопрягаемых зубчатых колес, называют *межосевой линией*, а расстояние между этими осями по межосевой линии – *межосевым расстоянием*  $a_w$  (рис. 9.8).

Точка  $P$  (см. рис. 9.7) пересечения межосевой линии с общей контактной нормалью к двум сопряженным профилям зубьев называется *поллюсом зацепления*.

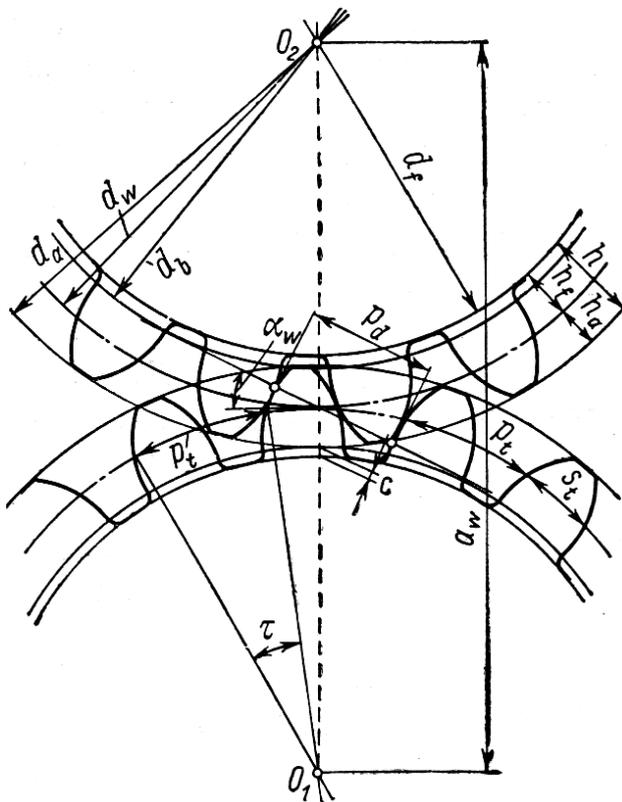


Рис. 9.8. Элементы цилиндрических зубчатых колес и передач

Окружности, описанные вокруг центров зубчатой пары, проходящие через полюс зацепления  $P$ , называются *начальными окружностями*. При работе зубчатой пары их начальные окружности взаимно обкатываются без скольжения. Диаметр начальных окружностей обозначается –  $d_w$ . Угол между линией зацепления  $MN$  и прямой  $AB$ , перпендикулярной к межосевой линии  $O_1O_2$ , называется *углом зацепления*  $\alpha_w$ .

Окружность радиуса  $r_a$  (см. рис. 9.8), описанная вокруг центра колеса и ограничивающая вершины головок зубьев, называется *окружностью вершин зубь-*

ев. Диаметр этой окружности обозначается  $d_a$ . Окружность радиуса  $r_f$ , ограничивающая впадины зубьев, называется *окружностью впадин*. Ее диаметр обозначается  $d_f$ . Разность между радиусами окружностей вершин и впадин составляет *высоту зуба*  $h$ .

У отдельно взятого зубчатого колеса начальная окружность неизвестна до тех пор, пока нет парного колеса и неизвестно межосевое расстояние. У него может быть установлена делительная окружность, которая получается при зацеплении колеса со стандартной рейкой. *Делительная окружность* зубчатого колеса представляет собой как бы производственную начальную окружность, возникающую в процессе изготовления колеса методом обкатки. Она принимается за базу для определения размеров зубчатых колес.

*Начальные окружности сопряженной пары зубчатых колес без смещения и модификации при правильном межосевом расстоянии совпадают с делительными окружностями, однако эти понятия смешивать не следует.* Диаметр делительной окружности обозначается  $d$ .

Межосевое расстояние цилиндрической зубчатой передачи, равное полусумме делительных диаметров колес, называется *делительным межосевым расстоянием*  $a$ .

Часть зуба, расположенная между окружностью вершин зубьев зубчатого колеса и делительной окружностью, называется *головкой зуба*, а часть зуба между делительной окружностью и окружностью впадин называется *ножкой зуба*. Высота головки зуба обозначается  $h_a$ , а высота ножки зуба –  $h_f$ .

Длина дуги делительной окружности, ограниченная боковыми сторонами профиля зуба, называется *толщиной зуба*  $s_t$ . Длина дуги делительной окружности, ограниченная боковыми сторонами профилей двух смежных зубьев, называется *шириной впадины*  $s_f$ .

Длина дуги делительной окружности, заключенная между одноименными, т.е. обращенными в одну сторону, профилями двух смежных зубьев, называется *делительным окружным шагом*  $p_t$ . Расстояние по нормали между двумя контактными точками соседних одноименных поверхностей зубьев сопрягаемых колес называется *шагом зацепления*  $p_a$ . Шаг зацепления равен основному нормальному шагу, т.е.  $p_a = p_{bn}$ . Между делительным окружным шагом  $p_t$  и основным нормальным шагом  $p_{bn}$  или

шагом зацепления  $p_a$  (так же как между диаметрами основной  $d_b$  и делительной  $d$  окружности цилиндрических зубчатых колес) существуют определенные зависимости:  $p_{bn} = p_a = p_t \cos \alpha_\omega$ ;  $d_b = d \cos \alpha_\omega$ .

Расстояние между одноименными профилями соседних зубьев, измеренное по дуге произвольной окружности, концентричной делительной, называется *окружным шагом*.

Центральный угол концентрической окружности, равный  $\frac{360^\circ}{z}$  или  $\frac{2\pi}{z}$ , называется *угловым шагом зубьев*  $\tau$ . Если число зубьев колеса равно  $z$ , то произведение  $p_t z$  есть длина делительной окружности, т.е.  $\pi d$ . Следовательно,  $d = \frac{p_t z}{\pi}$ .

Отношение делительного окружного шага  $p_t$  к числу  $\pi$  называется *модулем* зубчатого колеса  $m$ . Линейная величина, в  $\pi$  раз меньшая, чем шаг эвольвентного зацепления, т.е.

$$\frac{p_a}{\pi} = m_a, \quad (9.1)$$

названа *модулем зацепления*. Если в равенстве  $d = \frac{p_t z}{\pi}$  вместо  $\frac{p_t}{\pi}$  принять  $m$ , то  $d = mz$ . Из этого следует, что делительная окружность зубчатого колеса есть такая окружность, у которой диаметр равен произведению модуля  $m$  на число зубьев  $z$ . Через модуль могут быть выражены все геометрические размеры зубчатых колес.

*Модуль является основным параметром зубчатой передачи, определяющим ее размеры. Для пары зацепляющихся колес модуль должен быть одинаков.*

Для обеспечения взаимозаменяемости зубчатых колес и унификации зуборезного инструмента значения модуля  $m$  стандартизованы. Значения модулей цилиндрических зубчатых колес по ГОСТ 9563-60 приведены в таблице 9.1.

При назначении модулей ряд 1 следует предпочитать ряду 2.

Зубчатые колеса с модулем до 1,0 мм принято называть мелко-модульными; от 1,0 до 10 мм – среднмодульными и свыше 10 мм – крупномодульными.

Модули зацепления (ГОСТ 9563-60)

До 1 мм		Свыше 1 до 10 мм		Свыше 10 до 100 мм	
Ряд 1	Ряд 2	Ряд 1	Ряд 2	Ряд 1	Ряд 2
0,05	0,055	1,25	1,125	12	11
0,06	0,07	1,5	1,375	16	14
0,08	0,09	2,0	1,75	20	18
0,1	0,11	2,5	2,25	25	22
0,12	0,14	3,0	2,75	32	28
0,15	0,18	4,0	3,5	40	36
0,2	0,22	5,0	4,5	50	45
0,25	0,28	6,0	5,5	60	55
0,3	0,35	8,0	7,0	80	70
0,4	0,45	10	9,0	100	90
0,5	0,55				
0,6	0,7				
0,8	0,9				
1,0					

Для обеспечения постоянства передаточного числа в любой момент времени необходимо, чтобы выходу из зацепления очередной пары зубьев предшествовало вступление в зацепление последующей пары зубьев, т.е. последующая пара зубьев должна попасть на активную линию зацепления. Это оценивается коэффициентом торцевого перекрытия

$$\epsilon_{\alpha} = 1,88 - 3,2 \left( \frac{1}{z_1} \pm \frac{1}{z_2} \right). \quad (9.2)$$

где  $z_1$  – число зубьев шестерни;  $z_2$  – число зубьев колеса.

Коэффициент  $\epsilon_{\alpha}$  характеризует плавность зацепления; он должен быть больше 1,0. Он показывает, сколько зубьев в среднем находится одновременно в зацеплении. Например, при  $\epsilon_{\alpha} = 1,4$  в течение 40% времени в зацеплении находятся две пары зубьев, а в течении 60% времени – одна пара. С увеличением  $\epsilon_{\alpha}$  повышается плавность хода и нагрузочная способность передачи. Если  $\epsilon_{\alpha} < 1,0$ , то произойдет размыкание контакта между зубьями.

Согласно ГОСТ 16531-83 перед определением параметров нормального исходного контура, выраженных в долях модуля, ставят соответствующий коэффициент с добавлением знака «\*». ГОСТ 13755-81 устанавливает следующие коэффициенты параметров зубчатого колеса:

- высоты делительной головки зуба  $h_a^* = m$ ;
- высоты делительной ножки зуба  $h_f^* = m + c^*$ ;

– радиального зазора  $c^*t$  (для колес с модулем более 1 мм  $c^* = 0,25t$ , для мелко модульных колес от 0,1 до 0,5 мм –  $c^* = 0,5t$ , для колес свыше 0,5 до 1,0 мм –  $c^* = 0,35t$ ).

## 9.5. Геометрические параметры цилиндрических зубчатых колес

Исходными данными для расчета геометрических параметров зубчатых колес являются:

- модуль  $t$ ;
- числа зубьев  $z_1$  и  $z_2$ ;
- угол наклона линии зуба  $\beta$ ;
- межосевое расстояние  $a_\omega$ ;
- коэффициенты смещения колес  $x_1$  и  $x_2$  (если не задано  $a_\omega$ ).

При исходном контуре по ГОСТ 13754-81 принимаются следующие значения: угол главного профиля  $\alpha = 20^\circ$ , коэффициенты высоты головки зуба  $h_a^* = 1,0$ , высоты ножки зуба  $h_f^* = 1,25$ , радиального зазора  $c^* = 0,25$ .

ГОСТ 16530-83 регламентирует термины:

- *передаточное число*  $i = \frac{z_2}{z_1}$  – отношение числа зубьев колеса

*к числу зубьев шестерни;*

- *передаточное отношение*  $i = \frac{\omega_1}{\omega_2}$  – отношение угловой скорости

*ведущего зубчатого колеса к угловой скорости ведомого колеса.*

Следовательно, передаточное число:

- относится только к паре зубчатых колес;
- всегда положительное и больше единицы.

У косозубых (см. рис. 9.2, б) и шевронных (см. рис. 9.2, в) колес зубья наклонены под некоторым углом  $\beta$  к образующей делительного цилиндра, но оси колес являются при этом параллельными. Косозубое эвольвентное колесо имеет теоретически точные эвольвентные профили в торцевых сечениях. Это обеспечивает торцевую картину зацепления в косозубой передаче, совпадающую по характеру с зацеплением прямозубых эвольвентных передач. Расчет геометрических параметров косозубых

эвольвентных передач производится по аналогичным формулам, что и для прямозубых, только в них необходимо подставлять торцевые значения модуля  $m_t$  и коэффициентов высоты головки зуба  $h_{ta}^*$ , и радиального зазора  $c_t^*$ . Параметры в торцевом и нормальном к зубу сечениям связаны между собой соотношениями:

$$\left. \begin{aligned} m_t &= \frac{m}{\cos \beta}; \\ h_{ta}^* &= h_a^* \cos \beta; \\ c_t^* &= c^* \cos \beta. \end{aligned} \right\} \quad (9.3)$$

Угол  $\beta$  наклона линии зуба назначают в пределах  $8...15^\circ$ , для шевронных колес  $\beta < 45^\circ$  ( $\beta = 30...45^\circ$ ). С увеличением угла наклона  $\beta$  увеличивается плавность зацепления и нагрузочная способность передачи.

Относительная продолжительность зацепления косых зубьев в осевом сечении характеризуется осевым коэффициентом перекрытия:

$$\epsilon_\beta = \frac{b_\omega \sin \beta}{\pi m}, \quad (9.4)$$

где  $b_\omega$  – ширина венца (для шевронного колеса ширина полушеврона).

Рекомендуется принимать  $\epsilon_\beta \geq 1,1$ .

Основные геометрические параметры цилиндрических зубчатых колес приведены в таблице 9.2.

Для выбора модуля передач редукторного типа используют следующие эмпирические зависимости:

- при твердости менее 350НВ  $m_n = (0,01...0,02)a_\omega$ ;
- при твердости шестерни более 45HRC и колеса менее 350НВ  $m_n = (0,0125...0,025)a_\omega$ ;
- при твердости зубьев шестерни и колеса более 45HRC  $m_n = (0,016...0,0315)a_\omega$ .

Меньшие значения принимаются для колес, работающих в продолжительном режиме с малыми перегрузками, высокими скоростями, большие – при возможности абразивного изнашивания, значительных перегрузках, средних скоростях и кратковременных режимах работы.

С уменьшением модуля растет число зубьев и плавность хода, уменьшаются потери на трение, но понижается сопротивление изгибной

усталости, возрастает чувствительность к концентрации нагрузки. С увеличением модуля колеса дольше противостоят абразивному изнашиванию, могут более длительное время работать после начала усталостного изнашивания активных поверхностей зубьев.

Таблица 9.2

Формулы для определения основных геометрических параметров цилиндрических зубчатых колес

Наименование параметра	Обозначение	Вид передачи	
		прямозубая	косозубая
Модуль	$m$	$m = \frac{P_t}{\pi}$	$m = m_t \cos \beta$
Диаметр вершин зубьев	$d_a$	$d_a = d + 2(h_a^* + x)m$	$d_a = d + 2(h_a^* + x)m$
Диаметр впадин	$d_f$	$d_f = d - 2(h_a^* + c^* - x)m$	$d_f = d - 2(h_a^* + c^* - x)m$
Делительный диаметр	$d$	$d = mz$	$d = \frac{mz}{\cos \beta}$
Передаточное число	$u$	$u = \frac{z_1}{z_2}$	$u = \frac{z_1}{z_2}$
Межосевое расстояние	$a_\omega$	$a_\omega = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	$a_\omega = \frac{m(z_1 + z_2)}{2 \cos \beta}$
Ширина зубчатого венца	$b_2$	$b_2 = \psi_a a_\omega$	$b_2 = \psi_a a_\omega$
Ширина венца шестерни: – при твердости зубьев менее 350HB; – при твердости зубьев более 350 HB	$b_1$	$b_1 = 1,12b_2$  $b_1 = b_2$	$b_1 = 1,12b_2$  $b_1 = b_2$
Значения межосевого расстояния $a_\omega$ , мм, выбирают из ряда чисел: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, ..., 2500.			
Значения $b_1$ и $b_2$ принимают из ряда чисел R40.			

При выборе числа зубьев шестерни следует придерживаться определенных рекомендаций. Для несмещенных прямозубых колес принимают  $z_{1\min} = 17$ . Для редукторов рекомендуется принимать  $z_1 = 20...30$  – первая ступень,  $z_1 = 17...24$  – последующие ступени. В случае увеличения  $z_1$  понижается интенсивность шума, поэтому для быстроходных передач рекомендуется  $z_1 \geq 25$ .

## 9.6. Точность изготовления зубчатых колес

Одним из основных показателей качества зубчатых передач является их точность. Точность изготовления зубчатых колес и зубчатых передач определяет не только их кинематические и геометрические эксплуатационные показатели, но практически и такие динамические характеристики, как интенсивность шума и вибрации, а также существенно влияет на потери на трение, долговечность работы и прочностные показатели передач.

Для обеспечения требуемого качества передач разработаны показатели точности. ГОСТ 1643-81 и ГОСТ 1758-81 устанавливают допуски для цилиндрических и конических прямозубых соответственно и ГОСТ 9368-81 – для конических передач с круговыми зубьями, обеспечивающие 12 степеней точности передач (самая низкая степень точности – двенадцатая). Требуемая степень точности определяется уровнем скоростей колес и действующих нагрузок. Рекомендации по выбору степени точности в зависимости от окружной скорости колес даны в таблице 9.3.

Таблица 9.3

Рекомендуемые степени точности изготовления зубчатых передач

Вид		Степень точности			
передачи	зубья	6	7	8	9
		Предельная окружная скорость $v$ , м/с			
Цилиндрическая	прямые	15	10	6	2
	косые	30	15	10	4
Коническая	прямые	12	8	4	1,5
	круговые	20	10	7	3

Основными ошибками изготовления зубчатых колес являются:

- ошибка шага и формы профиля зубьев;
- ошибки в направлении зубьев относительно образующей делительного цилиндра.

Кроме степеней точности стандартами установлены нормы бокового зазора в зацеплении, исключающие заклинивание и обеспечивающие свободный поворот зубчатых колес.

При нарезании колес с малым числом зубьев методом обкатки возникает *подрезание зубьев*. Подрезание заключается в том, что вершины зубьев режущего инструмента реечного типа внедряются в ножки зубьев нарезаемого колеса. На рисунке 9.9 показано изменение формы прямого зуба в зависимости от числа зубьев нормального эвольвентного колеса. При  $z = \infty$  колесо превращается в рейку (рис. 9.9, а). С уменьшением  $z$  уменьшается толщина зуба у основания и вершины, а кривизна профиля

увеличивается (рис. 9.9, б). При дальнейшем уменьшении  $z$  появляется подрезание ножки зуба (рис. 9.9, в). По границе отсутствия подрезания для прямозубых передач устанавливается минимально допустимое число зубьев –  $z_{min} = 17$ . При необходимости нарезания зубьев меньше  $z_{min}$  для устранения подрезания применяют зубчатые колеса со смещением.

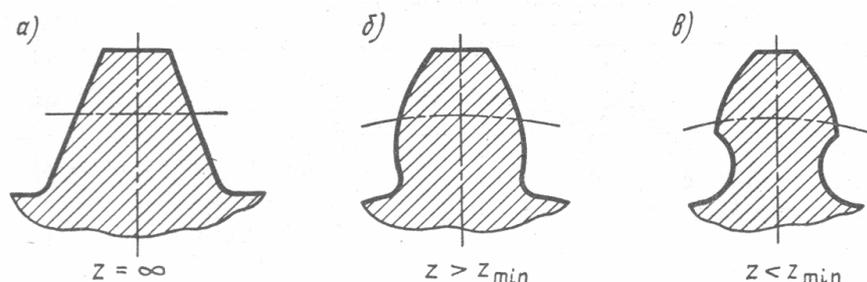


Рис. 9.9. Подрезание зубьев: а –  $z = \infty$ ; б –  $z > z_{min}$ ; в –  $z < z_{min}$

Для устранения подрезания зубьев при  $z < z_{min}$ , повышения изгибной и контактной прочности, а также вписывания зубчатых передач с любым числом зубьев в заданное межосевое расстояние применяют зубчатые колеса со смещением. Такие колеса получаются в результате некоторого смещения режущего инструмента в радиальном направлении. Смещение режущего инструмента от центра колеса считают положительным, а к центру – отрицательным. Смещение характеризуется коэффициентом смещения  $x$ . Смещение изменяет форму зуба (рис. 9.10). Положительное смещение приводит к утолщению зуба у основания и уменьшению кривизны профиля, что способствует повышению его прочности. При отрицательном смещении происходит обратное явление.

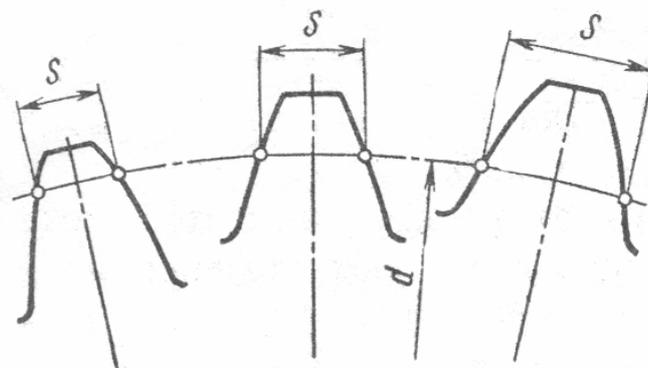


Рис. 9.10. Зубья колес, нарезанных с различным смещением (первый слева – при  $x < 0$ , второй – при  $x = 0$ , третий – при  $x > 0$ )

Точностные требования к зубчатым колесам, регламентированные ГОСТ 1643-81, устанавливаются исходя из назначения и основных эксплуатационных показателей колес. Система допусков для различных видов передач строится по одним и тем же признакам [6].

По точности изготовления все зубчатые колеса разделены на *12 степеней точности*: 1, 2, 3, ..., 12 (в порядке понижения точности). Для зубчатых колес 1 и 2 степеней точности допуски не предусмотрены, потому что они не могут быть обеспечены современными средствами зубообработки. Зубчатые колеса 3, 4 и 5 степеней точности предназначены в основном для измерительных колес, используемых для проверки контролируемых зубчатых колес.

Самыми распространенными зубчатыми колесами являются колеса 6...9 степеней точности:

- в металлорежущих станках – 3...7 степеней точности;
- в автомобилях – 5...8 степеней точности;
- в авиационных двигателях – 4...7 степеней точности;
- в редукторах – 6...8 степеней точности;
- в тракторах и строительной технике – 7...9 степеней точности.

Для каждой степени точности установлены независимые нормы допустимых отклонений различных параметров:

- кинематической точности;
- плавности работы;
- контакта зубьев зубчатых колес в передаче.

Независимо от норм и степени точности предусматривается норма бокового зазора, характеризующая вид зубчатого зацепления.

***Нормами кинематической точности зубчатых колес*** лимитируется степень несогласованности поворота ведомого колеса при его зацеплении с точно изготовленным ведущим колесом. Эти нормы особо важны в различных делительных механизмах, следящих системах и т.д.

К параметрам норм кинематической точности относятся:

- кинематическая погрешность передачи;
- кинематическая погрешность зубчатого колеса;
- накопленная погрешность шага зубчатого колеса;
- радиальное биение зубчатого венца;
- колебание длины общей нормали;
- колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот зубчатого колеса;
- колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе.

При проектировании зубчатых колес и передач нормируются лишь некоторые из этих параметров.

**Нормы плавности** определяют равномерность вращения зубчатого колеса. Они имеют определяющее значение в скоростных передачах автомобилей, где предъявляются жесткие требования к бесшумности передачи, отсутствию вибрации и т.д.

К параметрам норм плавности относят:

- циклическая погрешность зубчатого колеса и передачи;
- местные кинематические погрешности зубчатого колеса и передачи;
- отклонение шага зацепления;
- погрешность профиля зуба.

**Нормы контакта зубьев** важны в целях повышения долговечности зубчатых колес и их износостойкости, особенно в тяжелонагруженных передачах, работающих с невысокими скоростями. Полнота контакта нормируется комплексным показателем – площадью суммарного пятна контакта (рис. 9.11):

– по длине зуба – отношением суммарной длины пятна ( $a - c$ ) к общей длине зуба  $b$ , %:

$$\frac{a - c}{b} \cdot 100\%; \quad (9.5)$$

– по высоте зуба – отношением высоты следов прилегания  $h_m$  к общей высоте зуба  $h_p$ , %:

$$\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\%. \quad (9.6)$$

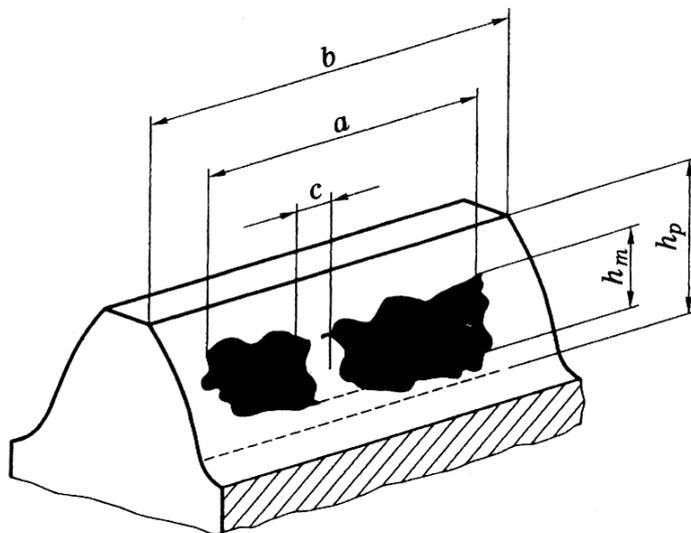


Рис. 9.11. Схема пятна контакта зубьев в передаче

Для нормальной работы зубчатой передачи между активными боковыми поверхностями сопряженных колес должен быть зазор.

**Боковой зазор**  $j_n$  определяют в сечении, перпендикулярном направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам (рис. 9.12). Стандартом (ГОСТ 1643-81) установлен наименьший гарантированный зазор  $j_{n\min}$ . Величина  $j_{n\min}$  не зависит от степени точности зубчатого колеса, а определяется условиями работы передачи (скоростью, температурой нагрева, наличием и качеством смазки).

Предусмотрено шесть *видов сопряжений* с различной величиной  $j_{n\min}$ : *A, B, C, D, E, H* (рис. 9.13). Как правило, вид сопряжения соответствует определенной степени точности по нормам плавности.

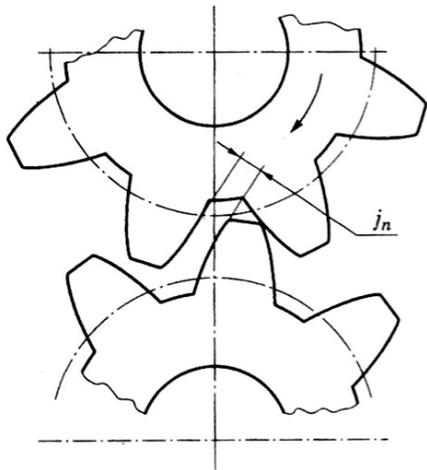


Рис. 9.12. Боковой зазор  $j_n$  в передаче

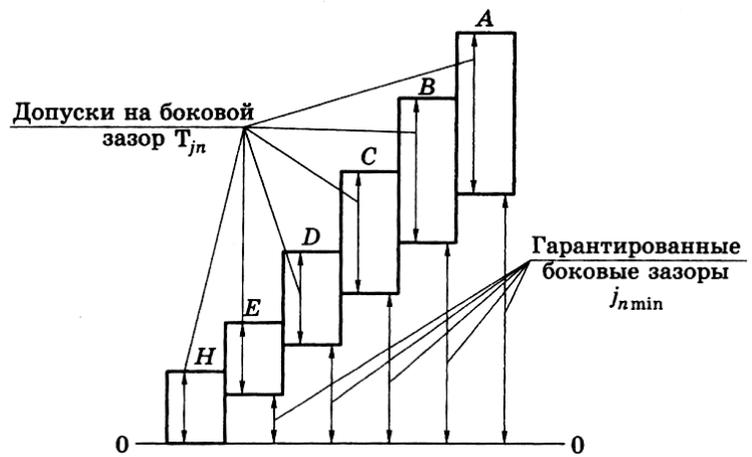


Рис. 9.13. Виды сопряжений и виды допусков  $T_{jn}$  на боковой зазор

Например, при 3...12 степенях точности используется вид сопряжения *A* (с увеличенным боковым зазором), при 3...11 – сопряжение *B* (с нормальным зазором), при 3...9 – сопряжение *C* (с уменьшенным зазором), при 3...8 – сопряжение *D* (с малым зазором) и при 3...7 – сопряжения *E* (с весьма малым зазором) и *H* (с нулевым боковым зазором).

На боковой зазор установлен допуск  $T_{jn}$ , величина которого зависит от вида сопряжения и точности передачи и увеличивается с увеличением бокового зазора.

Установлено восемь *видов допуска*  $T_{jn}$  на боковой зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*. Как правило, определенным видам сопряжения соответствует опре-

деленный вид допуска. Например, сопряжениям  $H$  и  $E$  соответствует вид допуска  $h$ ; сопряжениям  $D$ ,  $C$ ,  $B$  и  $A$  соответствуют виды допусков  $d$ ,  $c$ ,  $b$ ,  $a$ . Допускается изменять это соответствие, используя допуски  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Стандартами установлены шесть классов отклонения межосевого расстояния, обозначаемых римскими цифрами от I до VI (VI класс для самой низкой точности). Сопряжениям  $H$  и  $E$  соответствует класс II отклонений межосевого расстояния; сопряжениям  $D$ ,  $C$ ,  $B$  и  $A$  – классы III, IV, V, VI соответственно. Класс I зарезервирован для очень точных зубчатых колес.

Гарантированный боковой зазор в передаче обеспечивается при изготовлении зубчатых колес путем *дополнительного смещения* профиля зуборезного инструмента к центру нарезаемого колеса относительно *номинального положения исходного контура*.

## 9.7. Особенности геометрии и стандартизации норм точности конических и червячных передач

### 9.7.1. Конические зубчатые передачи

Конические зубчатые колеса (см. рис. 9.2,  $d$ ,  $e$ ) применяют в передачах, оси валов которых пересекаются под некоторым углом  $10^\circ \leq \Sigma \leq 170^\circ$ . Обычно  $\Sigma = 90^\circ$ . Конические колеса обычно выполняют прямозубыми или с винтовыми зубьями (рис. 9.14). Прямозубые конические передачи применяют при окружных скоростях до 3м/с, при более высоких скоростях применяют передачи с круговыми зубьями.

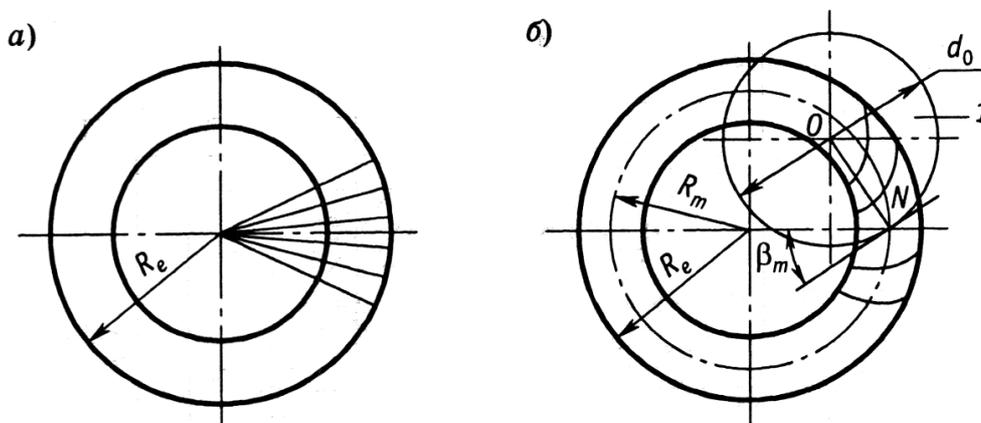


Рис. 9.14. Формы зубьев конического колеса:  $a$  – прямые;  $b$  – круговые

Зацепление двух конических колес можно представить как качение без скольжения конусов с углами при вершинах  $2\delta_1$  и  $2\delta_2$  (рис. 9.15). Эти конусы называют начальными. Линию касания этих конусов  $OE$  называют полюсной линией.

Конические зубчатые передачи выполняют без смещения исходного контура ( $x_1 = 0, x_2 = 0$ ) или равносмещенными ( $x_2 = -x_1$ ). Поэтому начальные конусы совпадают с делительными.

В сравнении с цилиндрическими конические передачи имеют большую массу и габариты, сложнее в изготовлении и монтаже. Одно из конических колес, как правило, шестерня, располагается консольно, при этом вследствие повышенной деформации консольного вала увеличиваются неравномерность распределения нагрузки по ширине зубчатого венца и шум.

**Основные геометрические параметры.** Геометрические расчеты конических зубчатых колес аналогичны расчетам цилиндрических колес.

Минимально допустимые числа зубьев шестерни приведены в таблице 9.4.

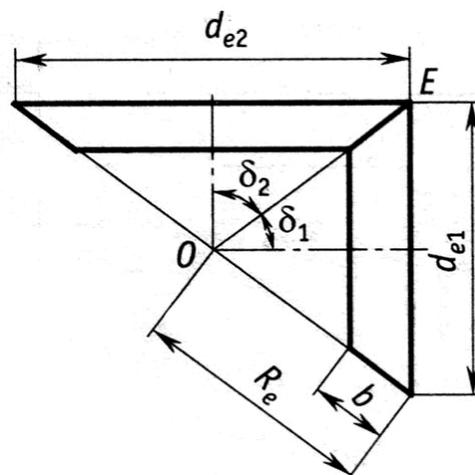


Рис. 9.15. Схема конической передачи

Таблица 9.4

Минимально допустимые числа зубьев шестерни конических передач в зависимости от угла наклона зуба в середине ширины венца  $\beta_n$

Передаточное число $u$	$z_1$ при $\beta_n$		
	0...15	20...25	30...40
1	17	17	17
1,6	15	15	14
2	13	12	11
$\geq 3,15$	12	10	8

К основным геометрическим параметрам относятся следующие параметры, которые определяются в зависимости от модуля и числа зубьев (рис. 9.16).

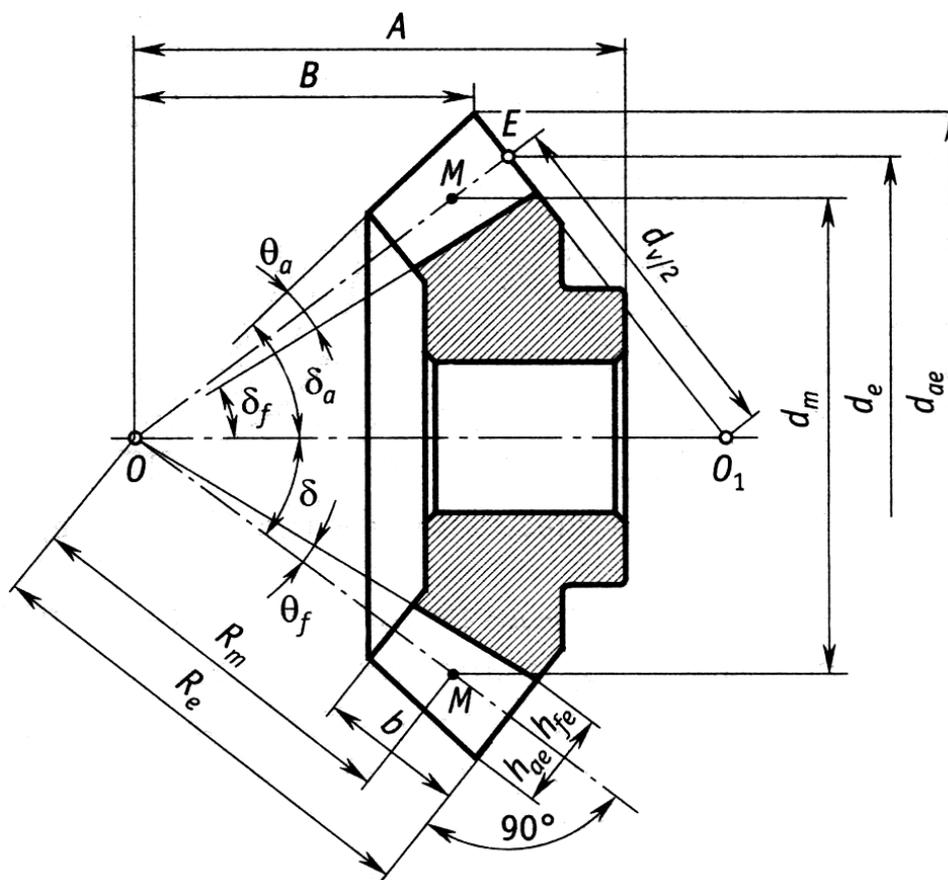


Рис. 9.16. Геометрические параметры конического зубчатого колеса

Углы делительных конусов:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \delta_1 &= \frac{d_{e1}}{d_{e2}} = \frac{z_1}{z_2} = \frac{1}{u}; \\ \delta_2 &= 90^\circ - \delta_1. \end{aligned} \quad (9.7)$$

Модуль конического колеса изменяется по длине зуба. За основной принимают окружной модуль на внешнем торце  $m_{te}$ , который наиболее удобно измерять. Его иногда называют *производственным модулем* и его можно выбирать по стандарту (ГОСТ 9563-60).

Внешние делительные диаметры колес:

$$\begin{aligned} d_{e1} &= m_{te} z_1; \\ d_{e2} &= m_{te} z_2. \end{aligned} \quad (9.8)$$

Внешнее конусное расстояние  $R_e$ :

$$R_e = 0,5 \sqrt{d_{e1}^2 + d_{e2}^2} = 0,5 m_{te} \sqrt{z_1^2 + z_2^2}. \quad (9.9)$$

Среднее конусное расстояние:

$$R_m = R_e - 0,5b = R_e \left(1 - 0,5 \frac{b}{R_e}\right) = R_e (1 - 0,5K_{be}), \quad (9.10)$$

где  $K_{be} = \frac{b}{R_e}$  – коэффициент ширины зубчатого венца относительно внешнего конусного расстояния. Значение  $K_{be} \leq 0,35$  (обычно 0,285).

Средний модуль:

$$m_m = m_{te} (1 - 0,5K_{be}) \approx 0,857m_{te}. \quad (9.11)$$

Средний делительный диаметр:

$$d_m = d_e (1 - 0,5K_{be}) \approx 0,857d_e. \quad (9.12)$$

Диаметр вершин зубьев:

$$d_{ae} = d_e + 2h_{ae} \cos \delta. \quad (9.13)$$

В силовых передачах рекомендуется принимать  $m_{te} \geq 1,5$  мм.

В соответствии с исходным контуром прямозубых конических колес радиальный зазор  $s = 0,2m_{te}$ , тогда внешняя высота головки зуба  $h_{ae} = m_{te}$  и внешняя высота ножки зуба  $h_{fe} = 1,2m_{te}$ .

Допуски конических и гипоидных зубчатых колес, передач и пар установлены ГОСТ 1758-81 при  $m = 1 \dots 55$  мм, среднем делительном диаметре до 4000 мм и ГОСТ 9368-81 при  $m < 1$  мм, делительном диаметре до 200 мм для колес с прямыми зубьями.

Для мелкомодульных ( $m < 1$  мм) зубчатых колес установлено пять видов сопряжений: *H, G, F, E, D*.

Для конических и гипоидных передач установлено пять видов допуска  $T_{jn}$  на боковой зазор: *a, b, c, d, h*.

### 9.7.2. Червячные передачи

Червячная передача (рис. 9.17) предназначена для сообщения вращательного движения валам, оси которых скрещиваются под углом  $90^\circ$ .

Червяк 1 – это винт с трапецидальной или близкой к ней форме резьбой. Червячное колесо 2 является цилиндрическим косозубым с вогнутым зубчатым венцом для охвата им червяка. По своей геометрии и кинематике червячная передача близка к винтовой паре. При вращении червяка его витки входят в зацепление с зубьями червячного колеса.

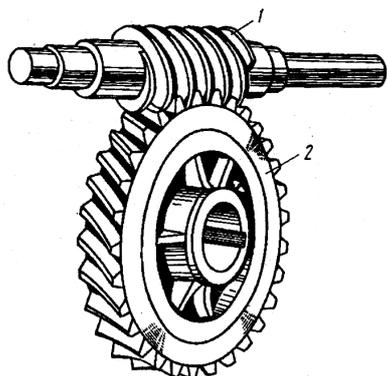


Рис. 9.17. Червячная передача:  
1 – червяк; 2 – червячное колесо

Их применяют в машинах, где по условиям компоновки необходимо передать движение между скрещивающимися валами, а также в делительных механизмах для получения большего передаточного числа. Передачи широко распространены в грузоподъемных машинах, станкостроении, робототехнике, автомобилестроении и т.п.

По расположению червяка относительно червячного колеса различают передачи с нижним, верхним и боковым червяком.

**Червяки.** По форме внешней поверхности червяки разделяют на цилиндрические и глобоидные (рис. 9.18). Наибольшее применение находят цилиндрические червяки как более простые в изготовлении и обеспечивающие достаточно высокую нагрузочную способность. Число зубьев (заходов) червяка  $z_1 = 1 \dots 4$ .

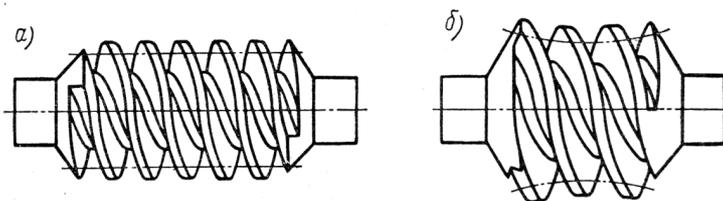


Рис. 9.18. Виды червяков: а – цилиндрический; б – глобоидный.

Основные геометрические размеры червяка представлены на рисунке 9.19.

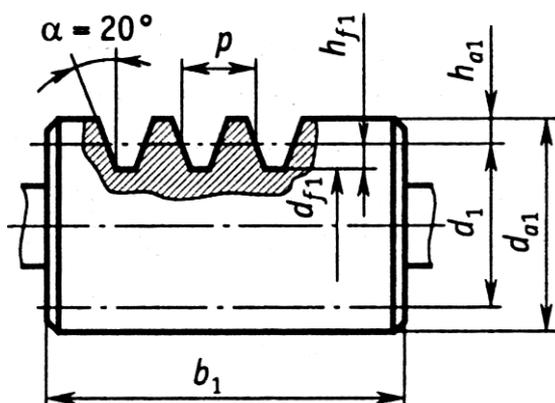


Рис. 9.19. Геометрические параметры червяка

Геометрические размеры характеризуются шагом червяка:

$$p = \pi \cdot m, \quad (9.14)$$

где  $m = \frac{p}{\pi}$  – модуль, который выбирается по ГОСТ 2144-93.

Число витков червяка  $z_1$  зависит от передаточного числа  $u$ . Рекомендуют:

– при  $u = 8 \dots 14$   $z_1 = 4$ ;

- при  $u = 16 \dots 28$   $z_1 = 2$ ;
- при  $u > 31,5$   $z_1 = 1$ .

Для упрощения расчетов вводится коэффициент диаметра червяка  $q = \frac{d_1}{m}$  и определенное сочетание  $m$ ,  $q$ ,  $z_1$  (табл. 9.5).

Таблица 9.5

Рекомендуемые сочетания  $m$ ,  $q$  и  $z_1$  для редукторов (ГОСТ 2144-93)

Модуль $m$	Коэффициент диаметра $q$	Число заходов червяка $z_1$
2,0; 2,5; 3,15	8,0; 10,0; 12,5	1; 2; 4
4,0; 5,0; 6,3; 8,0	16,0; 20,0	
1,25; 1,6	12,5; 16,0 20,0	
4,0; (6,0)	9,0	
1,6; (3,0; 3,5; 6,0)	10,0	
2,0; 2,5 (3,0; 7,0)	12,0	
(1,5)	14,0	
1,0 (1,5)	16,0	
1,0 (1,5)	20,0	1; 2; 4

Значения  $m$  в скобках, а также сочетания с  $q$ , равным 9, 12 и 14, по возможности не применять.

*Делительный диаметр червяка*  $d_1 = qm$ .

*Угол профиля*  $\alpha = 20^\circ$ .

*Угол подъема витка червяка*  $\gamma$  на делительном диаметре находят из выражения

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{z_1}{q}. \quad (9.15)$$

*Ход витка червяка*  $p_{z_1} = pz_1$ .

*Высота головки*  $h_{a1}$  и *ножки*  $h_{f1}$  *витков червяка*

$$\begin{aligned} h_{a1} &= h_{a1}^* m; \\ h_{f1} &= h_{f1}^* m, \end{aligned} \quad (9.16)$$

где  $h_{a1}^* = 1$  – коэффициент высоты головки;

$h_{f1}^* = 1,2$  – коэффициент высоты ножки.

*Диаметры вершин и впадин червяка:*

$$\begin{aligned} d_{a1} &= d_1 + 2h_{a1}, \\ d_{f1} &= d_1 - 2h_{f1}. \end{aligned} \quad (9.17)$$

Длину нарезанной части червяка  $b_1$  определяют из условия нахождения в зацеплении максимально возможного числа зубьев колеса (табл. 9.6).

Таблица 9.6

Уравнения для определения длины  $b_1$  червяка (ГОСТ 19650-74)

Коэффициент смещения $x$	Расчетные уравнения при $z_1$	
	1,2	4
- 1,0	$b_1 \geq (10,5 + z_2)m$	$b_1 \geq (10,5 + z_2)m$
- 0,5	$b_1 \geq (8 + 0,06z_2)m$	$b_1 \geq (9,5 + 0,09z_2)m$
0	$b_1 \geq (11 + 0,06z_2)m$	$b_1 \geq (12,5 + 0,09z_2)m$
+ 0,5	$b_1 \geq (11 + 0,1z_2)m$	$b_1 \geq (12,5 + 0,1z_2)m$
+ 1,0	$b_1 \geq (12 + 0,1z_2)m$	$b_1 \geq (13 + 0,1z_2)m$

**Червячное колесо.** Профиль зубьев червячных колес в осевом сечении для различных типов червячных передач различен. Червячное колесо, работающее с архимедовым червяком, имеет в этой плоскости эвольвентный профиль зубьев, червячное колесо эвольвентного червяка – прямолинейный профиль зубьев.

Геометрические параметры червячного колеса представлены на рисунке 9.20.

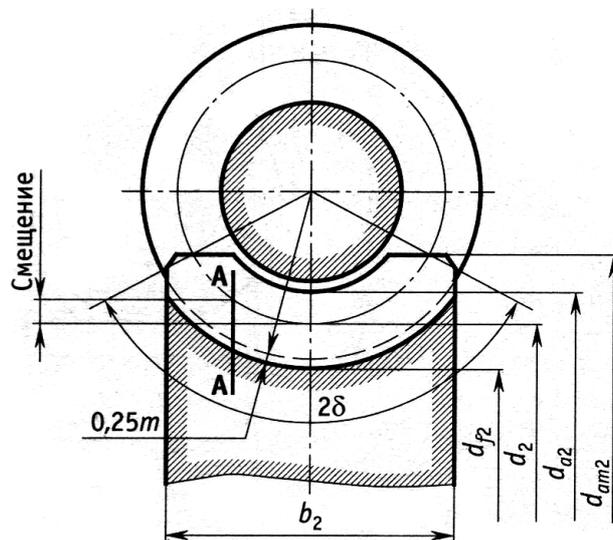


Рис. 9.20. Геометрические параметры червячного колеса

Минимальное число зубьев червячного колеса принимается следующее:

- для кинематических передач  $z_{2\min} = 17$ ;
- для силовых передач  $z_{2\min} = 28$ , предпочтительно иметь  $z_2 = 30 \dots 90$ .

*Делительный диаметр колеса*

$$d_2 = mz_2. \quad (9.18)$$

*Диаметры вершин  $d_{a2}$  и диаметры впадин  $d_{f2}$  определяют в среднем сечении колеса; для червячных колес, нарезанных без смещения режущего инструмента, они равны:*

$$\begin{aligned} d_{a2} &= d_2 + 2h_{a1}^*m; \\ d_{f2} &= d_2 - 2h_{f1}^*m. \end{aligned} \quad (9.19)$$

*Наибольший диаметр червячного колеса определяется по эмпирической формуле*

$$d_{am2} \leq d_{a2} + \frac{6m}{z_1 + k}, \quad (9.20)$$

где  $k$  – коэффициент, зависящий от формы боковой поверхности витка; для вогнутого профиля витка  $ZT$   $k = 4$ , для остальных  $k = 2$ .

*Ширина колеса  $b_2$  зависит от числа заходов червяка:*

- при  $z_1 = 1$  или  $z_1 = 2$        $b_2 \leq 0,75d_{a1}$ ;
- при  $z_1 = 4$                        $b_2 \leq 0,67d_{a1}$ .

*Межосевое расстояние  $a$  для передачи без смещения:*

$$a = \frac{d_1 + d_2}{2} = 0,5m(q + z_2). \quad (9.21)$$

Значения межосевых расстояний стандартизованы с целью унификации корпусных деталей и для стандартных редукторов по ГОСТ 2144-93 имеют следующие значения  $a$ , мм: 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500.

*Предварительное значение модуля  $m$  для силовых передач, в которых  $\frac{q}{z_2} = 0,12 \dots 0,4$ , можно определить так*

$$m \approx (1,4 \dots 1,7) \frac{a}{z_2}. \quad (9.22)$$

Для вписывания в стандартные или заданные межосевые расстояния применяют червячные передачи со смещением режущего инструмента (рис. 9.21). Червяк нарезают без смещения. Смещение осуществляют толь-

ко за счет червячного колеса. Положительное смещение приводит к увеличению межосевого расстояния:

$$a_w = a + mx, \tag{9.23}$$

$$a_w = 0,5m(q + z_2 + 2x).$$

При этом коэффициент смещения режущего инструмента

$$x = \frac{a_w}{m} - 0,5(q + z_2); \tag{9.24}$$

$$d_{a2} = m(z_2 + 2 + 2x); \tag{9.25}$$

$$d_{f2} = m(z_2 - 2,4 + 2x).$$

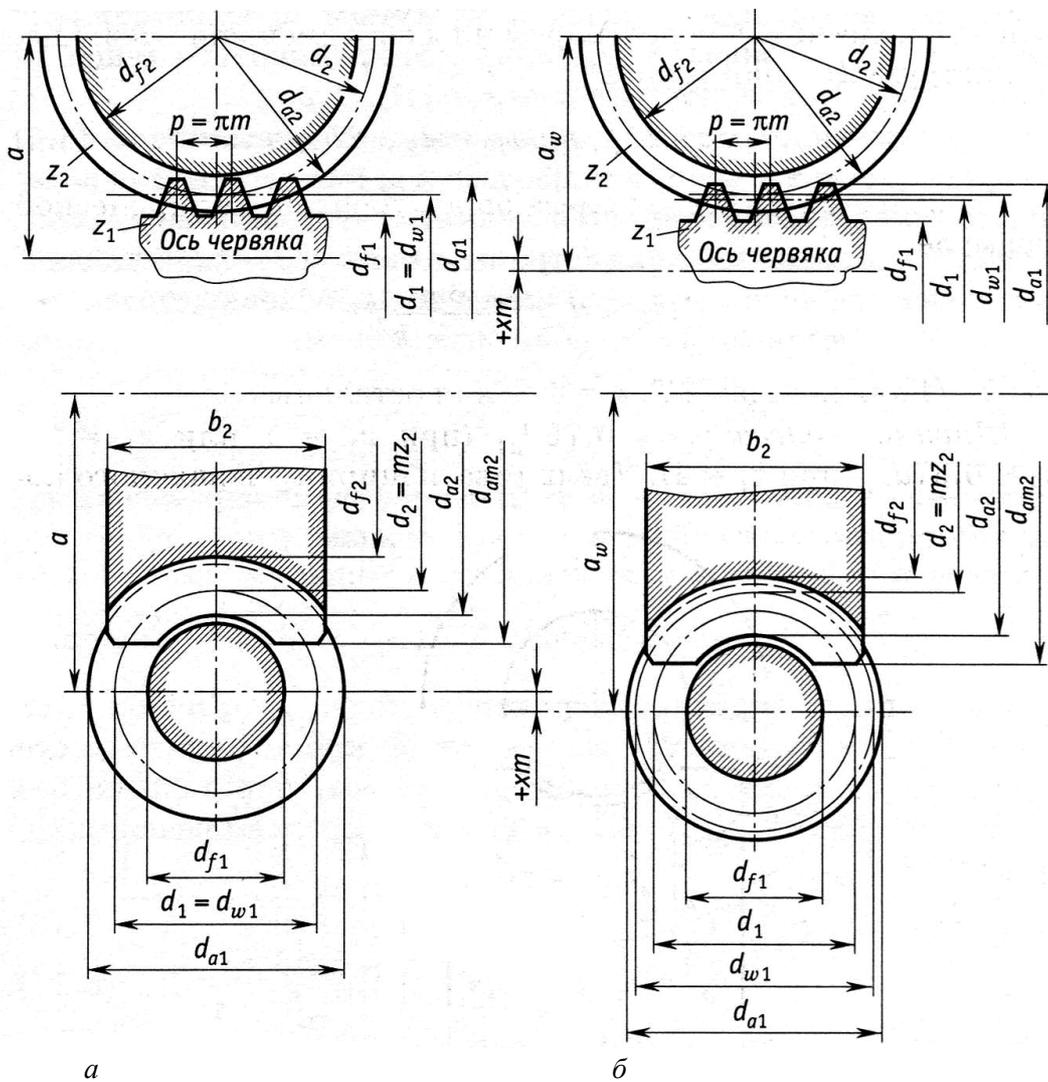


Рис. 9.21. Червячные передачи, изготовленные без смещения (а) и со смещением (б) режущего инструмента

Все другие размеры остаются неизменными. Смещение оказывает большое влияние на форму зубьев колеса и геометрию зацепления. По условию неподрезания и незаострения зубьев значение  $x$  выбирают в пределах  $-1 \leq x \leq 1$ .

Допуски червячных цилиндрических передач и червячных пар установлены ГОСТ 3675-81 при  $m = 1 \dots 25$  мм, делительном диаметре червяка до 450 мм, делительном диаметре колеса до 6300 мм.

Предусмотрено шесть *видов сопряжений* с различной величиной  $j_{n \min}$ : *A, B, C, D, E, H* и восемь *видов допуска*  $T_{jn}$  на боковой зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*.

### **9.8. Общие сведения о методах и средствах контроля и измерения параметров зубчатых колес и передач**

В зависимости от поставленной цели контроль зубчатых колес может быть *технологический* и *приемочный*. Технологический контроль используют при наладке технологических операций и для выявления причин брака. При приемочном контроле устанавливают соответствие точности зубчатого колеса предъявляемым требованиям, зависящим от назначения передачи. Выбор показателей для контроля точности зубчатых колес зависит от условий производства, степени точности колес, их назначения, размеров, объема выпуска и других факторов. В каждой группе норм (кинематической, плавности, контакта и бокового зазора) в стандартах даются показатели точности или комплекс показателей. Изготовителю предоставляется право выбирать для измерения такие параметры колеса, которые соответствуют технологическому процессу обработки и наличию измерительных средств. Выбранный метод контроля должен быть направлен не на фиксирование точности изготовления колес, а на активное участие в обеспечении необходимого качества поддержания точности технологического процесса на определенном уровне.

При выборе комплекса для приемочного контроля зубчатых колес необходимо учитывать следующие общие положения [8]:

- предпочтение следует отдавать комплексным показателям, позволяющим оценивать суммарную погрешность зубчатого колеса;
- полную оценку точности колеса можно получить при контроле с измерительным колесом;
- предпочтительно применять методы контроля, дающие непрерывную информацию об измеряемом показателе по всему зубчатому колесу;

- предпочтение следует отдавать измерениям, проводимым на рабочей оси вращения зубчатого колеса;
- предпочтение следует отдавать тем методам контроля, которые дают непосредственную оценку показателей точности и не требуют либо пересчета, либо математической обработки.

Приборы для контроля качества зубчатых колес делят:

- *по назначению* – на приборы для контроля цилиндрических колес *C*, конических *K*, червячных *G*, червяков *Z*, других колес *R*;
- *по конструкции* – на типы: станковые *S*, накладные *M*;
- *по параметрам* контролируемых зубчатых колес;
- *по контролируемым показателям точности* – на группы (14 групп);
- *по точности* – на классы точности А, АВ, В.

Контроль кинематической точности включает в себя:

- контроль кинематической и циклической погрешностей;
- двухпрофильный контроль;
- контроль накопленной погрешности шага;
- контроль радиального биения зубчатого венца;
- контроль колебания длины общей нормали;
- контроль погрешности обката.

Например, применение измерений длины общей нормали рекомендуется для всех производств, где изготавливаются зубчатые колеса непрерывным обкатом. Наиболее распространенными приборами для измерения длины общей нормали являются зубомерные микрометры (рис. 9.22, *а*) и нормалемеры (рис. 9.22, *б*).

В этих приборах имеются измерительные губки 1 и 2 с параллельными плоскостями. Измерительная поверхность 1 является подвижной при измерении, и ее положение от настроенного определяется с помощью отсчетного устройства. При измерении колебания длины общей нормали прибор устанавливают на нуль по произвольной длине общей нормали, охватывающей группу зубьев, а потом с этим значением размера сравнивают другие длины общей нормали.

Отклонение шага зацепления от номинального измеряют с помощью накладных шагомеров (рис. 9.23). Они имеют измерительные наконечники 1 и 2 и поддерживающий наконечник 3. Наконечник 1 является подвижным, и его перемещения передаются на отсчетное устройство 4. Настройка прибора производится по специальным приспособлениям, поставляемым вместе с прибором. Номинальное значение шага зацепления создается блоками концевых мер длины.

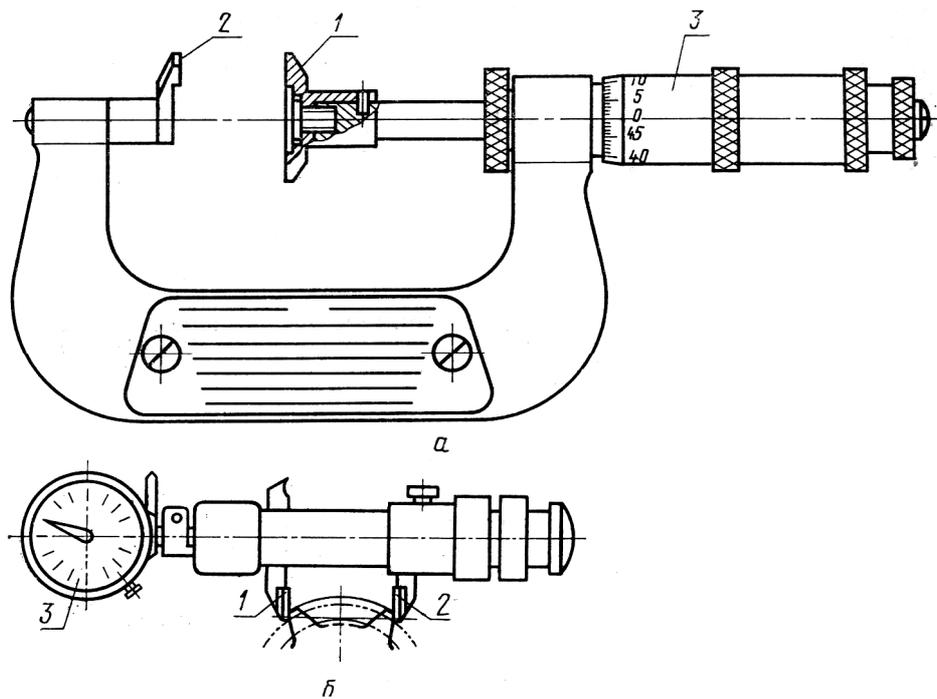


Рис. 9.22. Приборы для измерения длины общей нормали:  
*а* – зубомерный микрометр; *б* – нормалемер;  
 1, 2 – измерительные губки; 3 – отсчетное устройство

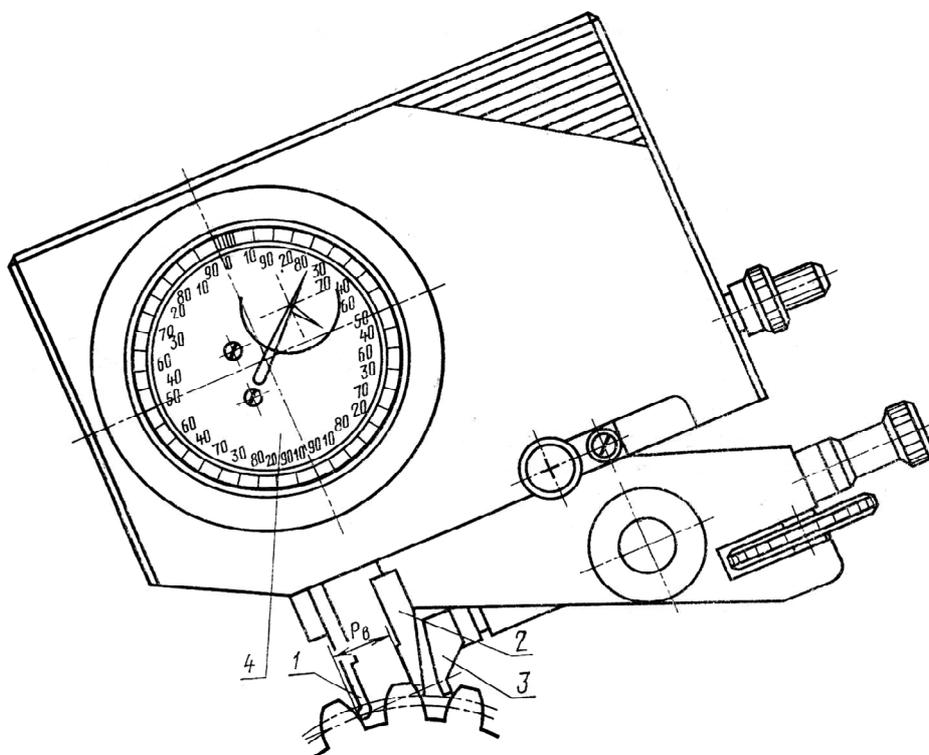


Рис. 9.23. Накладной шагомер: 1 и 2 – измерительные наконечники;  
 3 – поддерживающий наконечник; 4 – отсчетное устройство

Применение шага зацепления для нормирования и измерения рекомендуется при зубошлифовании.

Основным прибором для измерения смещения исходного контура является накладной зубомер смещения (рис. 9.24). Измерительные губки 1 и 2 образуют в приборе как бы зубчатую рейку с углом  $40^\circ$ , на биссектрисе которого находится ось измерительной головки 3. Установка головки на нуль производится по специальным роликам 4, входящим в комплект прибора, с установкой их в призме 5. После этого прибор устанавливается на зуб колеса и определяется смещение его относительно наружного цилиндра.

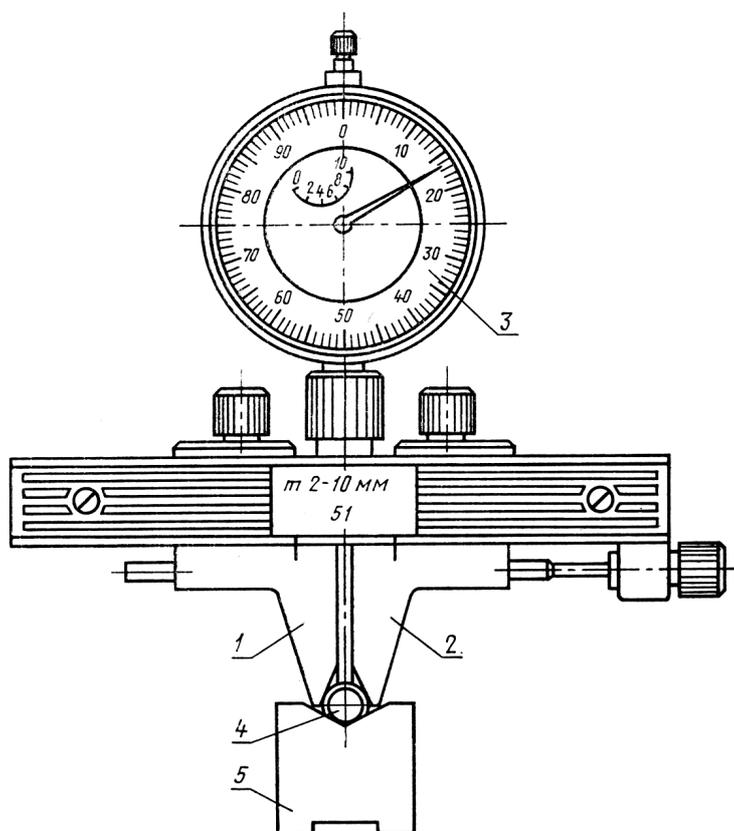


Рис. 9.24. Зубомер смещения: 1 и 2 – измерительные губки; 3 – измерительная головка; 4 – ролик; 5 – призма

Этот прибор рекомендуется для измерения колес относительно небольших размеров, которые можно изготовить или измерить с достаточной точностью по наружной поверхности.

Индикаторно-микрометрический зубомер (рис. 9.25) предназначен для измерения толщины зуба по постоянной хорде. Настройка высотной линейки производится по микропаре 1, размер толщины зуба настраивается по микропаре 2, а отсчет отклонений толщины зуба – по индикатору 3.

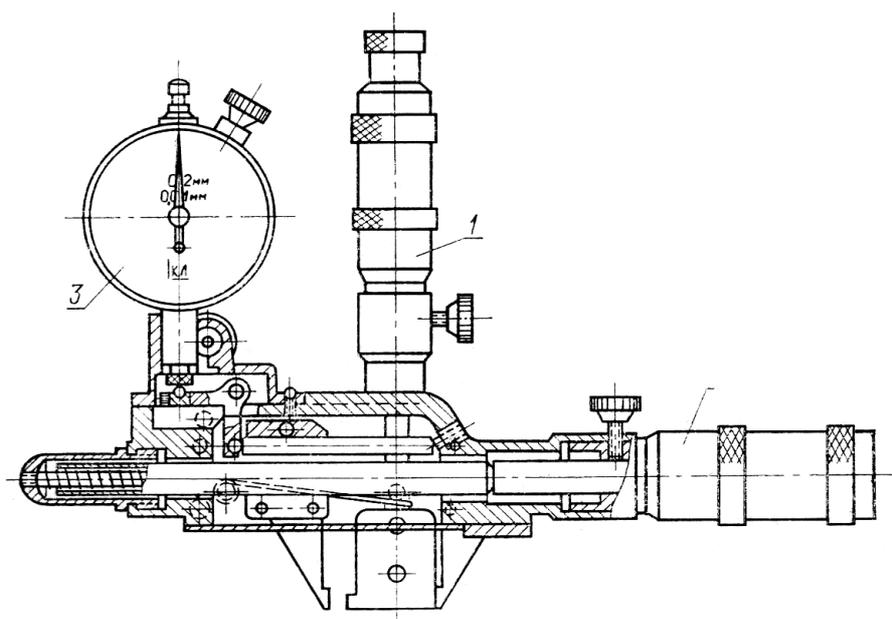


Рис. 9.25. Индикаторно-микрометрический зубомер:  
1 – высотная микропара; 2 – линейная микропара; 3 – индикатор

Прибор для измерения толщины зуба рекомендуется применять при измерении толщины витка червяков, реек и для изготовления шаблонов.

### 9.9. Обозначение точности зубчатых колес и передач на чертежах

Условное обозначение зубчатых колес на чертежах должно включать в себя степени точности по нормам кинематической точности, нормам плавности, нормам контакта, вид сопряжения и вид допуска на боковой зазор:

$$8 - 7 - 6 - C_b - II \text{ (ГОСТ 1643-81),}$$

где 8 – степень точности по нормам кинематической точности; 7 – степень точности по нормам плавности; 6 – степень точности по нормам контакта;  $C$  – вид сопряжения;  $b$  – вид допуска на боковой зазор; II – класс отклонения межосевого расстояния.

Короткое условное обозначение, например 7 –  $B$  (ГОСТ 1643-81), означает, что данная передача имеет степень точности по нормам кинематической точности 7, нормам плавности 7, по нормам контакта 7, вид сопряжения  $B$ , вид допуска на боковой зазор  $b$ , класс отклонений межосевого расстояния  $V$ .

## Лекция 10. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

Детали из пластмасс изготавливают литьем под давлением, прессованием и резанием.

При изготовлении деталей из пластмасс литьем под давлением или прессованием в металлических формах отдельные элементы одной и той же детали имеют различную точность [8]. Точность размеров зависит также от величины колебания усадки материала, а также необходимо учитывать влияние технологических уклонов на поверхности детали, так как они должны располагаться в поле допуска размера. Другие погрешности формы детали, если они особо не оговариваются, также должны располагаться в поле допуска размера.

Детали из пластмасс обрабатывают резанием в тех случаях, если деталь сложной конфигурации трудно выполнить литьем без ее значительного усложнения в металлической форме.

Поля допусков деталей из пластмасс, их предельные отклонения и рекомендуемые посадки установлены ГОСТ 25349-88. Данный стандарт распространяется на гладкие сопрягаемые и несопрягаемые детали из пластмасс с номинальными размерами от 1 до 500 мм

Поля допусков, установленные указанным стандартом (табл. 10.1 и 10.2) относятся к следующим исходным условиям: температура 20°C, относительная влажность воздуха 65%.

Стандарт предусматривает дополнительные поля допусков деталей из пластмасс, которые могут применяться в отдельных технически обоснованных случаях [9].

В соответствии со стандартом посадки в соединении пластмассовых деталей с пластмассовыми или металлическими рекомендуется выбирать по таблицам 10.3 и 10.4.

Для металлических деталей в соединениях с деталями из пластмасс рекомендуется назначать поля допусков основного вала и основного отверстия квалитетов 7...12.

Таблица 10.1

## Поля допусков отверстий деталей из пластмасс

Квалитет	Основные отклонения																
	A	B	C	D	E	F	H	$J_s$	N	U	X	Z	ZA	ZB	ZC		
8				D8	E8	F8	H8	$J_{s8}$	N8	U8							
9				D9	E9	F9	H9	$J_{s9}$	N9								
10				D10			H10	$J_{s10}$	N10		X10	Z10	ZA10	ZB10			
11	A11	B11	C11	D11			H11	$J_{s11}$	N11						ZC11		
12		B12					H12	$J_{s12}$									
13							H13	$J_{s13}$									
14							H14	$J_{s14}$									
15							H15	$J_{s15}$									
16							H16	$J_{s16}$									
17							H17	$J_{s17}$									

Таблица 10.2

## Поля допусков валов из пластмасс

Квалитет	Основные отклонения																
	a	b	c	d	e	f	h	$j_s$	k	u	x	z	za	zb	zc		
8			c8	d8	e8	f8	h8	$j_{s8}$	k8	u8	x8	z8					
9				d9	e9	f9	h9	$j_{s9}$	k9								
10				d10			h10	$j_{s10}$	k10		x10	z10	za10	zb10			
11	a11	b11	c11	d11			h11	$j_{s11}$	k11						zc11		
12		b12					h12	$j_{s12}$									
13							h13	$j_{s13}$									
14							h14	$j_{s14}$									
15							h15	$j_{s15}$									
16							h16	$j_{s16}$									
17							h17	$j_{s17}$									

Таблица 10.3

## Рекомендуемые посадки в системе отверстия

Основное отверстие	Основные отклонения валов																	
	ay	az	a	b	c	d	e	f	h	k	u	x	y	z	za	zb	zc	ze
H8					$\frac{H8}{c8}$	$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{H8}{k8}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{H8}{x8}$		$\frac{H8}{z8}$				
H9						$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{k9}$		$\frac{H9}{x10}$	$\frac{H9}{y10}$	$\frac{H9}{z10}$	$\frac{H9}{za10}$	$\frac{H9}{zb10}$		
H10						$\frac{H10}{d10}$			$\frac{H10}{h10}$	$\frac{H10}{k10}$		$\frac{H10}{y10}$	$\frac{H10}{z10}$	$\frac{H10}{za10}$	$\frac{H10}{zb10}$	$\frac{H10}{zc10}$	$\frac{H10}{ze10}$	
H11	$\frac{H11}{ay11}$	$\frac{H11}{az11}$	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$			$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{k11}$						$\frac{H11}{zc11}$	$\frac{H11}{ze11}$	
H12				$\frac{H12}{b11}$					$\frac{H12}{h12}$									
H13									$\frac{H13}{h13}$									

Таблица 10.4

## Рекомендуемые посадки в системе вала

Основной вал	Основные отклонения отверстий																	
	AY	AZ	A	B	C	D	E	F	H	N	U	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	ZE
h8						$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{N8}{h8}$	$\frac{U8}{h8}$							
h9						$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{N9}{h9}$		$\frac{X10}{h9}$	$\frac{Y10}{h9}$	$\frac{Z10}{h9}$	$\frac{ZA10}{h9}$	$\frac{ZB10}{h9}$		
h10						$\frac{D10}{h10}$			$\frac{H10}{h10}$	$\frac{N10}{h10}$			$\frac{Y10}{h10}$	$\frac{Z10}{h10}$	$\frac{ZA10}{h10}$	$\frac{ZB10}{h10}$	$\frac{ZC10}{h10}$	$\frac{ZE10}{h10}$
h11	$\frac{AY11}{h11}$	$\frac{AZ11}{h11}$	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$			$\frac{H11}{h11}$	$\frac{N11}{h11}$							$\frac{ZC11}{h11}$	$\frac{ZE11}{h11}$
h12				$\frac{B12}{h12}$					$\frac{H12}{h12}$									
h13									$\frac{H13}{h13}$									

## Лекция 11. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

### 11.1. Метрология как научная система технических измерений

*Метрология* (от греч. «метро» – мера, «логос» – учение) – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Современная метрология включает три составляющие: законодательную, фундаментальную (научную) и практическую (прикладную).

Метрология как наука и область практической деятельности возникла в древние времена. Основой системы мер в древнерусской практике послужили древнеегипетские единицы измерений, а они, в свою очередь, были заимствованы в древней Греции и Риме. Естественно, что каждая система мер отличалась своими особенностями, связанными не только с эпохой, но и с национальным менталитетом.

Наименования единиц и их размеры соответствовали возможности осуществления измерений «подручными» способами, не прибегая к специальным устройствам. Так, 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.

Мера локоть пришла к нам из Вавилона и означала расстояние от сгиба локтя до конца среднего пальца руки (иногда – сжатого кулака или большого пальца). С XVIII в. в России стали применяться *дюйм*, заимствованный из Англии (назывался 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, и это, по существу, – первая ступень гармонизации российской метрологии с европейской.

*Метрическая система мер* была введена во Франции в 1840 г. Большую значимость ее принятия в России подчеркнул Д.И. Менделеев, предсказав большую роль всеобщего распространения метрической системы как средства содействия «будущему желанному сближению народов».

С развитием науки и техники появились новые физические величины и потребовались новые единицы измерения, что стимулировало, в свою очередь, совершенствование фундаментальной и прикладной метрологии.

Первоначально прототип единиц измерения искали в природе, исследуя макрообъекты и их движение. Так, *секундой* стали считать часть периода обращения Земли вокруг оси. Постепенно поиски переместились на атомный и внутриатомный уровень. В результате уточнялись «старые» единицы (меры) и появились новые. Так, в 1983 г. было принято новое определение *метра*: это длина пути, проходимого светом в вакууме за  $1/299792458$  долю секунды. Это стало возможным после того, как скорость света в вакууме ( $299792458$  м/с) метрологи приняли в качестве физической константы. Интересно отметить, что теперь с точки зрения метрологических правил метр зависит от секунды. В 1988 г. на международном уровне были приняты новые константы в области измерений электрических единиц и величин, а в 1989 г. принята новая Международная практическая температурная шкала МТШ-90.

На этих нескольких примерах видно, что метрология как наука динамично развивается, что, естественно, способствует совершенствованию практики измерений во всех других научных и прикладных областях. Качеством и точностью измерений определяется возможность разработки принципиально новых приборов, измерительных устройств для любой сферы техники, что говорит в пользу опережающих темпов развития науки и техники измерений, т.е. метрологии.

Вместе с развитием фундаментальной и практической метрологии происходило становление законодательной метрологии.

*Законодательная метрология* – раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

Законодательная метрология служит средством государственного регулирования метрологической деятельности посредством законов и законодательных положений, которые вводятся в практику через Государственную метрологическую службу и метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц. К области законодательной метрологии относятся испытания и утверждение типа средств измерений и их поверка и калибровка, сертификация средств измерений, государственный метрологический контроль и надзор за средствами измерений.

Метрологические правила и нормы законодательной метрологии гармонизованы с рекомендациями и документами соответствующих международных организаций. Тем самым законодательная метрология спо-

способствует развитию международных экономических и торговых связей и содействует взаимопониманию в международном метрологическом сотрудничестве.

Измерения как основной объект метрологии связаны как с физическими величинами, так и с величинами, относящимися к другим наукам (математике, психологии, медицине, общественным наукам и др.). Далее будут рассматриваться понятия, относящиеся к физическим величинам.

*Физической величиной* называют одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. Так, свойство «прочность» в качественном отношении характеризует такие материалы, как сталь, дерево, ткань, стекло и многие другие, в то время как степень (количественное значение) прочности – величина для каждого из них совершенно разная.

*Измерением* называют совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. Полученное значение величины и есть результат измерений.

Одна из главных задач метрологии – обеспечение единства измерений – может быть решена при соблюдении двух условий, которые можно назвать основополагающими:

- выражение результатов измерений в единых узаконенных единицах;
- установление допустимых ошибок (погрешностей) результатов измерений и пределов, за которые они не должны выходить при заданной вероятности.

*Погрешностью* называют отклонение результата измерений от действительного (истинного) значения измеряемой величины. При этом следует иметь в виду, что истинное значение физической величины считается неизвестным и применяется в теоретических исследованиях; действительное значение физической величины устанавливается экспериментальным путем в предположении, что результат эксперимента (измерения) в максимальной степени приближается к истинному значению. Погрешности измерений приводятся обычно в технической документации на средства измерений или в нормативных документах. Правда, если учесть, что погрешность зависит еще и от условий, в которых проводится само измерение, от экспериментальной ошибки методики и субъективных факторов человека

в случаях, где он непосредственно участвует в измерениях, то можно говорить о нескольких составляющих погрешности измерений либо о суммарной погрешности.

*Единство измерений*, однако, не может быть обеспечено лишь совпадением погрешностей. Требуется еще и достоверность измерений, которая говорит о том, что погрешность не выходит за пределы отклонений, заданных в соответствии с поставленной целью измерений. Есть еще и понятие точности измерений, которое характеризует степень приближения погрешности измерений к нулю, т.е. к истинному значению измеряемой величины.

Как выше отмечалось, мероприятия по реальному обеспечению единства измерений в большинстве стран мира установлены законами и входят в функции законодательной метрологии, к рассмотрению которых обратимся позже.

Измерения различают по способу получения информации, по характеру изменений измеряемой величины в процессе измерений, по количеству измерительной информации, по отношению к основным единицам.

По способу получения информации измерения разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

*Прямое измерение* – измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно. Например, при определении длины предмета линейкой происходит сравнение искомой величины (количественного выражения значения длины) с мерой, т.е. линейкой.

*Косвенное измерение* – определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной. Так, если измерить силу тока амперметром, а напряжение вольтметром, то по известной функциональной взаимосвязи всех трех названных величин можно рассчитать мощность электрической цепи.

*Совокупные измерения* – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

*Совместные измерения* – проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

Совокупные и совместные измерения часто применяют в измерениях различных параметров и характеристик в области электротехники.

По характеру изменения измеряемой величины процессы измерения подразделяются на статические и динамические.

*Статическое измерение* – измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна.

*Динамическое измерение* – измерение изменяющейся по размеру физической величины.

По количеству измерительной информации различают однократные и многократные измерения.

*Однократное измерение* – измерение, выполненное один раз. Практическое применение такого вида измерений всегда сопряжено с большими погрешностями, поэтому следует проводить не менее трех однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение.

*Многократное измерение* – измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений.

Обычно минимальное число измерений в данном случае больше трех. Преимущество многократных измерений – в значительном снижении влияний случайных факторов на погрешность измерения.

По отношению к основным единицам измерения делят на абсолютные и относительные.

*Абсолютное измерение* – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Так, в известной формуле Эйнштейна  $E = mc^2$  масса ( $m$ ) – основная физическая величина, которая может быть измерена прямым путем (взвешиванием), а скорость света ( $c$ ) – физическая константа.

*Относительное измерение* – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Естественно, что искомое значение зависит от используемой единицы измерений.

С измерениями связаны такие понятия, как «шкала измерений», «принцип измерений», «метод измерений».

*Шкала измерений* – это упорядоченная совокупность значений физической величины, которая служит основой для ее измерения. Поясним это понятие на примере температурных шкал.

В шкале Цельсия за начало отсчета принята температура таяния льда, а в качестве основного интервала (опорной точки) – температура кипения воды. Одна сотая часть этого интервала является единицей температуры (градус Цельсия). В температурной шкале Фаренгейта за начало отсчета принята температура таяния смеси льда и нашатырного спирта (либо поваренной соли), а в качестве опорной точки взята нормальная температура тела здорового человека. За единицу температуры (градус Фаренгейта) принята одна девяносто шестая часть основного интервала. По этой шкале температура таяния льда равна + 32°F, а температура кипения воды + 212 °F. Таким образом, если по шкале Цельсия разность между температурой кипения воды и таяния льда составляет 100 °С, то по Фаренгейту она равна 180 °F. На этом примере мы видим роль принятой шкалы как в количественном значении измеряемой величины, так и в аспекте обеспечения единства измерений. В данном случае требуется находить отношение размеров единиц, чтобы можно было сравнить результаты измерений, т.е.  $t^{\circ}\text{F}/t^{\circ}\text{C}$ .

В метрологической практике известны несколько разновидностей шкал: шкала наименований, шкала порядка, шкала интервалов, шкала отношений и др.

*Шкала наименований* – это своего рода качественная, а не количественная шкала, она не содержит нуля и единиц измерений. Примером может служить атлас цветов (шкала цветов). Процесс измерения заключается в визуальном сравнении окрашенного предмета с образцами цветов (эталонными образцами атласа цветов). Поскольку каждый цвет имеет немало вариантов, такое сравнение под силу опытному эксперту, который обладает не только практическим опытом, но и соответствующими особыми характеристиками зрительных возможностей.

*Шкала порядка* характеризует значение измеряемой величины в баллах (шкала землетрясений, силы ветра, твердости физических тел и т.п.).

*Шкала интервалов* (разностей) имеет условные нулевые значения, а интервалы устанавливаются по согласованию. Такими шкалами являются шкала времени, шкала длины.

*Шкала отношений* имеет естественное нулевое значение, а единица измерений устанавливается по согласованию. Например, шкала массы (обычно мы говорим «веса»), начинаясь от нуля, может быть градуирована по-разному в зависимости от требуемой точности взвешивания. Сравните бытовые и аналитические весы.

## 11.2. Физические величины как объект измерений

Объектом измерений являются физические величины, которые принято делить на основные и производные.

Основные величины не зависят друг от друга, но они могут служить основой для установления связей с другими физическими величинами, которые называют производными от них. Вспомним уже упомянутую формулу Эйнштейна, в которую входит основная единица – масса, а энергия – это производная единица, зависимость между которой и другими единицами определяет данная формула. Основным величинам соответствуют основные единицы измерений, а производным – производные единицы измерений.

Совокупность основных и производных единиц физических величин, образованная в соответствии с принципами для заданной системы физических величин называется *системой единиц физических величин*.

Первой системой единиц считается *метрическая система*, где, как уже отмечалось выше, за основную единицу длины был принят *метр*, за единицу веса – вес 1 см<sup>3</sup> химически чистой воды при температуре около +4°C – *грамм* (позже – *килограмм*). В 1799 г. были изготовлены первые прототипы (эталон) метра и килограмма. Кроме этих двух единиц метрическая система в своем первоначальном варианте включала еще и единицы площади (*ар* – площадь квадрата со стороной 10 м), объема (*стер*, равный объему куба с ребром 10 м), вместимости (*литр*, равный объему куба с ребром 0,1 м).

Таким образом, в метрической системе еще не было четкого подразделения единиц величин на основные и производные.

Понятие системы единиц как совокупности основных и производных впервые предложено немецким ученым К.Ф. Гауссом в 1832 г. В качестве основных в этой системе были приняты: единица длины – *миллиметр*, единица массы – *миллиграмм*, единица времени – *секунда*. Эту систему единиц назвали *абсолютной*.

В 1881 г. была принята система единиц физических величин *СГС*, основными единицами которой были: *сантиметр* – единица длины, *грамм* – единица массы, *секунда* – единица времени. Производными единицами системы считались единица силы – *килограмм-сила* и единица работы – *эрг*. Неудобство системы *СГС* состояло в трудностях пересчета многих единиц в другие системы для определения их соотношения.

В начале XX в. итальянский ученый Л. Джорджи предложил еще одну систему единиц, получившую название *МКСА* (в русской транскрип-

ции) и довольно широко распространенную в мире. Основные единицы этой системы: *метр, килограмм, секунда, ампер*, а производные: единица силы – *ньютон*, единица энергии – *джоуль*, единица мощности – *ватт*.

Были и другие предложения, что указывает на стремление к единству измерений в международном аспекте. В то же время даже сейчас некоторые страны не отошли от исторически сложившихся у них единиц измерения. Известно, что Великобритания, США, Канада основной единицей массы считают *фунт*, причем его размер в системе «британских имперских мер» и «старых винчестерских мер» различен.

Наиболее широко распространена во всем мире *Международная система единиц СИ*. Рассмотрим ее сущность.

### 11.3. Погрешности измерений

Как правило, всякое исследование состоит из одного или нескольких измерений. Под *измерением* понимается сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу измерения. Измерения разделяют на *прямые* и *косвенные*.

При прямых измерениях определяемая величина сравнивается с единицей измерения непосредственно или при помощи измерительного прибора, проградуированного в соответствующих единицах. К этим измерениям относятся измерения длины линейкой, штангенциркулем и т.п.

Значение измеряемой величины отсчитывается при этом по шкале прибора или подсчитывается число и значение мер и т.п.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находится на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

При измерении любой физической величины обыкновенно приходится выполнять три последовательные операции:

- 1) проверку и установку приборов,
- 2) наблюдение их показаний и отсчет,
- 3) вычисление искомой величины из результатов измерений и оценку погрешности.

При измерении любой величины мы никогда не получаем истинного значения этой величины, т.е. результат измерения дает лишь приближенное значение. Это объясняется как ограниченной возможностью точности измерения, так и природой самих измеряемых объектов.

Развитие измерительной техники привело к появлению разнообразных приборов, отличающихся своей точностью. Точность прибора – это свойство измерительного прибора, характеризующее степень приближения показаний данного измерительного прибора к действительным значениям измеряемой величины. Она связана с физическим явлением, на основе которого построен метод измерения, и с допусками при изготовлении отдельных частей прибора. Точность прибора либо задается классом точности прибора, либо указана в паспорте, прилагаемом к прибору. Погрешность, вносимая прибором при каждом отдельном измерении (*инструментальная погрешность*), связана с точностью прибора. Эта погрешность равна той доле деления шкалы прибора, до которой с уверенностью в правильности результата можно производить отсчет. Обычно, если нет оговорок в паспорте прибора, она равна цене наименьшего деления шкалы (точнее,  $\pm 0,5$  цены наименьшего деления). Естественно, чем точнее прибор, тем меньше погрешность прибора. Повышая точность отсчета по шкале данного прибора, мы принципиально не можем изменить (увеличить) точность самого прибора.

Точность измерений обратно пропорциональна так называемой относительной погрешности измерений. Так как точность измерений всегда бывает ограниченной, то результат измерений дает нам не истинное значение измеряемой величины, а лишь приближенное.

Погрешности результата измерений определяются разностью измеренной и истинной величин и будут зависеть от многих причин. Обычно стараются произвести измерения с наибольшей достижимой точностью, т.е. сделать погрешность измерения по возможности малой.

Следует иметь в виду, что чем точнее мы хотим измерить ту или иную величину, тем труднее это сделать, тем больше времени потребуют эти измерения. Так, например, измерение толщины пластинки штангенциркулем можно производить с погрешностью 0,1 мм; измерение этой же толщины микрометром можно производить с погрешностью 0,005 мм.

Таким образом, проведение измерений с высокой точностью связано с большими экспериментальными трудностями, а следовательно, с затратами времени и труда. Поэтому не следует требовать от измерений большей точности, чем это необходимо.

Погрешности разделяются на две группы: систематические и случайные. *Систематическая погрешность* – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Систематические погрешности вызываются вполне определенными причинами, величина их либо при всех повторных измерениях остается постоянной (как в случаях округления или смещения нуля шкалы прибора и т.п.), либо изменяется по определенному закону.

*Случайная погрешность* – составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины. Типичным примером подобных погрешностей может служить так называемая ошибка параллакса (рис. 11.1), которая состоит в следующем.

Для отсчета делений шкалы прибора необходимо, строго говоря, расположить глаз наблюдателя на перпендикуляре к шкале, проходящем через конец стрелки прибора или через край измеряемого предмета. Однако глаз человека не всегда может быть расположен точно на перпендикуляре. Поэтому при отсчетах мы будем получать либо завышенные, либо заниженные значения (рис. 11.2).

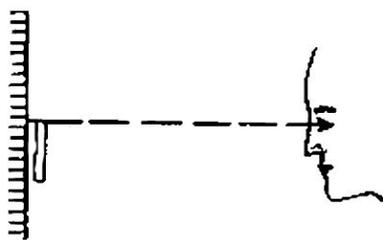


Рис. 11.1. Правильное положение глаза при снятии отсчета делений шкалы

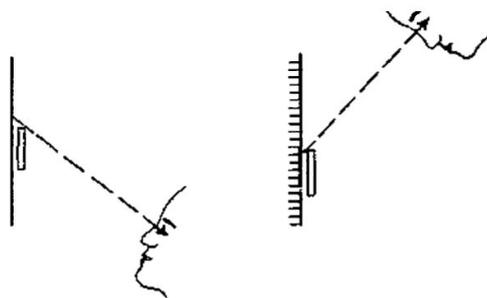


Рис. 11.2. Ошибка параллакса при отсчете делений шкалы

Хотя исключить случайные погрешности отдельных измерений невозможно, математическая теория случайных явлений позволяет уменьшить влияние этих погрешностей на окончательный результат измерений и установить разумное значение погрешностей. Ниже будет показано, что для этого необходимо произвести не одно, а несколько измерений, причем чем меньше значение погрешности мы хотим получить, тем больше измерений нужно произвести.

Упомянутая выше *инструментальная погрешность*, или погрешность прибора, содержит в себе как систематические, так и случайные погрешности. К систематическим погрешностям можно отнести погрешно-

сти, связанные со смещением начала отсчета шкалы, с неравномерностью нанесения штрихов шкалы и т.п. Из случайных погрешностей в состав приборной погрешности входят погрешности, возникшие под действием сил трения в отдельных частях прибора, из-за движения частей прибора в зазорах (люфт) и т.п. Эти погрешности обычно не подчиняются закону нормального распределения.

Следует иметь в виду, что если случайная погрешность, полученная из данных измерений, окажется значительно меньше погрешности, определяемой точностью прибора, то очевидно, что нет смысла пытаться еще уменьшить величину случайной погрешности – все равно результаты измерений не станут от этого точнее.

Наоборот, если случайная погрешность больше инструментальной (систематической), то измерения следует произвести несколько раз, чтобы уменьшить значение случайной погрешности для данной серии измерений и сделать эту погрешность меньше или одного порядка с погрешностью прибора.

#### 11.4. Механические средства измерения линейных величин

Для обеспечения принципа взаимозаменяемости деталей необходимо, чтобы все предприятия страны имели единые меры и измерительные средства, обеспечивающие надлежащую точность измерения изготавливаемых деталей. С этой целью была внедрена Государственная система обеспечения единства измерения. Эта система устанавливает организацию, порядок и способы доведения точности государственных эталонов до всех производственных измерений.

**Плоскопараллельные концевые меры длины** (рис. 11.3) представляют собой наборы параллелепипедов (пластин, брусков, режее – цилиндрических стержней) из стали длиной до 1000 мм или

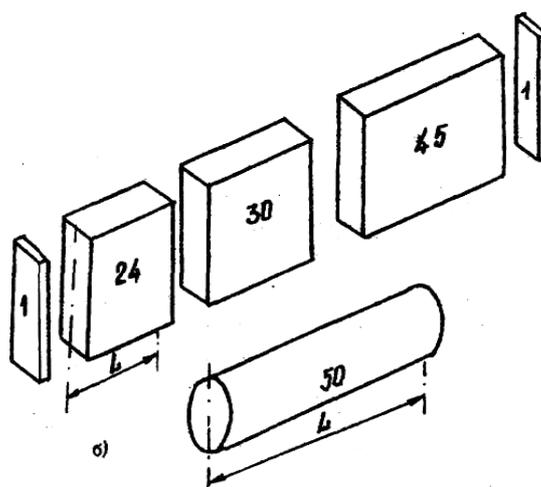


Рис. 11.3. Плоскопараллельные концевые меры длины

твердого сплава длиной до 100 мм с двумя плоскими взаимно параллельными измерительными поверхностями (ГОСТ 9038-83).

Плоскопараллельные концевые меры длины применяются:

- для непосредственного измерения линейных размеров при самых разнообразных контрольно-проверочных работах;
- для передачи размера единицы длины от первичного эталона к концевым мерам меньшей точности;
- для передачи размера от эталона до изделия.

Плоскопараллельные концевые меры длины являются основными средствами сохранения единства мер в машиностроении:

- как установочные меры для установки прибора или инструмента на нуль при относительном методе измерения;
- как образцовые меры для проверки точности инструментов и приборов: штангенциркулей, микрометров, индикаторов, миниметров, оптиметров и т.д.;
- для настройки инструментов, приборов, станков.

За размер концевой меры принимается номинальная длина с учетом отклонения линейного размера и отклонения от взаимного расположения поверхностей (плоскопараллельности). При составлении блоков мер погрешности суммируются. Рабочие поверхности мер выполняются настолько качественно, что при их методических соприкосновениях проявляется взаимное сцепление, обусловленное действием межмолекулярных сил. Благодаря этому явлению, получившему название притираемости, меры легко собираются в блоки и не распадаются во время работы. Меры из стали выдерживают до 500, из твердого сплава до 300 притираний при контрольном усилии сдвига  $15 H$ .

Отечественные заводы изготавливают плоскопараллельные концевые меры (см. рис. 11.3), номинальные размеры которых указаны в соответствии с ГОСТ 9038-83.

В зависимости от допускаемых отклонений номинальной длины и от плоскопараллельности концевых мер с учетом точности изготовления они относятся к тому или другому классу точности.

Концевые меры изготавливают следующих классов точности: 00, 0, 1, 2, 3 – из стали; 00, 0, 1, 2 и 3 – из твердого сплава. К каждому набору прилагают паспорт, включающий инструкцию по эксплуатации. Из четырех-пяти мер с градацией от 0,001 до 100 мм выпускаемых наборов можно составлять нужные блоки. Плитки комплектуются в наборы с разным количеством плиток (от 2-х до 112) и с разной градацией размеров (0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1 мм и др.).

При использовании плоскопараллельных концевых мер для непосредственных измерений применяются защитные плитки, которые вводятся попарно в любой блок и притираются с обеих сторон блока, предохраняя измерительные поверхности основных концевых мер от преждевременного износа и повреждений при непосредственных измерениях.

Для удобства пользования концевыми мерами и расширения возможностей их применения изготавливаются наборы принадлежностей к плоскопараллельным концевым мерам (струбцинки, боковички, лекальная линейка, державка с основанием).

При составлении блоков заданных размеров следует использовать минимальное количество плиток (не больше 3-4).

Помимо деления плиток на классы они подразделяются еще по точности аттестации на 5 разрядов: 1-й, 2-й, 3-й, 4-й, 5-й (1 – самый точный, 5 – самый грубый). Разряд определяется предельной погрешностью измерения самой плитки при определении ее действительного размера и допустимым отклонением от плоскопараллельности.

В процессе притирания мер в блоки добавятся дополнительные погрешности по притирочному слою. Эти погрешности носят систематический характер и ведут к увеличению размера, имея знак «+». Можно заметить, что число их будет на единицу меньше числа мер в блоке. Анализируя систематические погрешности, заметим, что эти величины различны для разных номинальных значений мер. Они изменяются от 0,1 до 0,4 мкм для размеров мер 0,1...100 мкм.

Можно усредненно принять  $\Delta = 0,3$  мкм. Допускаемые отклонения концевых мер приведены в таблице 11.1.

Таблица 11.1

Допускаемые отклонения концевых мер

Размеры мер, мм	Допускаемые отклонения концевых мер, мкм, для классов точности от номинального значения, ( $\pm$ )					
	00	01	0	1	2	3
До 10	0,05	0,18	0,10	0,18	0,35	0,08
Свыше 10 до 25	0,07	0,27	0,14	0,27	0,55	1,20
То же 25 до 50	0,10	0,35	0,20	0,35	0,70	1,60
» 50 до 75	0,12	0,45	0,25	0,45	0,90	2,00
» 75 до 100	0,14	0,55	0,30	0,55	1,10	2,50
» 100 до 150	0,20	0,80	0,40	0,80	1,60	3,00
» 150 до 200	0,25	1,00	0,50	1,00	2,00	5,00

**Штангенинструменты** являются измерительными средствами, широко применяемыми в машиностроении, поэтому знание типов штангенинструментов, их конструкции и приобретение навыков работы с ними обязательно (рис. 11.4).

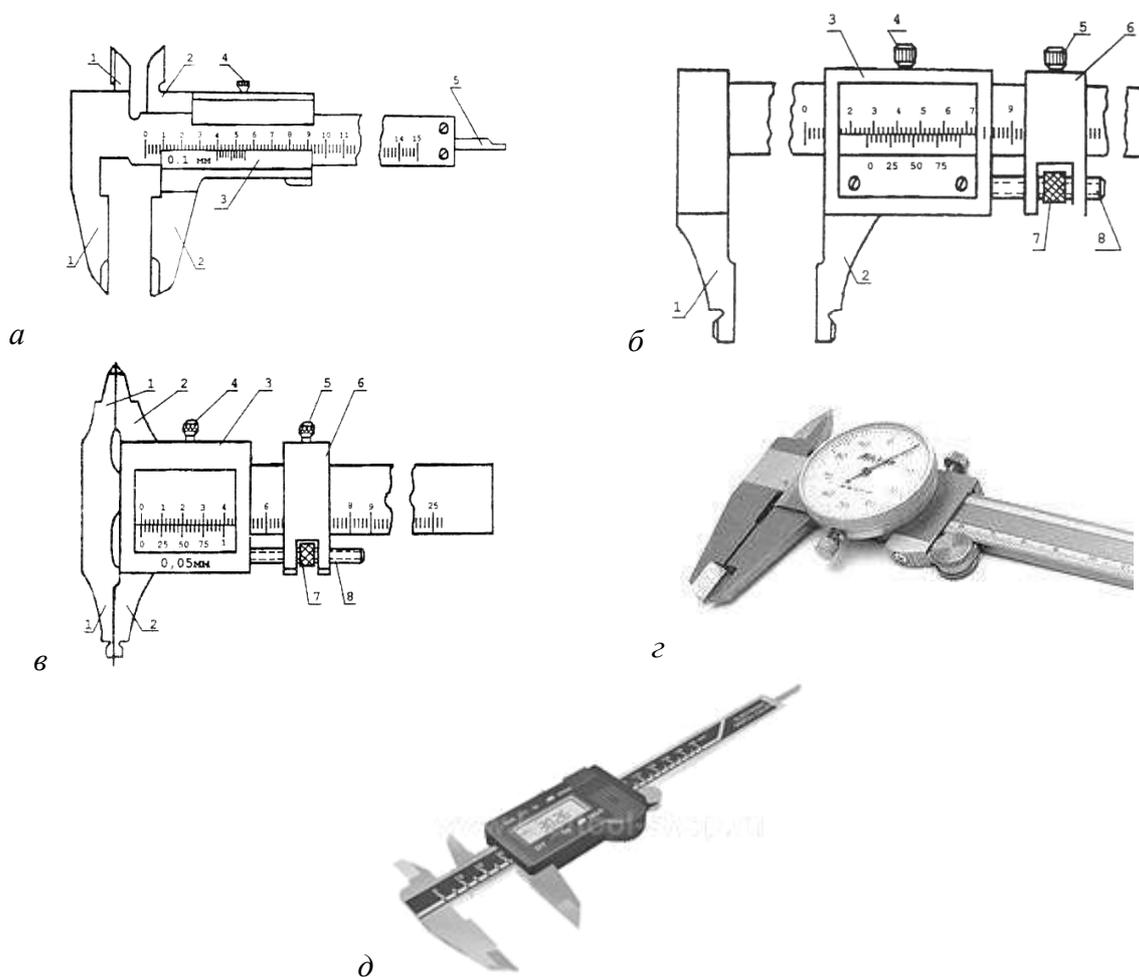


Рис. 11.4. Типы штангенциркулей: *а* – ШЦ-I; *б* – ШЦ-II;  
*в* – ШЦ-III; *з* – ШЦК-I со стрелочным индикатором; *д* – ШЦЦ I-150;  
 1, 2 – измерительные губки; 3 – рамка нониуса; 4, 5 – зажимы;  
 6 – хомуты; 7 – гайки; 8 – винты

Тип ШЦ-I (рис. 11.4, *а*) с двухсторонним расположением измерительных губок 1 и 2. Верхняя пара предназначена для внутренних измерений, нижняя – для наружных. Верхние губки расположены относительно основной шкалы нониуса так, что при измерении размеров отсчет ведется от нуля, как и при измерении наружных размеров. Линейка 5 служит для измерения глубин. Диапазон измерения от 0 до 150 мм, значения отсчета по нониусу 0,02 мм, класс точности 1, предел допускаемой погрешности  $\pm 0,02$  мм.

Тип ШЦ-II (рис. 11.4, б) с двусторонним расположением измерительных губок. Нижняя пара служит для наружных и внутренних измерений, верхняя пара губок, имеющих заострения, служит для разметки, а также для наружных измерений.

Тип ШЦ-III (рис. 11.4, в) с односторонним расположением измерительных губок. Внутренние плоскости губок 1 и 2 служат для наружных измерений, наружные цилиндрические поверхности – для внутренних измерений. К отсчету по шкале с нониусом следует прибавлять суммарную толщину двух губок, маркированную на них.

Для всех трех типов инструментов рамка со шкалой нониуса обозначена цифрой 3. Основная шкала нанесена на штанге, для закрепления рамки нониуса служит зажим 4. Штангенциркули ШЦ-II и ШЦ-III имеют закрепляемые зажимами 5 хомутики 6 и гайки 7, служащие для микрометрической подачи губки (при застопоренном винтом 5 хомутике 6 при помощи винта 8).

Штангенциркули типа ШЦ-I выпускаются с пределами измерений 0...125 мм с величиной отсчета по нониусу 0,1 мм. Штангенциркули типа ШЦ-II и ШЦ-III выпускаются с различными пределами измерений (верхний предел до 2000 мм) с величиной отсчета по нониусу 0,05 или 0,1 мм.

Штангенциркули типа ШЦК-I со стрелочным индикатором (рис. 11.4, г) выпускаются 1 и 2 классов точности с величиной отсчета по нониусу 0,05 и 0,1 мм.

Штангенциркули с электронным индикатором типа ШЦЦ I-150 (рис. 11.4, д) выпускаются 1 класса точности с величиной отсчета по нониусу 0,01 мм и пределом допускаемой погрешности  $\pm 0,01$  мм.

Отсчетным устройством в штангенинструментах является линейный нониус. Это приспособление позволяет отсчитывать дробные доли интервала делений основной шкалы штангенинструмента.

При нулевом положении нулевые штрихи основной шкалы и шкалы нониуса совпадают. При этом последний штрих шкалы нониуса также совпадает со штрихом основной шкалы, определяющим длину шкалы нониуса. При измерении шкала нониуса смещается относительно основной шкалы, и по положению нулевого штриха шкалы нониуса определяют величину этого смещения, равную измеряемому размеру.



Рис. 11.5. Показания нониуса при вычислении размера: цена деления 0,1 мм

Отсчет измеряемой величины по шкале с нониусом складывается из отсчета целых делений по основной шкале и отсчета дробной части деления по шкале нониуса (рис. 11.5).

Погрешность показаний штангенциркулей с величиной отсчета по нониусу 0,1...0,05 мм не должна превышать  $\pm 0,05$  мм. (ГОСТ 166-89). Для штангенциркулей больших размеров (1000...2000мм) погрешность не должна превышать  $\pm 0,2$  мм.

Для точной установки размера в ряде инструментов предусмотрена микрометрическая подача основной рамки; здесь необходимо предварительно выставить размер, стопорным винтом зафиксировать малую рамку, продольной подачей установить основную рамку точно на требуемый размер.

Штангенинструменты периодически должны подвергаться проверке в измерительных лабораториях, перед измерениями необходим внешний осмотр, а при необходимости проверка по эталону.

**Микрометрические инструменты**, так же как и штангенинструменты, являются измерительными средствами, широко применяемыми в машиностроении, поэтому знание типов микрометрических инструментов, их конструкции и приобретение навыков работы с ними обязательно.

К основным микрометрическим инструментам относятся микрометры МК (рис. 11.6), микрометрические глубиномеры и микрометрические нутромеры. По сути своей микрометр – это винтовая пара, которая определяет точность и погрешность инструмента.

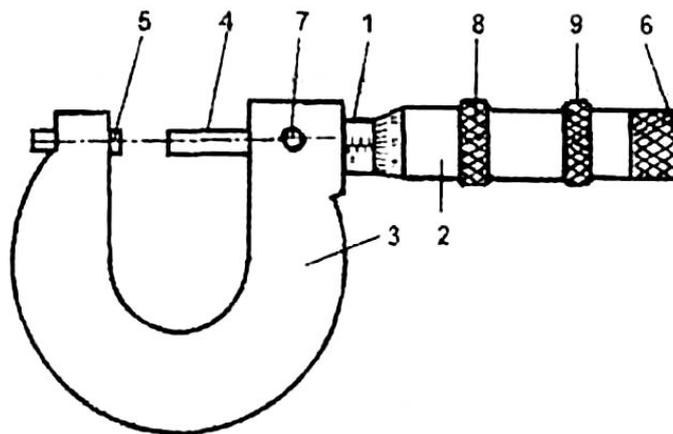


Рис. 11.6. Устройство микрометра МК: 1 – стержень; 2 – барабан; 3 – скоба; 4 – измерительный стержень; 5 – пятка; 6 – трещотка; 7 – стопор измерительного стержня; 8 – накатное кольцо барабана; 9 – стопорная гайка барабана

Микрогайка пары обычно жестко скреплена с корпусом (см. на рис. 11.6, со скобой). Микровинт заканчивается измерительным стержнем, продольное перемещение которого определено шагом резьбы, и поэтому в про-

дольном направлении наносится основная шкала. В окружном направлении вместе с микровинтом поворачивается барабан 2, который имеет шкалу винтового нониуса из 50 делений и определяет соответственно 1/50 шага микровинта. Учитывая показания основной и дополнительной шкал, можно получить достаточно точные результаты измерений.

В микрометрических инструментах используется винтовая пара, где продольное перемещение винта прямо пропорционально шагу резьбы и углу поворота винта. За один оборот микрометрический винт перемещается вдоль оси на шаг резьбы (0,5 мм). Барабан разделен по окружности на 50 равных частей. При повороте на одно деление микрометрический винт 2, соединенный с барабаном 1, перемещается вдоль оси на 1/50 шага, т.е. 0,01 мм (0,5 мм / 50 = 0,01 мм), являющейся ценой деления микрометра. Отсчетное устройство (рис. 11.7) микрометрических инструментов состоит из двух шкал: продольной – на стебле 4, и круговой – на барабане 1.



Рис. 11.7. Отсчетное устройство микрометрических инструментов

Целое число миллиметров и половину миллиметра отсчитывают краем скола барабана по шкале стебля 4. Сотые доли миллиметра определяют по порядковому номеру штриха барабана 1, совпадающего с продольным штрихом стебля; 3 – резьбовая втулка.

Точность инструмента определена шагом резьбы и количеством делений шкалы барабана. Вариация этих параметров позволяет изменять точность, однако реально точность микрометрических инструментов, как правило, не превышает 0,01 мм.

Микрометрический глубиномер (ГМ). Верхний предел измерений микрометрического глубиномера (ГОСТ 7470-78) 100 и 150 мм устанавливается с помощью сменных измерительных стержней. Широкая измерительная поверхность основания и сменные измерительные стержни малого сечения обеспечивают устойчивость и возможность производить измерения глубин в отверстиях и пазах небольших размеров (рис. 11.8).

Микрометрические нутромеры (рис. 11.9) изготавливаются с пределами измерений: 50...75, 75...175, 75...600, 150...1250, 800...2500, 1250...4000, 2500...6000, 4000...10000 мм.

При выборе удлинителей от проверяемого размера отнимают нижний предел измерений микрометрической головки с наконечником. Затем выбирают удлинители по размерам, обеспечивающим их наименьшее количество (от большого к меньшему). Сумма нижнего предела измерения микрометрической головки с наконечником и удлинителей должна быть меньше требуемого размера, но не более чем на разность между пределами измерения микрометрической головки.

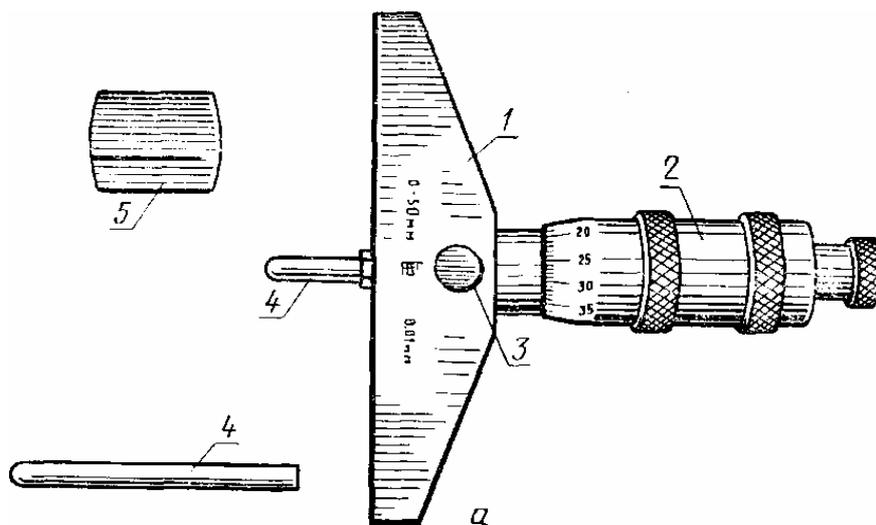


Рис. 11.8. Микрометрический глубиномер:

1 – основание; 2 – микрометрическая головка; 3 – стопор;  
4 – сменные измерительные стержни; 5 – установочная мера

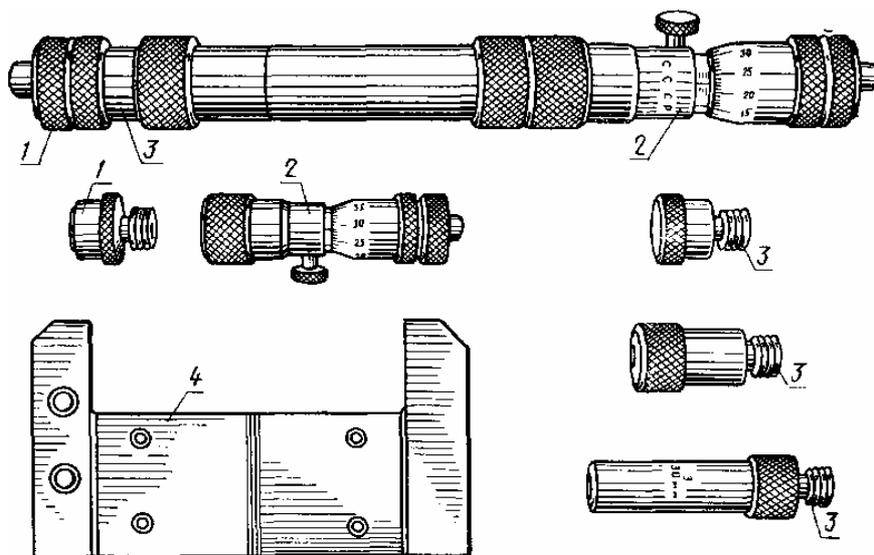


Рис. 11.9. Микрометрический нутромер:

1 – наконечник; 2 – микрометрическая головка;  
3 – удлинителя; 4 – установочная мера

Для создания определенного измерительного усилия микрометры снабжены стабилизатором усилий в виде трещотки.

Для повышения точности измерений размеров от 1000 мм и выше предусмотрена рычажная система. Такие рычажные микрометры с интервалами через 200 мм предназначены для замены обычных жестких микрометров, так как они обеспечивают более точные измерения.

### **11.5. Рекомендации по выбору средств контроля линейных размеров**

При выборе средств измерений учитывают совокупность метрологических (цена деления, погрешность, пределы измерений, измерительное усилие), эксплуатационных и экономических показателей, к которым относятся: массовость (повторяемость измеряемых размеров) и доступность их для контроля; стоимость и надежность средств измерений; метод измерения; время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габаритные размеры, рабочая нагрузка; жесткость объекта контроля, шероховатость его поверхности; режим работы и т.д.

Выбор средств измерений зависит от масштаба производства или количества находящихся в эксплуатации однотипных (одноименных) технических систем.

Например, в массовом производстве с отработанным технологическим процессом, включая контрольные операции, используют высокопроизводительные механизированные и автоматизированные средства измерения и контроля. Универсальные средства измерений применяются преимущественно для наладки оборудования.

В серийном производстве основными средствами контроля должны быть жесткие предельные калибры, шаблоны, специальные контрольные приспособления. Возможно применение универсальных средств измерений.

В мелкосерийном и индивидуальном производстве основными являются универсальные средства измерений, поскольку применение других организационно и экономически невыгодно: неэффективно будут использоваться специальные контрольные приспособления или потребуется большое количество калибров различных типоразмеров.

Метод измерения, определяемый целью контроля, выдвигает требования к средствам измерений по базировке: если контролируется точность

технологического процесса, то выбирают средства измерений для технологических баз; если точность технических систем контролируется с точки зрения эксплуатации, то средство измерений выбирается под эксплуатационные базы.

При выборе средств измерений по метрологическим характеристикам необходимо учитывать, что цена деления шкалы должна выбираться с учетом заданной точности измерения.

Например, если размер необходимо контролировать с точностью до 0,01 мм, то и средство измерений следует выбирать с ценой деления 0,01 мм, так как измерительное устройство с более грубой шкалой внесет дополнительные субъективные погрешности, а с более точной – выбирать не имеет смысла из-за удорожания средств измерений. При контроле технологических процессов должны использоваться средства измерений с ценой деления не более  $1/6$  допуска на изготовление.

Поэтому при измерениях рабочий участок шкалы средств измерений должен выбираться по правилу: *относительная погрешность в пределах рабочего участка шкалы средств измерений не должна превышать приведенную погрешность более чем в 3 раза*. Из этого правила следует:

- при односторонней равномерной шкале с нулевой отметкой в ее начале рабочий участок занимает последние две трети длины шкалы;
- при двусторонней шкале с нулевой отметкой посередине – последнюю треть каждого сектора;
- при шкале без нуля рабочий участок может распространяться на всю длину шкалы.

В пределах рабочего участка шкалы наибольшая возможная абсолютная погрешность равновероятна на всех отметках. Таким образом, при выборе средств измерений важно определить рабочий участок шкалы и ее цену деления.

## Лекция 12. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЯХ

### 12.1. Размерные цепи

*Размерной цепью* называется совокупность взаимосвязанных размеров, определяющих взаимное расположение осей и поверхностей одной детали или нескольких деталей в изделии, расположенных в определенной последовательности по замкнутому контуру и непосредственно влияющих на точность одного из размеров контура.

Каждая размерная цепь состоит из *составляющих звеньев* (размеров) цепи и *замыкающего звена* (размера).

*Замыкающим размером* называется размер, получающийся последним в процессе обработки детали или сборки узла, величина и точность которого зависят от величины и точности всех остальных размеров цепи, называемых составляющими. По взаимному расположению размеров размерные цепи делятся на линейные, плоскостные и пространственные.

*Линейными* называются размерные цепи, звенья которых расположены параллельно друг другу.

*Плоскостными* называются размерные цепи, все или часть звеньев которых не параллельны друг другу, но расположены в одной или нескольких параллельных плоскостях.

*Пространственными* называются размерные цепи, все или часть звеньев которых не параллельны друг другу и расположены в непараллельных плоскостях.

*Угловыми* называются размерные цепи, все звенья которых – угловые величины. Признаками составляющих размеров угловой цепи часто бывают неперпендикулярность, непараллельность осей и поверхностей и тому подобные погрешности взаимного расположения поверхностей и осей деталей.

*Увеличивающими* называются составляющие размеры, при увеличении которых замыкающий размер увеличивается.

*Уменьшающими* называются составляющие размеры, при увеличении которых замыкающий размер уменьшается.

Размер сборочной размерной цепи, который определяет функционирование узла или механизма, называется *исходным* (функциональным) размером (зазор, натяг, величина перемещения детали и т.д.). В процессе сборки этот размер, как правило, является *замыкающим*.

Предельные отклонения размеров назначают, в основном, руководствуясь следующими правилами:

- допуск назначается в тело детали;
- для охватывающих размеров отклонение назначается в «+»;
- для охватываемых размеров отклонение назначается в «-» ;
- для прочих размеров отклонения назначаются симметрично «±» (отклонения по абсолютной величине равны половине допуска).

По виду задач, в решении которых участвуют цепи, они делятся на конструкторские, технологические и измерительные.

*Конструкторские размерные цепи* решают задачу по обеспечению точности при конструировании. Они устанавливают связь размеров детали в изделии. На рисунке 12.1 приведены примеры сборочных размерных цепей. На рисунке 12.1, *а* приведена элементарная сборочная размерная цепь, решающая задачу обеспечения точности сопряжения двух деталей. На рисунке 12.1, *б* тоже показана сборочная цепь, которая решает задачу обеспечения перпендикулярности поверхности 2 к оси 1, необходимой для базирования подшипника качения.

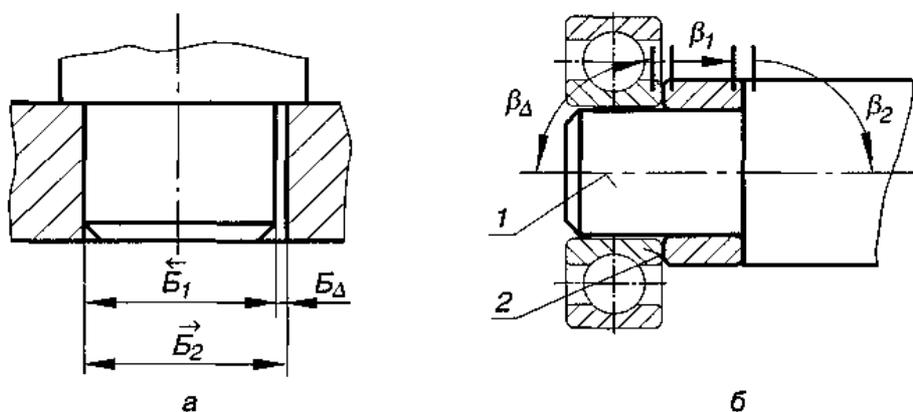


Рис. 12.1. Примеры сборочных размерных цепей:  
*а* – простая; *б* – с компенсатором

*Технологические размерные цепи* решают задачу по обеспечению точности при изготовлении машин. Они устанавливают связь размеров деталей на разных этапах технологического процесса. На рисунке 12.2, *а* изображена деталь с размерами, которые следует выдержать при изготовлении. Последовательность получения размеров приведена на рисунках 12.2, *б*, *в*, *г*. На основании предложенного маршрута обработки построена технологическая размерная цепь (рис. 12.2, *д*). При обработке детали выдерживаются размеры  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , а размер  $C_{\Delta}$  получается автоматически.

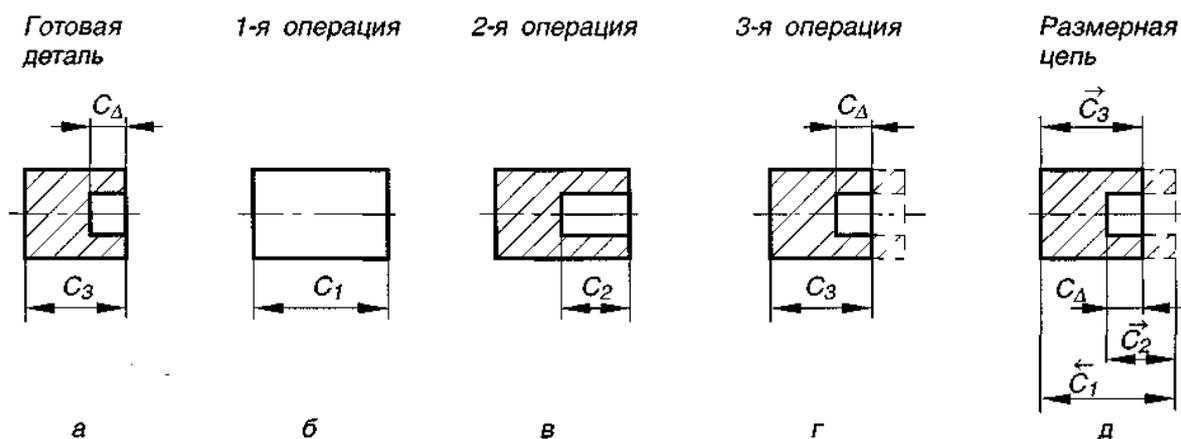


Рис. 12.2. Принципы построения технологических размерных цепей:  
*a* – готовая деталь; *б* – заготовка; *в* – сверление отверстия;  
*г* – рассверливание отверстия; *д* – размерная цепь готовой детали

Перед тем как построить размерную цепь, следует выявить замыкающее звено, которое, допустим, определяет нормальное функционирование механизма. Размер или предельное отклонение замыкающего звена назначают или рассчитывают исходя из условий работы и/или требуемой точности.

Рассмотрим наиболее типичные варианты сборочных размерных цепей. Первый вид размерных цепей приведен на рисунке 12.3, второй – на рисунке 12.4, третий – на рисунке 12.5.

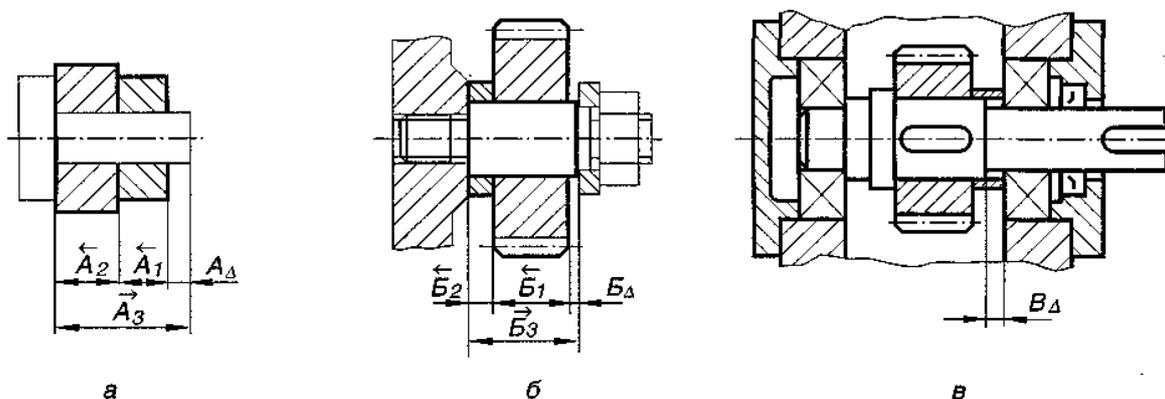


Рис. 12.3. Первый вид размерной цепи

Например, размер и предельные отклонения замыкающего звена  $A_{\Delta}$  принимаются такими, которые обеспечивали бы свободное вращение зубчатого колеса при минимальном возможном смещении его вдоль оси. Несовпадение вершины делительного конуса конической шестерни с осью вращения конического колеса (рис. 12.5, *a*, *б*) определяется степенью точности зубчатых колес, а его предельные значения находятся по соответствующему

стандарту. Надо только установить, между какими деталями стоит размер замыкающего звена, а затем связать эти детали цепью размеров.

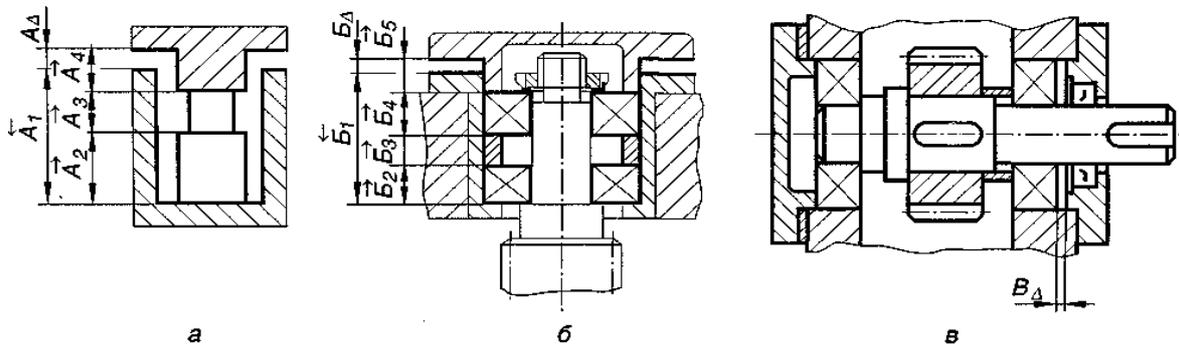


Рис. 12.4. Второй вид размерной цепи

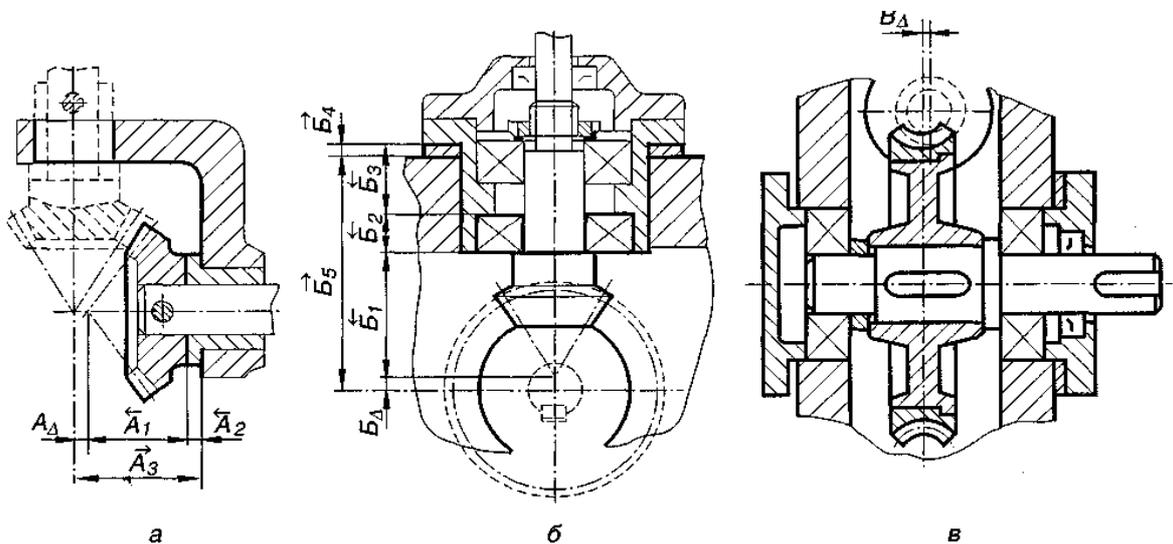


Рис. 12.5. Третий вид размерной цепи

Например, на рисунке 12.5, б размер замыкающего звена  $B_{\Delta}$  стоит между осью и торцом зубчатого колеса; на рисунке 12.5, а звено  $A_{\Delta}$  стоит между осью отверстия в корпусе и вершиной делительного конуса конического колеса и т.д.

При построении размерных цепей следует руководствоваться их основными свойствами:

- цепь должна быть замкнута;
- размер любого звена сборочной цепи должен относиться к элементам одной и той же детали; исключением является замыкающее звено, которое всегда соединяет элементы разных деталей;
- цепь должна быть проведена наикратчайшим способом, т.е. деталь своими элементами должна входить в размерную цепь только один раз.

## 12.2. Методы достижения точности замыкающего звена

При расчете размерных цепей различают прямую и обратную задачи.

*Прямая задача* заключается в определении допуска и предельных отклонений составляющих размеров по заданным номинальным размерам всех звеньев цепи и заданным предельным отклонениям исходного (замыкающего) звена.

*Обратная задача* заключается в определении номинального значения, допуска и предельных отклонений замыкающего размера по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям составляющих звеньев.

Прямая задача, связанная с размерными цепями, решается при проектировании новых конструкций деталей, узлов и машин (проектные расчеты).

Обратная задача решается в случаях, когда в чертежах допуски на составляющие размеры установлены конструктором исходя из конструктивных, технологических и экономических соображений и требуется проверить их соответствие допуску замыкающего звена (проверочные расчеты).

Как прямые, так и обратные задачи размерного анализа можно решать методом полной взаимозаменяемости; теоретико-вероятностным методом и другими методами, обеспечивающими неполную взаимозаменяемость.

Плоские и пространственные размерные цепи рассчитывают теми же методами, что и линейные. Необходимо лишь привести их к виду линейных размерных цепей. Это достигается путем проектирования размеров плоской цепи на одно направление, обычно совпадающее с направлением замыкающего размера, а пространственной цепи – на две или три взаимно перпендикулярные оси.

В размерном анализе и синтезе конструкций машин выбирают методы достижения точности замыкающего звена, обусловленные способами решения размерных цепей.

*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. Для того чтобы обеспечить полную взаимозаменяемость, размерные цепи рассчитывают способом на *максимум-минимум*, учитывающим только предельные отклонения звеньев размерной цепи и самые неблагоприятные их сочетания при помощи системы аддитивных допусков. При таких допусках влияние их на издержки производства значительное. Обеспечение заданных предельных отклонений при этом приводит к резкому повышению стоимости, а поэтому расчеты экономически оптимальной точности необходимы.

**Метод неполной взаимозаменяемости** применяется, когда требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается с некоторым риском путем включения в нее составляющих звеньев без участия других методов. В этом случае допускаются перекрывающиеся допуски, и сборка может проходить с помощью методов групповой взаимозаменяемости, регулирования, пригонки, опираясь на теоретико-вероятностный метод расчета. Теоретико-вероятностный метод ограничивает выпуск бракованной продукции до небольшого допустимого предела с применением системы перекрывающихся допусков на основе случайного отбора деталей.

При **методе групповой взаимозаменяемости** требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к соответственным группам, на которые они предварительно рассортированы. Выбор метода представляет экономическую проблему и предполагает дополнительные издержки производства. Сортировка деталей увеличивает затраты на новую измерительную технику и привлекает дорогостоящие контрольные автоматы. Увеличиваются затраты труда контролеров. Растут складские расходы в связи с дополнительными затратами по хранению отсортированных деталей.

В **методе регулирования** требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора. Роль компенсатора обычно выполняет специальное звено в виде прокладки, регулируемого упора, клина и т.д. При этом по всем остальным размерам цепи детали обрабатывают по расширенным допускам, экономически приемлемым для данных производственных условий. К недостаткам метода следует отнести увеличение числа деталей в машине, что усложняет конструкцию, сборку и эксплуатацию.

В **методе пригонки** требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением значения компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала по оставленному припуску. Применяют способы совместной обработки деталей и при большом объеме выполняемых работ, при высокой точности его автоматизируют.

### 12.3. Методы решения размерных цепей

К задачам расчета размерных цепей относят следующее.

**Задача синтеза** – та, при которой заданы параметры замыкающего звена (номинальное значение, допустимые отклонения и допуски) и требуется определить параметры составляющих звеньев.

*Задача анализа* – задача, в которой известны параметры составляющих звеньев и требуется определить параметры замыкающего звена.

Сущность расчета размерной цепи заключается в установлении допусков, предельных отклонений, координат их середин, номинальных размеров всех звеньев.

**Метод полной взаимозаменяемости.** Метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи получается при любом сочетании размеров составляющих звеньев. При этом предполагают, что в размерной цепи одновременно могут оказаться все звенья с предельными значениями, причем в любом из двух наиболее неблагоприятных сочетаний (все увеличивающие звенья с верхними предельными размерами, а уменьшающие – с нижними, или наоборот). Такой метод расчета, который учитывает эти неблагоприятные сочетания, называется методом расчета на *максимум-минимум*.

Размерная цепь всегда замкнута. На основании этого свойства существует зависимость, которая связывает номинальные размеры звеньев. Для плоских размерных цепей с номинальными звеньями она имеет следующий вид:

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^n \vec{A}_i - \sum_{i=1}^p \overleftarrow{A}_i, \quad (12.1)$$

где  $n$  и  $p$  – число соответственно увеличивающих ( $\vec{A}_i$ ) и уменьшающих ( $\overleftarrow{A}_i$ ) звеньев в размерной цепи. Для определения зависимости, которая связывает допуски звеньев в размерной цепи, найдем вначале наибольшее значение замыкающего звена:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_i^{\max} - \sum_{i=1}^p \overleftarrow{A}_i^{\min}, \quad (12.2)$$

затем наименьшее значение:

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{i=1}^n \overrightarrow{A}_i^{\min} - \sum_{i=1}^p \overleftarrow{A}_i^{\max}. \quad (12.3)$$

Вычитая из формулы (12.2) формулу (12.3) получаем величину допуска замыкающего звена:

$$T_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} T_i, \quad (12.4)$$

где  $m$  – количество звеньев размерной цепи, включая замыкающее звено.

**Метод неполной взаимозаменяемости.** Это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи получается не при

любых сочетаниях, а при ранее обусловленной части сочетаний размеров составляющих звеньев.

Сборка осуществляется без пригонки, регулировки и подбора звеньев.

Метод исходит из предположения, что сочетание действительных размеров составляющих звеньев в изделии носит случайный характер, и вероятность того, что все звенья с самыми неблагоприятными сочетаниями окажутся в одном изделии, весьма мала.

Такой метод расчета, который учитывает рассеяние размеров и вероятность их различных сочетаний, называется *вероятностным методом расчета*. Другими словами, метод допускает малый процент изделий, у которых замыкающее звено выйдет за рамки поля допусков. При этом расширяются допуски составляющих цепь размеров, и тем самым снижается себестоимость изготовления деталей.

Задачей расчета является назначение допусков на составляющие звенья, соответствующих одинаковой степени точности.

**Метод пригонки.** Это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением размера компенсирующего звена путем снятия с компенсатора слоя металла. Его суть состоит в том, что допуски на составляющие звенья назначаются по экономически приемлемым квалитетам, например по 12...14 квалитетам. Получающийся после этого у замыкающего звена избыток поля рассеяния при сборке устраняют за счет компенсатора.

Смысл расчета заключается в определении припуска на пригонку, достаточного для компенсации величины превышения предельных значений замыкающего звена и вместе с тем наименьшего для сокращения объема пригоночных работ.

**Метод регулирования** с применением неподвижного компенсатора. Это метод, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается изменением компенсирующего звена без снятия слоя металла. Его суть состоит в том, что избыток поля рассеивания замыкающего звена устраняют путем подбора компенсатора из некоторого количества компенсаторов, заранее изготовленных с различными размерами.

Смысл расчета заключается в определении наименьшего количества компенсаторов в комплекте.

Роль компенсатора обычно выполняет деталь, наиболее доступная при разборке механизма, несложная по конструкции и неточная, например прокладка, шайба проставочная и т.п.

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### 1. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с настоящими методическими указаниями к выполнению практической работы.

2. Изучить на натурном образце конструкции измерительных средств:

- штангенциркуля;
- микрометра;
- угломера.

3. Заполнить формуляр измерительного средства по форме, представленной в таблице 1.

Таблица 1

Формуляр измерительных средств

Вид измерительного средства	Тип (модель), исполнение	Заводской номер	Диапазон измерения, мм	Точность, мм
1. Штангенциркуль	ШЦ-I	1816350	0...150	0,1
2.				
...				

4. Ознакомиться с конструкцией измеряемой детали, выполнить ее технический рисунок, пронумеровать поверхности.

5. Измерить деталь (несколько измерений в различных плоскостях).

6. Заполнить формуляр измерения поверхностей по форме, приведенной в таблице 2.

Таблица 2

Формуляр измерения поверхностей детали

№ поверхности	Измерительное средство	Измерения, мм					Номинальный размер, мм	Допуск размер, мкм
		1	2	3	4	5		
1,								
2,								

7. Нанести на чертеж детали измеренные размеры:

- для диаметров ступеней – в виде ближайшего большего целочисленного номинала и дробной части, как нижнего отклонения вала «в металл» (отклонение типа  $h$ );
- для длин ступеней и габаритного размера – в виде ближайшего большего целочисленного номинала и дробной части, как переходного отклонения (отклонение типа  $\pm IT14/2$ ).

8. По таблицам (прил. 1 – 4) выбрать степень точности отклонения на измеренные размеры. Данные свести в таблицу 3.

Таблица 3

Выбор стандартного размера поверхности

№ поверхности	Размер, мм				Стандартный допуск, мм		Принятый вариант
	$d$ или $l$	$ei$	$es$	$Td$	1	2	
1.	$d 12,0$	$-0,11$	$0$	$0,11$	$h9 - 0,043$	$h11 - 0,110$	$h11$
2.	$l 20,0$	$-0,75$	$+0,75$	$1,5$	$\pm IT14/2 - \pm 0,75$	-	$\pm IT14/2$

9. Дополнить размерные характеристики поверхностей буквенным обозначением типа  $\varnothing 20h9_{(-0,052)}$  и указать их на чертеже детали.

## 2. Индивидуальное задание

С использованием имеющегося набора измерительных средств произвести с максимальной точностью контроль геометрических параметров заданной детали, назначить стандартные отклонения измеренных размеров, выполнить чертеж детали и указать фактические размеры всех контролируемых поверхностей.

## 3. Содержание отчета

1. Характеристика основных измерительных средств контроля линейных и угловых размеров.
2. Формуляр набора заданных измерительных средств (табл. 1).
3. Формуляр измерения поверхностей детали (табл. 2).
4. Таблица выбора стандартного размера поверхностей (табл. 3).
5. Чертеж детали с указанием линейных размеров (формат А4).

# Лабораторная работа № 1

## ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИН УГЛОВ

### УНИВЕРСАЛЬНЫМ УГЛОМЕРОМ

#### 1. Общие вопросы анализа геометрических характеристик режущих инструментов

##### 1.1. Геометрические параметры режущей части инструментов

Режущая часть любого инструмента имеет форму клина, заточенного под определенным углом. Рассмотрим геометрические параметры режущей части инструмента на примере резцов.

Введем следующие понятия: плоскость резания и основная плоскость.

*Плоскостью резания* называется плоскость, касательная к поверхности резания и проходящая через главную режущую кромку; на рисунке 1 показан след этой плоскости.

*Основной плоскостью* называется плоскость, параллельная продольному (параллельно оси заготовки) и поперечному (перпендикулярно к оси заготовки) перемещению.

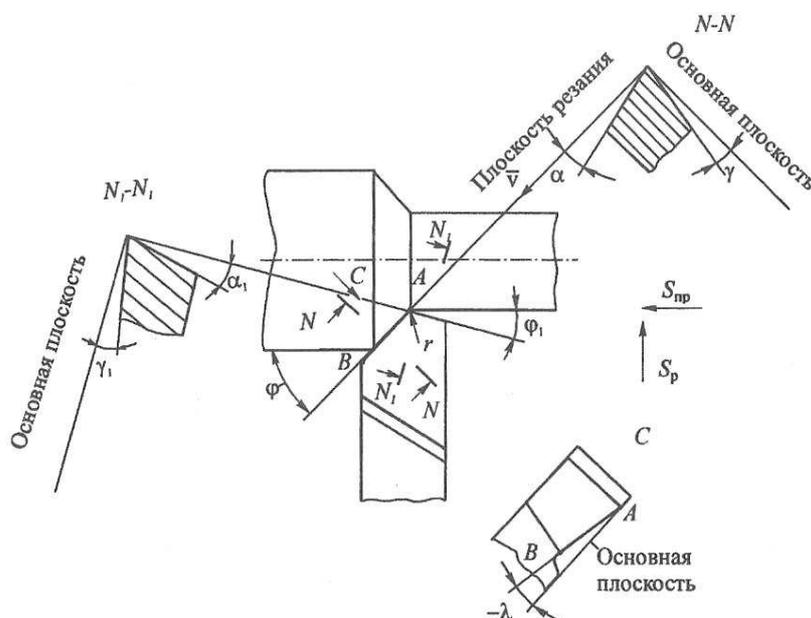


Рис. 1. Поверхности заготовки и углы резца

Главные углы резца измеряются в *главной секущей плоскости*, т.е. в плоскости, перпендикулярной проекции главной режущей кромки на основную плоскость.

К главным углам резца относятся задний угол  $\alpha$ , угол заострения  $\beta$ , передний угол  $\gamma$  и угол резания  $\delta$ . Их можно определить, произведя сечение перпендикулярно режущей кромке, как показано на рисунке 1.

*Главным задним углом  $\alpha$*  называется угол между касательной к главной задней поверхности резца в рассматриваемой точке режущей кромки и плоскостью резания. При плоской задней поверхности резца можно сказать, что  $\alpha$  – угол между главной задней поверхностью резца и плоскостью резания. Задние углы уменьшают трение задних поверхностей инструмента о поверхность резания и обработанную поверхность.

*Углом заострения  $\beta$*  называется угол между передней и главной задней поверхностями резца.

*Главным передним углом  $\gamma$*  называется угол между передней поверхностью резца и плоскостью, перпендикулярной плоскости резания и проходящей через главную режущую кромку. Он может быть положительным, когда передняя поверхность направлена вниз от плоскости, перпендикулярной плоскости резания, равным нулю, – когда передняя поверхность перпендикулярна к плоскости резания, и отрицательным, – когда передняя поверхность направлена вверх от плоскости, перпендикулярной плоскости резания. Положительный передний угол делается для облегчения процесса резания (стружкообразования) и более свободного схода стружки по передней поверхности.

Однако на практике положительный угол  $\gamma$  не всегда оказывается лучшим, и его приходится уменьшать (до 0, а иногда делать и отрицательным).

Кроме рассмотренных главных углов, резец характеризуется углами в горизонтальной плоскости: вспомогательными задним и передним в плане наклона главной режущей кромки.

*Вспомогательным задним углом  $\alpha_1$*  называется угол между вспомогательной задней поверхностью и плоскостью, проходящей через вспомогательную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Вспомогательный задний угол измеряется во вспомогательной секущей плоскости, перпендикулярной проекции вспомогательной режущей кромки на основную плоскость. В этой же плоскости рассматривается и вспомогательный передний угол  $\gamma_1$ .

*Главным углом в плане  $\phi$*  называется угол между проекцией главной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи. Угол  $\phi$  делается для того, чтобы главная режущая кромка могла воздействовать на глубину срезаемого слоя; он влияет на износостойкость резца.

Вспомогательным углом в плане  $\phi_1$  называется угол между проекцией вспомогательной режущей кромки на основную плоскость и направлением подачи; он делается для исключения трения на большей части вспомогательной, режущей кромки.

Углом при вершине в плане  $\epsilon$  называется угол между проекциями режущих кромок на основную плоскость.

Углом наклона главной режущей кромки  $\lambda$  называется угол, заключенный между режущей кромкой и линией, проведенной через вершину резца параллельно основной плоскости. Этот угол измеряется в плоскости, проходящей через главную режущую кромку перпендикулярно к основной плоскости. Угол наклона главной режущей кромки считается:

- отрицательным, когда вершина резца является наивысшей точкой режущей кромки (рис. 2, а);
- равным нулю – при главной режущей кромке, параллельной основной плоскости (рис. 2, б);
- положительным, когда вершина резца является низшей точкой режущей кромки (рис. 2, в).

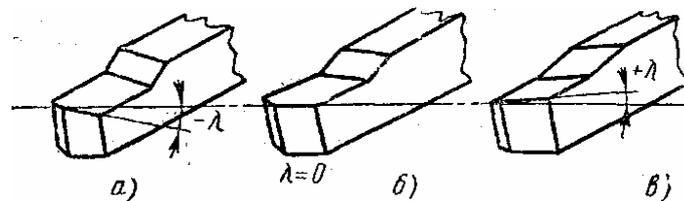


Рис. 2. Углы наклона главной режущей кромки резца

Угол  $\lambda$  задается для изменения направления стружки; он влияет на прочность головки резца и режущей кромки.

## 1.2 Особенности геометрических параметров режущей части осевого режущего инструмента

К осевым режущим инструментам относятся сверла (рис. 3), зенкеры, развертки, прошивки, протяжки, концевые фрезы (рис. 4) и т.п. – инструменты, имеющие в качестве основной базовой поверхности развитую ось вращения.

В осевом направлении конструкция сверла определяется заборным конусом (угол заточки  $2\phi = 105^0$ ), спиральной частью с ленточкой (угол подъема спиральной линии  $\omega = 30^0$ ), переходным пояском, хвостовой ча-

стью (в данном случае выполненной в виде конуса Морзе № 4) и лапкой для простоты извлечения сверла.

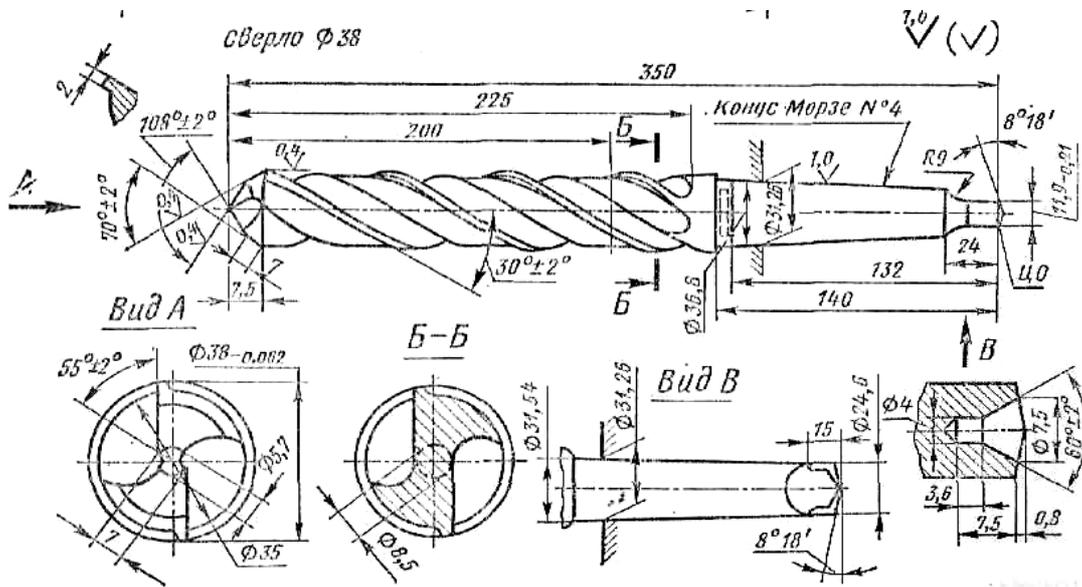


Рис. 3. Конструкция спирального сверла

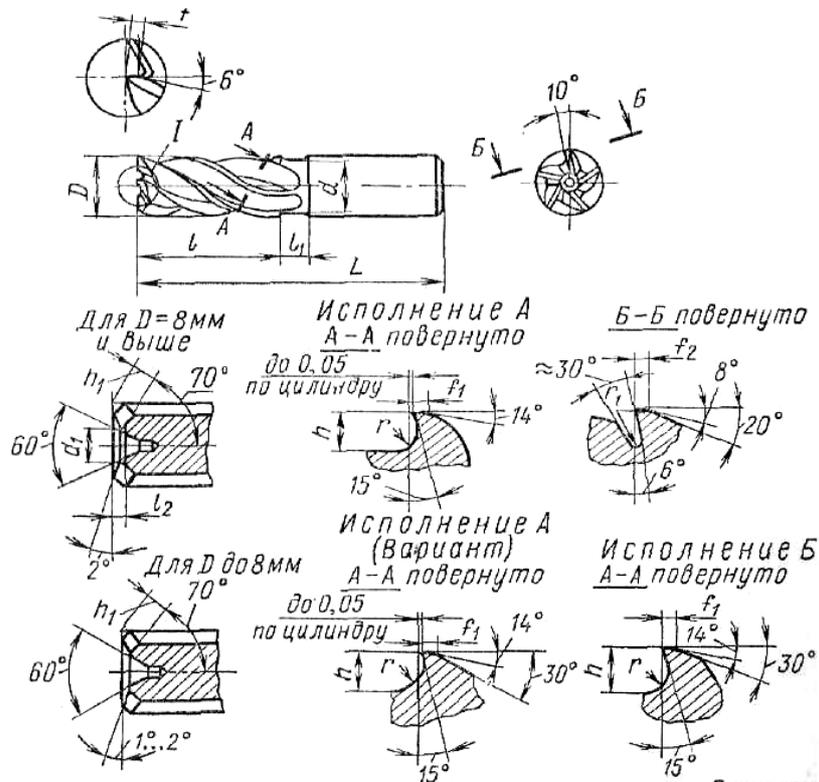


Рис. 4. Конструкция концевой фрезы

В поперечном направлении (Вид А) конструкция сверла определяется диаметром сверла, диаметром сердцевины ( $\varnothing 8,5$ ), углом расположения поперечной кромки  $\psi$ , шириной и высотой ленточки  $f$  (2 мм). Кроме того, сверла могут отличаться конструкцией заборного конуса в соответствии с назначенной формой заточки (нормальная, двойная, с подточкой поперечной кромки, с подточкой поперечной кромки и ленточки).

Конструктивно концевые фрезы отличаются от сверл отсутствием заборного конуса и наличием режущих лезвий как на периферии, так и на торце. Геометрия режущей части характеризуется наличием переднего  $\gamma$ , заднего  $\alpha$  и угла заострения  $\beta$ , а также угла подъема винтовой линии  $\omega$ .

### 1.3. Особенности геометрических параметров многозубого инструмента

Рассмотрим геометрические параметры многозубого инструмента на примере дисковой и торцевой фрез, представленных на рисунках 5 и 6.

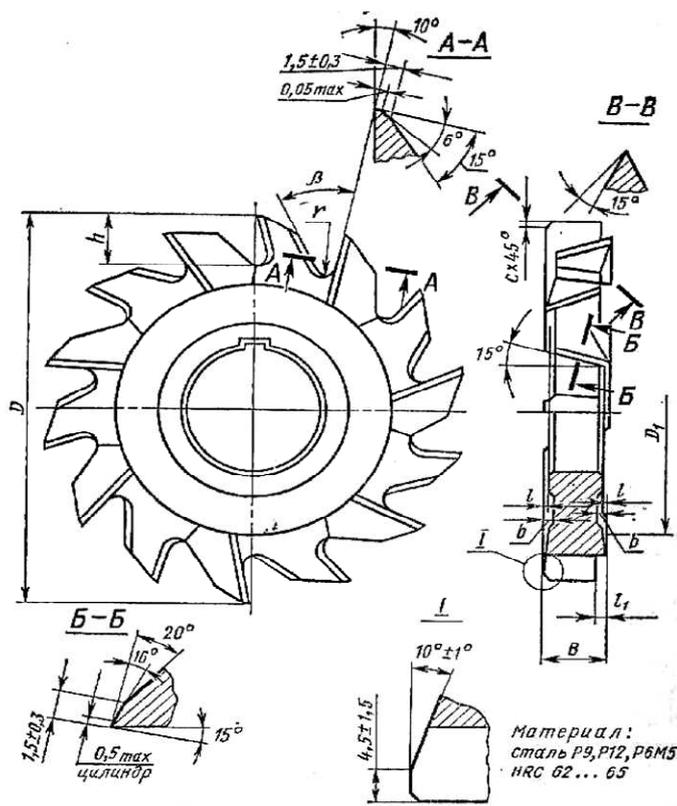


Рис. 5. Конструкция дисковой фрезы

По конструкции различают фрезы цельные и сборные, по форме зуба – фрезы с остроконечными и затылованными зубьями (специальное профи-

лирование задней поверхности зуба с целью сохранения размера зуба независимо от степени переточки по передней поверхности). Форма остроконечных зубьев может быть обычной (заточка задней поверхности по одной плоскости), с ломаной (заточка задней поверхности по двум плоскостям с углами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) или с криволинейной спинкой.

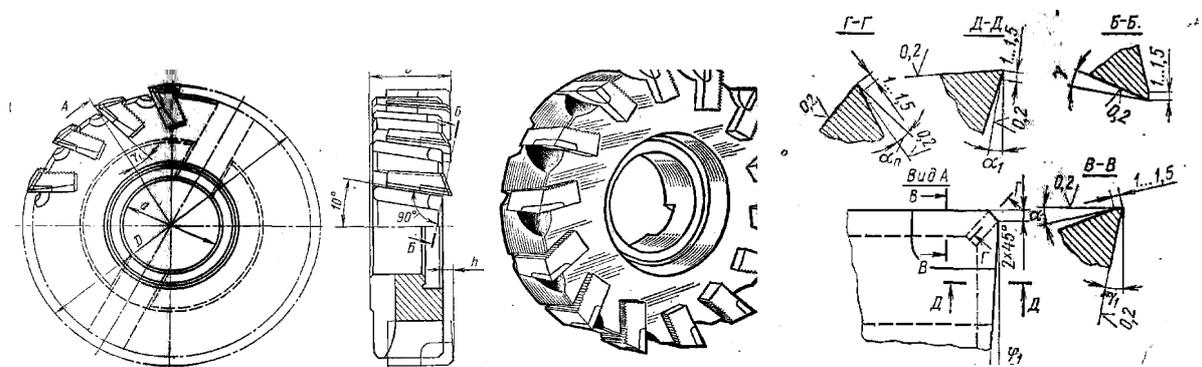


Рис. 6. Конструкция торцевой фрезы

## 2. Конструкции современных универсальных угломеров

### 2.1. Инструментальный угломер маятникового типа ЗУРИ-М

Угломер маятниковый типа ЗУРИ-М предназначен для измерения углов режущих инструментов различных видов (рис. 7). Применяется в различных отраслях промышленности. Вид климатического исполнения УХЛ4 по ГОСТ 15150-69. Пример обозначения угломера при заказе: «Угломер маятниковый ЗУРИ-М ТУ2-034-666-82».

#### *Технические характеристики*

1. Диапазон измерений ..... 0...360°
2. Цена деления шкалы ..... 1°
3. Основная погрешность на всем диапазоне измерений ..... ±1°
4. Размах показаний не должен превышать ..... 30'
5. Средний срок службы, лет, не менее ..... 5

#### *Условия эксплуатации*

Перед началом измерений угломер выдержать на рабочем месте не менее трех часов.

Температура рабочего пространства в процессе измерения должна быть от 10 до 35°C, относительная влажность окружающего воздуха не бо-

лее 80% при температуре +25°C. Содержание примесей агрессивных газов в окружающей среде не допускается.

#### *Подготовка угломера к работе*

Ознакомиться перед началом работы с паспортом.

Удалить смазку с поверхностей контрольной линейки угломера ветошью, смоченной в бензине, и протереть ее сухой тканью. Установить угломер ребром контрольной линейки на плиту, выверенную в горизонтальной плоскости с помощью уровня. Величина отклонения от нулевой отметки шкалы не должна превышать размаха показаний.



Рис. 7. Общий вид угломера ЗУРИ-М

Если величина отклонения стрелки больше, то необходимо освободить два винта, крепящие механизм угломера к крышке, и, перемещая механизм относительно собственной оси в ту или другую сторону, совместить конец стрелки с нулевой отметкой шкалы, затянуть винты и проверить нулевую установку.

#### *Правила хранения угломера*

По окончании работы протереть наружные поверхности контрольной линейки чистой тканью, смоченной в бензине, затем сухой тканью и смазать противокоррозионной смазкой. Хранить угломер в футляре в сухом отапливаемом помещении при температуре воздуха от 5 до 40 °С и относительной влажности не более 80% при температуре 25 °С. Воздух в помещении не должен содержать примесей агрессивных газов. Транспортирование угломеров должно соответствовать требованиям ГОСТ 13762-86.

### Порядок выполнения работы

Установить режущий инструмент базовой поверхностью на плиту, выверенную в горизонтальной плоскости с помощью уровня, или зажать в центрах. Затем ребро контрольной линейки угломера приложить к поверхности, определяющей измеряемый угол (рис. 8), и нажать кнопку тормоза. После прекращения колебаний стрелки необходимо отпустить кнопку и снять показания по шкале угломера.

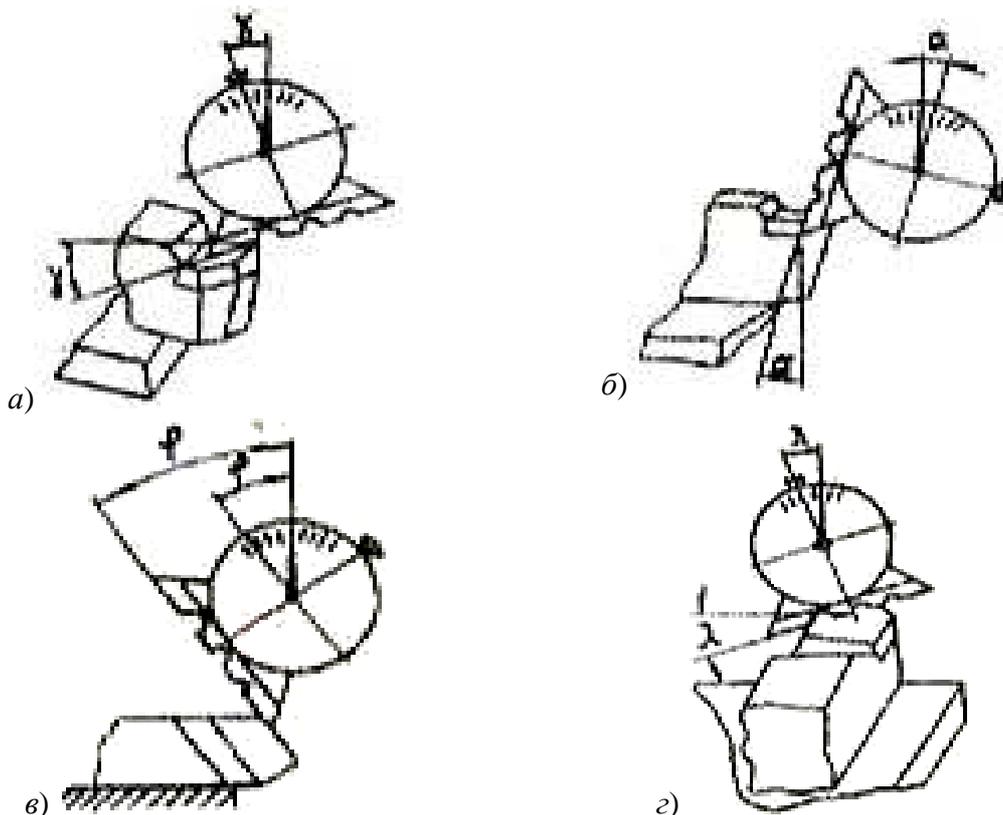


Рис. 8. Приемы измерения углов у резца:  
а – передний угол  $\gamma$ ; б – задний угол  $\alpha$ ;  
в – угол в плане  $\varphi$ ; з – угол наклона передней кромки  $\lambda$

## 2.2. Инструментальный угломер 2УРИ

Угломер 2УРИ (рис. 9) имеет сектор 1 со шкалой передних и задних углов, который может перемещаться по дуге 2 со шкалой чисел зубьев и закрепляться в требуемом положении прижимом 3.

Под прижимом расположена пружинная шайба, при помощи которой регулируется сила прижима сектора к дуге. На шкале углов нанесены штрихи для отсчета передних углов в пределах  $0...25^\circ$  и задних – в пределах  $0...35^\circ$ . На шкале чисел зубьев, кроме оцифрованных штрихов, имеют-

ся три не оцифрованных, соответствующих 14, 18 и 24 зубьям, и штрих со знаком  $\infty$ , используемый при контроле цилиндрических фрез с числом зубьев более 60, протяжек, торцевых зубьев фрез и т.п. К правому торцу дуги с помощью хомутика 7 и винта 8 крепится сменная линейка 4.

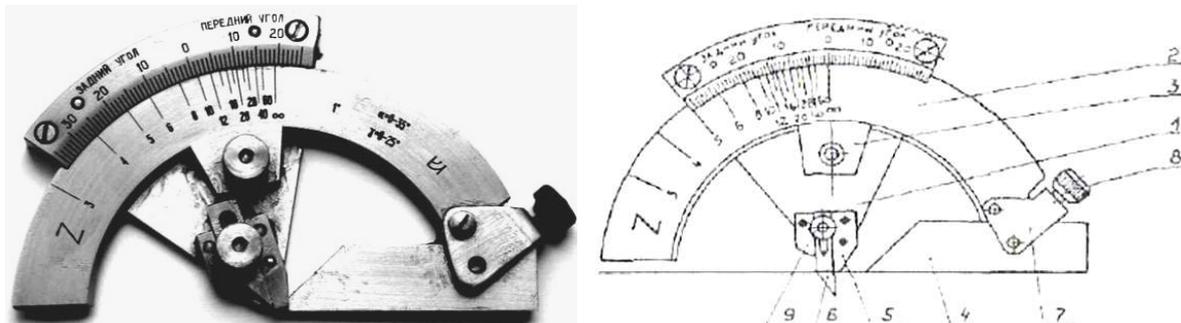


Рис. 9. Общий вид и устройство угломера 2УРИ:

- 1 – сектор со шкалой передних и задних углов; 2 – дуга со шкалой чисел зубьев;  
3 – прижим; 4 – линейка; 5 – планка; 6 – нож; 7 – хомутик; 8, 9 – стопорный винт

Линейка с узкой измерительной поверхностью предназначена для измерения фрез и плоских протяжек, а линейка с широкой измерительной поверхностью – для измерения круглых протяжек. По пазу планки 5, закрепленной на секторе, перемещается нож 6, устанавливаемый на определенную высоту в зависимости от высоты зубьев измеряемого инструмента и закрепляемый винтом 9.

Угломер типа 2УРИ предназначен для измерения переднего и заднего углов многолезвийного режущего инструмента, с прямолинейными и спиральными зубьями, с разномерным шагом от 5 до 75 мм и с прямолинейным участком по передней и задней граням не менее 1 мм. Применяется в металлообрабатывающей промышленности. Обозначение прибора при заказе: «Прибор 2УРИ ТУ2-034-617-84».

#### Технические характеристики

1. Цена деления .....  $1^\circ$ ;
2. Диапазон измерений углов:
  - передних .....  $0 \dots 25^\circ$ ;
  - задних .....  $0 \dots 35^\circ$
3. Предел основной погрешности прибора как при незатянута, так и при затянутом стопоре .....  $\pm 20'$
4. Габаритные размеры, мм, не более .....  $132 \times 68 \times 13$
5. Масса, кг, не более ..... 0,17
6. Средний срок службы прибора ..... не менее 3 лет

### *Условия эксплуатации*

Температура рабочего пространства в процессе измерений должна быть  $(20 \pm 15) \text{ }^\circ\text{C}$ .

Относительная влажность окружающего воздуха не более 80% при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Содержание агрессивных газов в окружающей среде не допускается. Перед началом работы прибор должен быть выдержан на рабочем месте не менее 3 часов.

### *Подготовка угломера к работе*

Ознакомиться перед началом работы с паспортом на прибор. Проверить прибор на комплектность. Удалить с прибора смазку чистой тканью, смоченной в бензине, протереть его сухой тканью.

Отрегулировать силу прижима сектора к дуге таким образом, чтобы сектор легко и плавно перемещался по дуге при помощи большой пальца руки, положенного на его рифленую часть.

Установить линейку в соответствии с шагом зубьев измеряемого инструмента, а нож – в соответствии с высотой зубьев.

### *Правила хранения угломера*

Протереть прибор слегка смоченной в бензине ветошью, а затем сухой тканью и смазать противокоррозионной смазкой. Хранить прибор в футляре в сухом отапливаемом помещении при температуре воздуха от  $+9$  до  $+40 \text{ }^\circ\text{C}$  и относительной влажности не более 80% при  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Воздух в помещении не должен содержать примесей агрессивных газов.

### *Порядок работы с угломером 2УРИ*

Наложить прибор на два смежных зуба инструмента так, чтобы измеряемый зуб упирался своим лезвием в вершину прямого угла, образованного измерительными поверхностями ножа и планки, а линейка опиралась на смежный зуб.

Расположить торцевую поверхность прибора:

- а) перпендикулярно оси инструмента – при измерении передних и задних углов у зубьев цилиндрических, торцевых, концевых, пазовых фрез;
- б) параллельно оси инструмента – при измерении передних и задних углов круглых (фасонных) протяжек.

При этом рекомендуется пользоваться линейкой с широкой измерительной поверхностью. При измерении плоских протяжек с косым зубом торцевая поверхность прибора должна быть перпендикулярна режущей кромке при измерении передних углов (рис. 10) и параллельна оси инструмента при измерении задних углов (рис. 11).

Повернуть сектор до совмещения измерительной поверхности ножа с передней поверхностью зуба при измерении переднего угла или до совмещения измерительной поверхности планки с задней поверхностью зуба при измерении заднего угла.

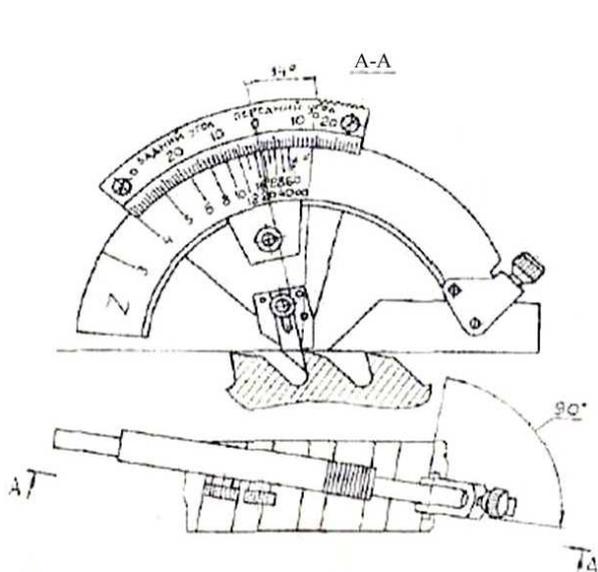


Рис. 10. Измерение переднего угла плоской протяжки

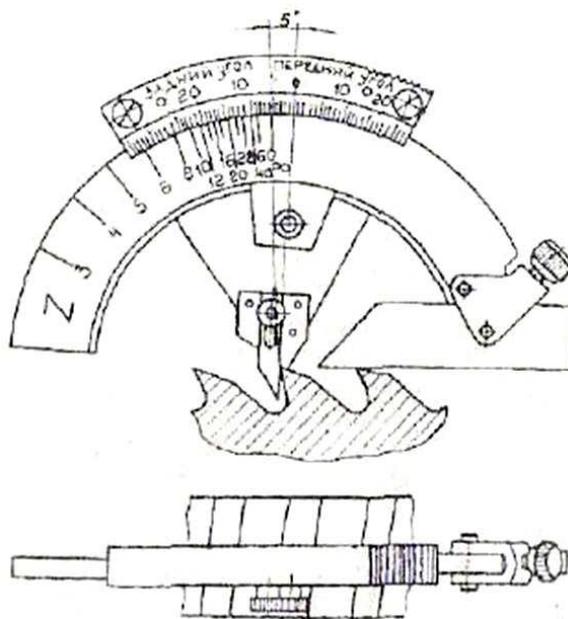


Рис. 11. Измерение заднего угла плоской протяжки

Произвести отсчет величины заднего или переднего углов по шкале углов в соответствующей ее части против штриха на дуге, соответствующего данному числу зубьев инструмента, или штриха со знаком  $\infty$  (рис. 12 и 13).

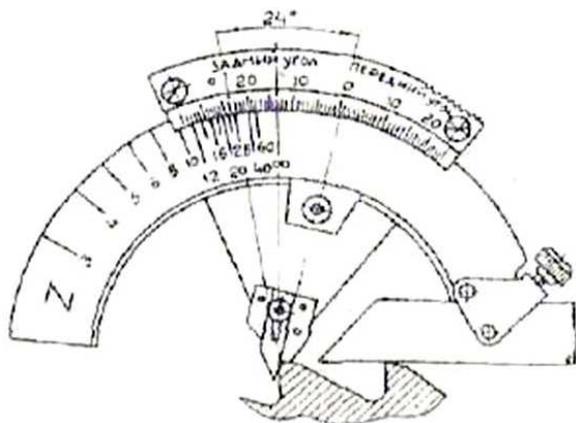


Рис. 12. Измерение заднего угла фрезы с  $z = 28$

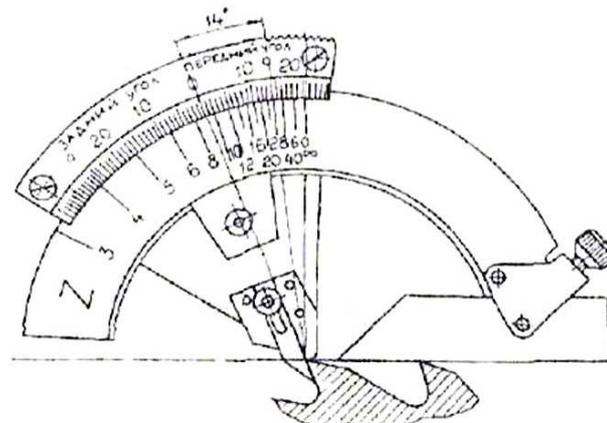


Рис. 13. Измерение переднего угла фрезы с  $z = 28$

Отсчет величины углов при измерении фрез с числом зубьев, не указанным на шкале чисел зубьев, производится по штрихам шкалы углов, находящимся между ближайшими меньшим и большим числами зубьев шкалы чисел зубьев. Отсчет отрицательных передних углов производить по шкале задних углов, а отрицательных задних углов – по шкале передних.

При небольшом шаге и четном числе зубьев инструмента линейку устанавливать не на соседний, а на второй зуб от измеряемого. Отсчет величины углов производить по штриху, соответствующему уменьшенному в два раза числу зубьев инструмента. Для того чтобы облегчить наблюдение за точностью совмещения измерительных поверхностей ножа и планки с поверхностями измеряемого зуба, располагайте место наблюдения на уровне глаз.

Накладывайте прибор измерительными поверхностями на зубья инструмента без удара. При измерении большого количества инструмента с одинаковым шагом зубьев периодически изменяйте положение линейки во избежание ее выработки.

## Лабораторная работа № 2 ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ШТАНГЕНЦИРКУЛЕМ И МИКРОМЕТРОМ

### 2.1. Штангенинструменты

В практике механообработки для контроля линейных размеров используются следующие типы штангенинструментов:

- штангенциркули (ГОСТ 166-93);
- штангенглубиномеры (ГОСТ 162-94);
- штангенрейсмасы (ГОСТ 164-94).

Штангенциркуль (рис. 1) с точностью отсчета по нониусу 0,1 мм применяется для более точного определения линейных размеров. Он состоит из штанги 5 с губками 1 и 2, подвижной рамки 7 с губками 8 и 3, линейки глубиномера и нониуса 9. Губки 1 и 8 служат для измерения внутренних размеров. Неподвижные губки 1 и 2 изготовлены заодно со штангой 5, на которую нанесены деления. Подвижные губки 3 и 8 изготовлены заодно с рамкой 7, передвигающейся вдоль штанг. Линейка 6 глубиномера помещена в продольный паз на обратной стороне штанги и прикреплена одним концом к рамке подвижных губок. Фиксирует рамку и, следовательно, подвижные губки 3 и 8 при измерении винт 4.

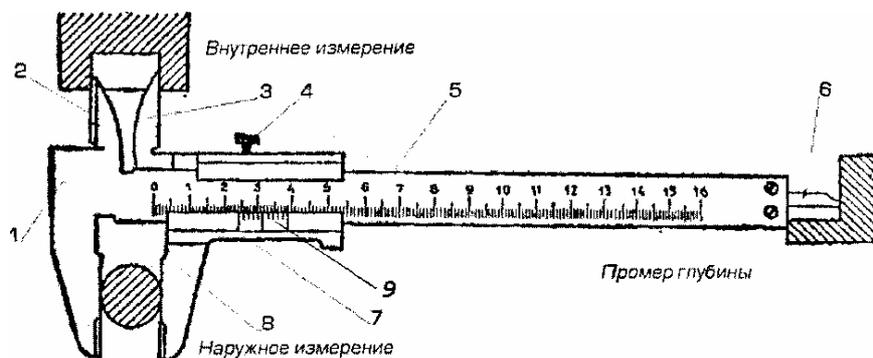


Рис. 1. Общий вид штангенциркуля

Отсчетное устройство любого штангенинструмента состоит из основной шкалы, нанесенной через 1 мм на штанге инструмента, и шкалы нониуса. Для отсчета долей миллиметра служит нониус 9 штангенциркуля (рис. 2).

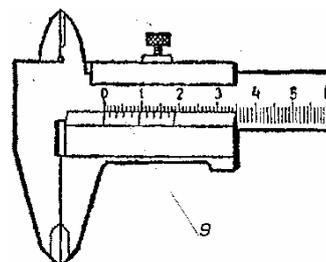


Рис. 2. Устройство нониуса штангенциркуля

Основные типы штангенинструмента приведены в таблице 1.

## 2.2. Микрометрические инструменты

Работа микрометрических инструментов основана на использовании принципа винтовой пары. В одних микрометрах винт 3 вращается по внутренней резьбе с помощью отсчетного барабана 6, в других случаях микрометрический винт неподвижен, а отсчетный барабан вращается вместе с гайкой.

Поскольку на показаниях микрометра сказывается усилие зажима измеряемой детали между пяткой 2 и винтом 3, при измерениях вращать винт следует за трещотку 7, которая автоматически ограничивает прикладываемый момент. Шаг микровинта равен 0,5 мм, поэтому за один оборот барабана 6 измерительный наконечник перемещается тоже на 0,5 мм. На барабане имеется 50 делений, следовательно, цена одного деления будет равна 0,01 мм.

Основные типы микрометрического инструмента приведены в таблице 2.

## 2.3. Отсчетные устройства

В измерительных приборах применяется большое число разнообразных отсчетных устройств. Часто последующие модели одних и тех же приборов отличаются от предыдущих в основном лишь типом отсчетного устройства.

Многие разнородные измерительные приборы снабжены одинаковыми отсчетными устройствами. Аналогичные отсчетные устройства применяются не только в универсальных, но также и в специализированных измерительных приборах.

В конструкциях измерительных средств применяются следующие виды отсчетных устройств:

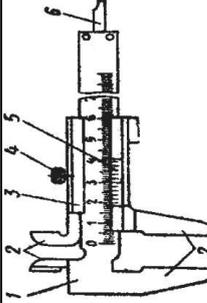
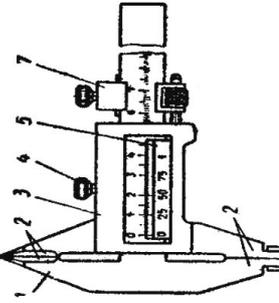
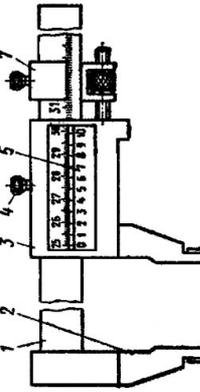
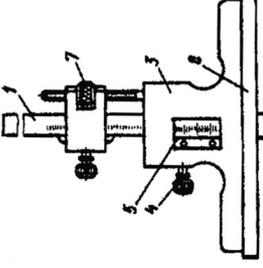
- визуальные;
- экранные;
- цифровые;
- автоматические.

Универсальные средства для измерения линейных размеров, как правило, оснащаются визуальными отсчетными средствами.

Визуальные отсчетные устройства основаны на сравнительно малом числе удобных для глаза способов совмещения штрихов.

Таблица 1

## Штангенинструменты

Эскиз 1	Описание 2	Точность измерения, мм 3	Пределы измерения, мм 4
	Штангенциркуль ШЦ-I с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и с линейкой для измерения глубин	0,1	0...125
	Штангенциркуль ШЦ-II с двусторонним расположением губок для наружных и внутренних измерений и для разметки	0,05 и 0,1	0...200 0...320
	Штангенциркуль ШЦ-III с односторонними губками для наружных и внутренних измерений	0,05 и 0,1	0...500 250...710 320...1000 500...1400 800...2000
	Штангенглубиномер с нониусом для измерений глубины отверстий, пазов, расстояний между плоскостями, буртиков и т.п.	0,02 0,05 0,1 0,05 0,1	До 200 включительно 250 и 300 400 и 500

Окончание табл. 1

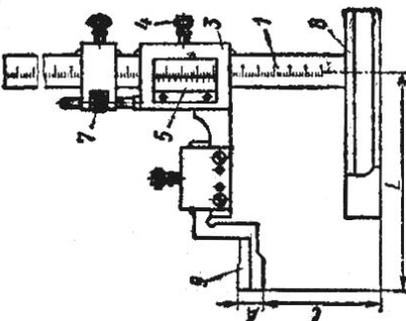
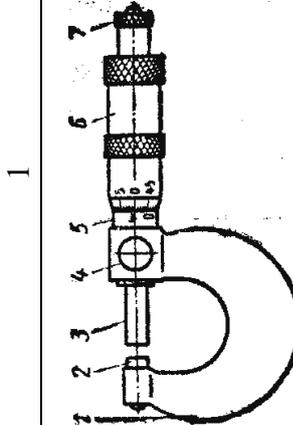
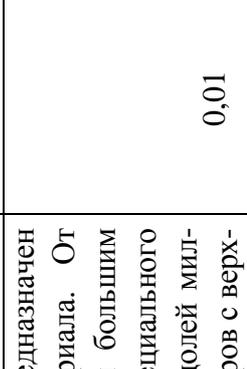
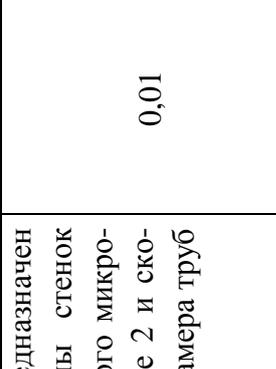
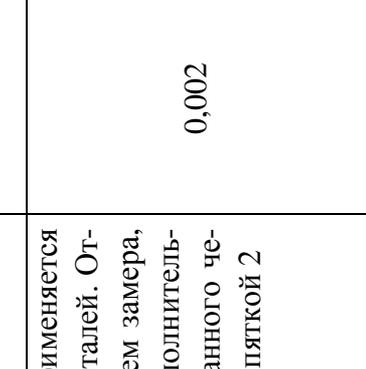
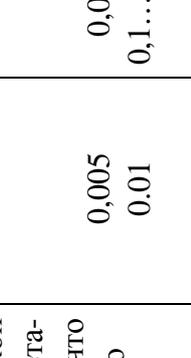
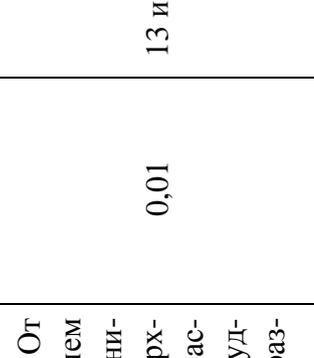
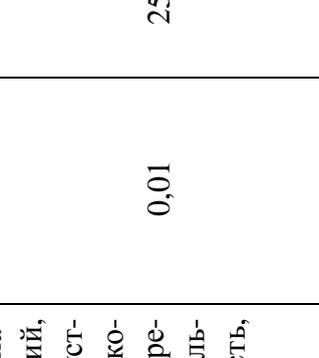
1	2	3	4
	Штангенрейсмас для разметки и измерения высоты различных поверхностей от установочной плоскости и между собой	0,02 0,05 0,1  0,1	30...800 40...500  60...800 60...1000

Таблица 2

Основные типы микрометров

Эскиз	Описание	Точность измерения, мм	Пределы измерений, мм	
			шкалы	прибора
	2  Микрометр гладкий МК применяется для точных наружных измерений	3  0,01	4  25 100	5  0...300 300...600

1	2	3	4	5
	<p>Микрометр листовый МЛ предназначен для измерений листового материала. От обычного микрометра отличается большим вылетом скобы 1 и наличием специального циферблата 8 для отсчета сотых долей миллиметра. Вылет скобы у микрометров с верхним пределом измерений 5 мм составляет 20 мм, далее соответственно 10 мм – 40 мм, 25 мм – 80 мм</p>	<p>0,01</p>	<p>5 10 25</p>	<p>0...5 0...10 0...25</p>
	<p>Микрометр трубный МТ предназначен для точных измерений толщины стенок труб, цилиндров и т.п. От обычного микрометра отличается сферой на пятке 2 и скопом на скобе 1 для возможности замера труб с малым внутренним диаметром</p>	<p>0,01</p>	<p>25</p>	<p>0...100</p>
	<p>Микрометр рычажный МР применяется обычно для массовой проверки деталей. Отличается незначительным временем замера, что обеспечивается наличием дополнительного отсчетного устройства, связанного через систему рычагов с подвижной пяткой 2</p>	<p>0,002</p>	<p>±0,02</p>	<p>0...25 25...50</p>

1	2	3	4	5
	<p>Микрометр с измерительной головкой МРИ рассчитан на крупногабаритные детали. Отличается от микрометра МР тем, что измерительная головка вынесена отдельно</p>	<p>0,005 0,01</p>	<p>0,05 0,1...0,5</p>	<p>50...500 300...2000</p>
	<p>Микрометрический нутромер предназначен для измерения внутренних размеров. От обычного микрометра отличается наличием двух мерительных шаровых наконечников 11, раздвигающихся до упора в поверхности, между которыми измеряется расстояние. Нутромеры снабжены набором удлинителей 13 для измерения больших размеров</p>	<p>0,01</p>	<p>13 и 25</p>	<p>50...10000</p>
	<p>Микрометрический глубиномер предназначен для измерений глубины отверстий, уступов, выточек и т.п. Напоминает по устройству микрометр, у которого вместо скобы установлено основание 14. При измерении трещоткой 7 перемещают измерительный стержень 3 до упора в поверхность, расстояние до которой измеряется</p>	<p>0,01</p>	<p>25</p>	<p>0...100</p>

В таблице 1 приняты следующие обозначения: 1 – штанга; 2 – измерительные губки; 3 – рамка; 4 – зажим рамки; 5 – нониус; 6 – линейка глубиномера; 7 – микрометрическая подача; 8 – основание; 9 – измерительная ножка.

В таблице 2 использованы следующие обозначения: 1 – скоба; 2 – пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стопор; 5 – стебель; 6 – барабан; 7 – трещотка; 8 – циферблат; 9 – стрелка; 10 – шкала отсчетного устройства; 11 – мерительный наконечник; 12 – указатель пределов поля допуска; 13 – удлинитель; 14 – основание.

Конструктивно визуальные отсчетные устройства реализованы в виде следующих типовых конструкций:

1. *Шкала и указатель.* Основные типы отсчетных устройств, состоящих из шкалы и указателя, показаны на рисунке 3.

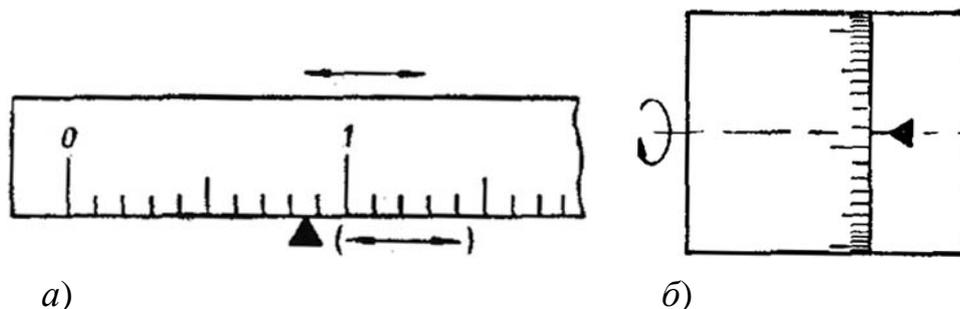


Рис. 3. Основные типы отсчетных устройств, имеющих шкалу и указатель:

*а* – измерения больших длин с малой точностью;

*б* – измерения микрометрическим инструментом

2. *Шкала и нониус.* Отсчетное устройство, работающее по способу номинального совмещения штрихов, состоит из основной шкалы 1 и шкалы нониуса 2 (рис. 4).

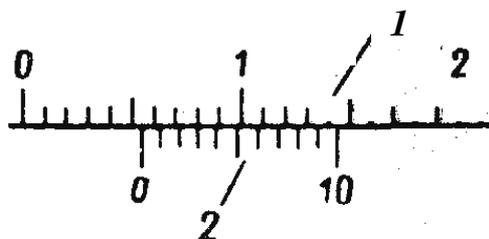


Рис. 4. Шкала с нониусом:

1 – основная шкала; 2 – шкала нониуса

Шкала нониуса, нанесенная на подвижную рамку штангенциркуля, имеет длину 9 мм и разделена на 10 равных частей. На рисунке 4 изображена шкала нониуса длиной 9 мм. Таким образом, каждое деление нониуса равно 0,9 мм, т.е. оно на 0,1 мм меньше двухмиллиметровых делений штанги. При сомкнутых измерительных губках начальное и последнее деления нониуса совпадают соответственно с начальным и конечным делениями штанги; остальные деления нониуса не совпадают с делениями на штанге.

Отсчет по штангенциркулю с нониусом производится следующим образом: число целых миллиметров отсчитывают по штанге. Затем определяют, какое деление нониуса совпадает с любым делением на штанге. Совпавшее деление нониуса укажет число десятых долей миллиметра.

3. *Винтовой нониус.* Отсчетные устройства микрометрических инструментов имеют несколько шкал с указателями (рис. 5).

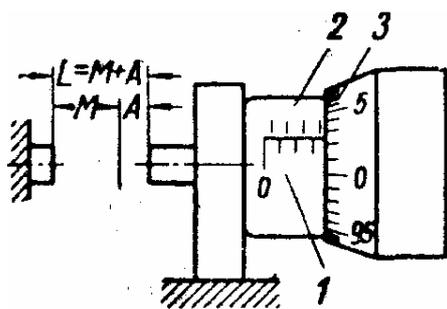


Рис. 5. Винтовой нониус:  
1 – шкала миллиметровая;  
2 – шкала 0,5 мм; 3 – шкала  
винтового нониуса

Для всех представленных отсчетных устройств характерными являются три операции:

- отсчет показания;
- установка на нуль;
- установка на размер.

Отсчет показания ведут двумя способами:

- 1) без каких-либо дополнительных действий;
- 2) после совмещения отдельных частей отсчетного устройства, например

штриха с биссектором, биссектора со штрихом или биссектора с биссектором.

Установку на нуль во всех случаях ведут путем совмещения всех нулевых делений на шкалах отсчетного устройства.

Установку на размер выполняют как бы в обратном порядке операции отсчета. Здесь в соответствии с решением уравнения отсчета производится набор положений штрихов на шкалах отсчетного устройства с тем, чтобы получить нужный отсчет.

## 2.4. Техника выполнения измерений

### Измерение штангенинструментом

Перед началом выполнения измерений необходимо выбрать штангенциркуль, соответствующий данному измеряемому размеру по виду, габариту и степени точности. Несмотря на значительное многообразие исполнений штангенинструментов (см. табл. 1), техника выполнения измерений для всех одинакова или очень близка:

- убедиться, что не зафиксирована измерительная рамка и рамка микрометрической подачи, для чего отвернуть винт 4;
- плавным движением подвижной измерительной губки 2, не прикладывая особых усилий, переместить ее и замкнуть измерительную цепь для измеряемого размера;
- при необходимости следует пользоваться микрометрической подачей (ШЦ-II, ШЦ-III), для чего винт, фиксирующий положение рамки 3 микрометрической подачи 7, следует закрепить, а микроподачу осуществлять вращением ходового винта;
- считывать измерительную информацию: размер в миллиметрах по основной шкале, выполненной на штанге 1; размер в долях миллиметра – по нониусу 5;
- после выполнения измерения плавно отвести подвижные губки 2 на 10...15 мм.

Перед помещением штангенциркуля на хранение следует:

- 1) свести измерительные губки, оставив зазор 0,5...1 мм;
- 2) зафиксировать положение рамки 3 винтом 4;
- 3) поместить штангенциркуль в футляр.

#### *Штангенциркуль ШЦ-I*

Предназначен для выполнения с точностью 0,1 мм следующих измерений:

- внутренних поверхностей – используются малые измерительные губки;
- наружных поверхностей – используются основные измерительные губки;
- глубины расположения поверхностей – используется линейка глубиномера.

### *Штангенциркуль ШЦ-II*

Предназначен для выполнения с точностью до 0,05 мм и 0,1 мм следующих измерений:

- внутренних поверхностей – используются наружные гладкие поверхности измерительных губок. Номинал минимального измеряемого размера указан на губках (10 мм, 20 мм и т.д.);
- наружных поверхностей – используются внутренние гладкие поверхности измерительных губок по аналогии с ШЦ-I. Для выполнения точных измерений используется микрометрическая подача.

Помимо измерений, конструкция ШЦ-II позволяет производить разметку поверхностей. С этой целью используются острозаточенные губки в следующем порядке:

- 1) выставить с помощью подвижных измерительных губок требуемый разметочный размер;
- 2) зафиксировать положение подвижной губки стопорным винтом;
- 3) произвести разметку методом царапания поверхности путем перемещения неподвижной губки штангенциркуля по координируемым чертёжом детали измерительным базам.

### *Штангенциркуль ШЦ-III*

Представляет собой конструкцию, аналогичную ШЦ-II, но без острозаточенных губок для выполнения разметки.

Техника выполнения измерений аналогична ШЦ-II. Во всех случаях считывание измеряемого размера производится с использованием основной измерительной шкалы и нониуса.

Техника выполнения измерений штангенглубиномером и штангенрейсмасом ничем не отличается от техники выполнения измерений с использованием вышеописанных штангенциркулей.

## **Измерение микрометрами**

### *Нулевая установка*

Перед применением измерительные плоскости микрометра следует протереть, проверить плавность хода микровинта и нулевую установку. Если нулевая установка сбита, привести вновь измерительные поверхности в соприкосновение друг с другом или с установочной мерой под усилием

трещотки и закрепить микровинт стопором. Затем следует выставит нулевое показание микрометра в следующем порядке:

- отвернуть ключом винт стопорения барабана настолько, чтобы, вращая барабан, можно было совместить нулевой штрих барабана с продольным штрихом стебля;
- закрепить ключом винт стопорения барабана;
- убедиться в правильности нулевой установки.

### *Микрометры типа МК*

Наиболее массовыми в использовании являются микрометры МК, которые выпускаются нескольких исполнений в зависимости от номинала измеряемого размера: 0...25 мм; 25...50 мм; 50...75 мм; 75...100 мм. Все представленные микрометры имеют одинаковые микрометрические винтовые пары. Отличие состоит в размерах измерительной скобы. Для настройки микрометров (кроме 0...25 мм) в комплект входит удлинитель соответствующего размера:

- для микрометра 25...50 мм длина удлинителя составляет 25 мм;
- для микрометра 50...75 мм длина удлинителя – 50 мм;
- для микрометра 75...100 мм длина удлинителя – 75 мм.

Удлинитель необходим на настройки «нуля» измерения.

Техника выполнения измерений с использованием микрометров основана на контроле линейного размера, образующего размерную цепь между замкнутыми плоскими поверхностями пятки и микрометрического винта. Перемещение микрометрического винта следует производить вращением рукоятки трещотки до получения характерного звука. При этом срабатывает храповой механизм трещотки, что предотвращает поломку микрометрического винта. Ни в коем случае нельзя в процессе измерения перемещать микрометрический винт вращением барабана. Это приведет к поломке микрометра.

Считывание показаний производится по винтовому нониусу, как было описано ранее. При этом на стебле микрометра отсчитывается измеряемый размер в миллиметрах, а по нониусу, выполненному на барабане, определяется значение измеряемого размера в точности до 0,01 мм.

После выполнения операции измерения и считывания результатов, следует:

- 1) вращением барабана против часовой стрелки вывести измерительные поверхности микрометра из контакта с измеряемой поверхностью;

2) максимально свести измерительную пятку и микрометрический винт;

3) упаковать микрометр в футляр.

Аналогичная техника выполнения измерений другими типами микрометров, микрометрическим глубиномером.

#### *Микрометрический нутромер*

От обычного микрометра отличается наличием двух измерительных шаровых наконечников, раздвигающихся до упора в поверхности, между которыми измеряется расстояние. Для обеспечения возможности измерения больших диаметров нутромер комплектуется набором удлинителей.

Техника считывания результатов измерения аналогична технике считывания результатов для микрометров МК.

**Лабораторная работа № 3**  
**ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ**  
**РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦЕВОГО БИЕНИЯ**

**3.1. Суммарные отклонения формы и расположения**

В реальных поверхностях отклонения формы и расположения всегда сочетаются. В работе и при измерениях эти отклонения могут проявляться или раздельно, или совместно. Поэтому установлены отклонения и допуски расположения, предполагающие исключение из рассмотрения отклонений формы путем замены реальных поверхностей прилегающими, и суммарные отклонения и допуски формы и расположения. Стандарт регламентирует следующие отклонения от номинальной формы и расположения поверхностей:

- 1) допуск радиального биения;
- 2) допуск торцевого биения;
- 3) допуск биения в заданном направлении;
- 4) допуск полного радиального биения;
- 5) допуск полного торцевого биения;
- 6) допуск формы заданного профиля;
- 7) допуск формы заданной поверхности.

Обозначения допусков расположения приведены в таблице 1.

Таблица 1

Обозначение допусков расположения на чертеже

Вид	Знак
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	

Кроме известных видов биения, рассматриваемых в отдельных сечениях поверхности (радиального, торцевого и в заданном направлении), введены понятия о полном радиальном и полном торцевом биениях, определяемых по всем точкам поверхности. Полное радиальное биение определяется как наибольшая разность показаний измерительной головки при относительном вращении детали и перемещении ее вдоль базовой оси и мо-

жет применяться для нормирования цилиндрических поверхностей. Оно ограничивает суммарно отклонения от цилиндричности и соосности.

Полное торцевое биение определяется как наибольшая разность показаний измерительной головки при относительном вращении детали вокруг базовой оси и радиальном перемещении. Оно применяется к плоским торцевым элементам и суммарно ограничивает отклонения от плоскостности и перпендикулярности.

### **3.2. Средства контроля от номинального расположения поверхностей**

Отклонения расположения и допуски определяются относительно баз. База – элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента. Базами могут быть, например, базовая плоскость, базовая ось, базовая плоскость симметрии.

Отклонения формы и расположения отдельных баз комплекта могут вызвать неоднозначную оценку геометрических отклонений других поверхностей. Поэтому при назначении комплекта баз важно задать последовательность их выбора, которая должна устанавливаться в порядке убывания числа степеней свободы детали, отнимаемых базами.

Комплект баз – совокупность двух или трех баз, образующих систему координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента. Базы, образующие комплект баз, различают в порядке убывания числа степеней свободы, лишаемых ими.

Основными базами деталей машиностроения являются:

1) поверхности:

- плоские – для корпусных деталей;
- цилиндрические, конические и другие – для тел вращения;

2) материализованные оси (ось вращения вала, втулки и т.п.).

Контроль отклонений от номинального расположения поверхностей производится с использованием механических измерительных приборов часового типа. К ним относятся измерительные головки:

- с рычажными,
- с зубчатыми,

- с рычажно-зубчатыми,
- с рычажно-винтовыми,
- с рычажно-пружинными передачами.

К приборам с зубчатой передачей относятся индикаторы часового типа, в которых необходимое передаточное отношение достигается зубчатой передачей (рис. 1).

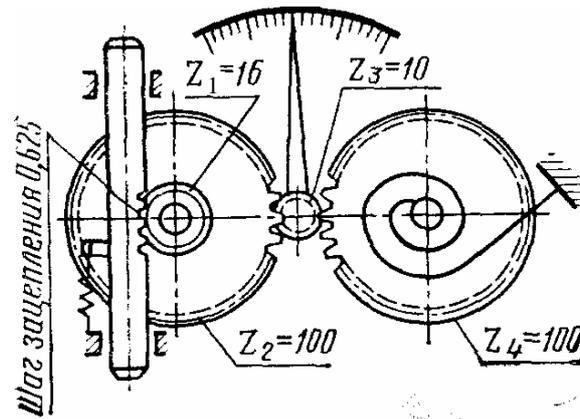


Рис. 1. Схема конструкции индикатора часового типа

**Индикаторами часового типа** оснащают ряд измерительных приборов общего и специального назначения. Интервалы измерений от 0 до 5 мм, от 0 до 10 мм и малогабаритные – от 0 до 2 мм. В схеме индикатора (рис. 2) при перемещении измерительного стержня на 10 мм зубчатое колесо  $Z_1 = 16$  со стрелкой указателя оборотов, находящейся на его оси, совершает один оборот.

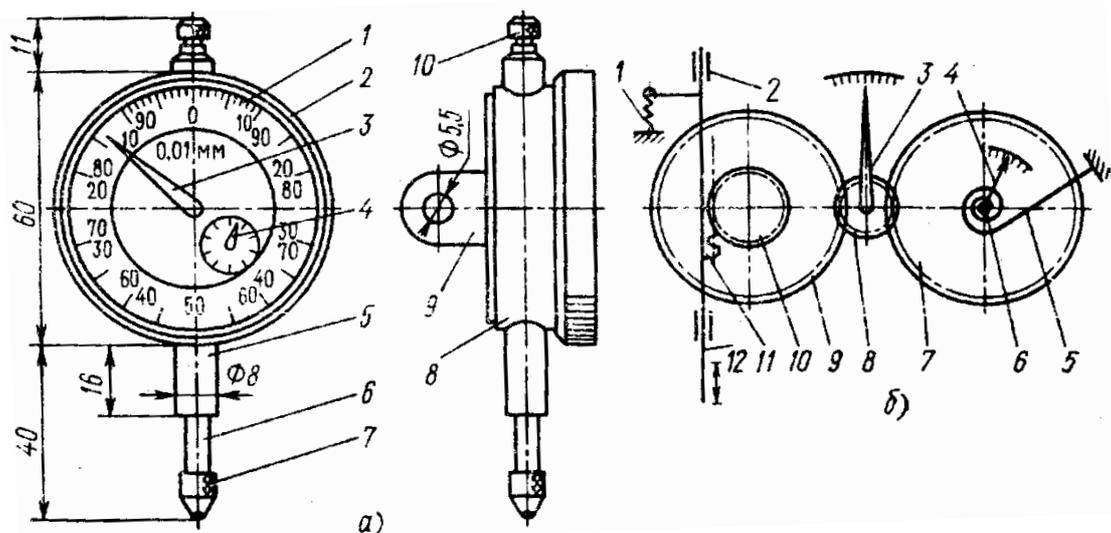


Рис. 2. Индикатор часового типа ИЧ

При интервале измерения от 0 до 10 мм малая шкала разделена на десять частей; при интервале от 0 до 5 мм шкала в половину окружности разделена на пять частей, что обеспечивает малой шкале цену деления 1 мм.

При чтении показаний по малой шкале отсчитывается целое число миллиметров, а по большой шкале – сотые доли миллиметров.

Погрешность измерения индикаторов часового типа – от  $\pm 2$  до  $\pm 10$  мкм.

Приборы с рычажно-зубчатой передачей имеют много разновидностей (рычажно-зубчатый индикатор, рычажный микрометр и скоба, ортотест, микронный индикатор, пассиметр и др.), конструкции которых построены на сочетании рычажных и зубчатых передач.

**Рычажно-зубчатая измерительная головка** применяется вместо индикаторов часового типа при более точных измерениях. Цена деления 0,001 и 0,002 мм с пределами измерения соответственно  $\pm 0,05$  и  $\pm 0,1$  мм.

Приборы с пружинной и рычажно-пружинной передачей построены по принципу использования в передаточных механизмах упругих свойств плоских и витых пружин. Их преимущества – малое трение в звеньях механизма, стабильность работы, малая цена деления шкалы и др.

**Зубчатые измерительные головки** – индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм изготавливаются следующих основных типов:

- ИЧ02, ИЧ05, ИЧ10 и ИЧ25 – перемещение измерительного стержня параллельно шкале, диапазоны измерений соответственно 0...2, 0...5, 0... 10 и 0...25 мм;
- ИТ02 – перемещение стержня перпендикулярно к шкале и диапазон измерений 0...2 мм.

Индикаторы типа ИЧ5 и ИЧ10 выпускаются в корпусе диаметром 60 мм, а индикаторы ИЧ2 и ИТ2 – в корпусе диаметром 42 мм (см. рис. 2).

Устройство и принципиальная схема индикатора типа ИЧ показаны на рисунке 2. Основные узлы индикатора – циферблат 7 со шкалой, ободок 2, стрелка 3, указатель 4 числа оборотов стрелки, гильза 5, измерительный стержень 6 с наконечником 7, корпус 8, ушко 9 и головка 10 стержня. Гильза и ушко служат для крепления индикатора на стойках, штативах и приспособлениях. Поворотом ободка 2, на котором закреплен циферблат, стрелку совмещают с любым делением шкалы. За головку 10 стержень отводят при установке изделия под измерительный наконечник.

К рычажно-зубчатым измерительным головкам относятся индикаторы ИГ и многооборотные индикаторы МИГ, выпускаемые с ценой деления 0,001 и 0,002 мм.

Индикатор ИГ (рис. 3, *а*) состоит из корпуса 1, циферблата 2, стрелки 3, арретира 4, соединительной гильзы 5, измерительного стержня 6, наконечника 7, указателя 9 поля допуска изделия и винта 8 точной установки механизма в нулевое положение. Арретир (рычаг) необходим для подъема измерительного стержня перед установкой изделия.

Механизм головки ИГ (рис. 3, *б*) состоит из двух неравноплечих рычажных пар и одной зубчатой передачи.

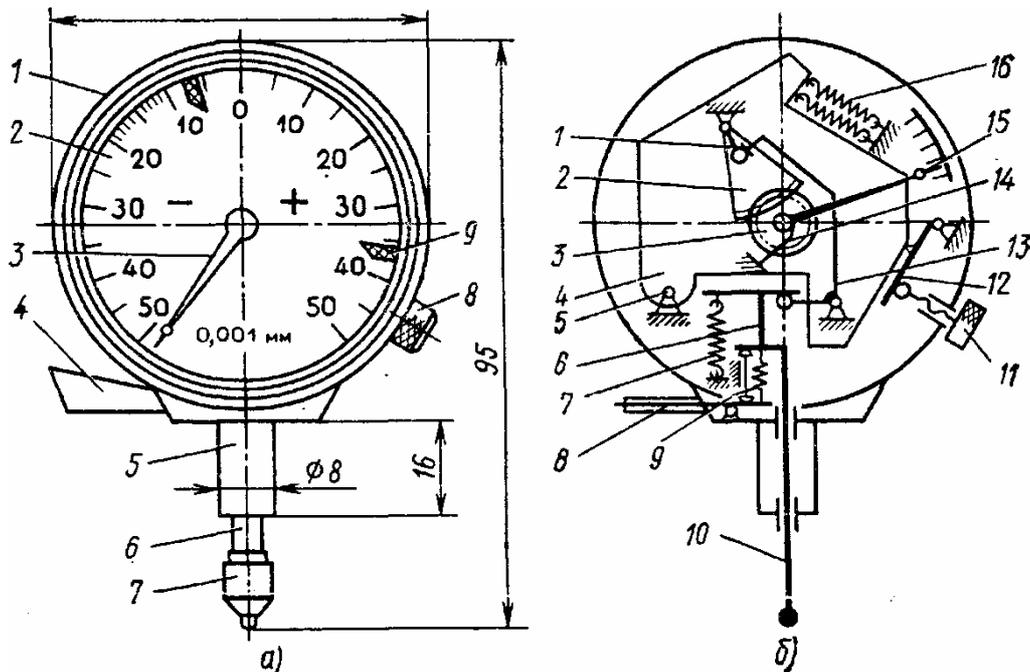


Рис. 3. Измерительная головка ИГ:  
*а* – внешний вид; *б* – схема

Перемещение измерительного стержня 10 через рычаг 6 передается малому плечу рычага 13. Большое плечо рычага 13 передает движение рычагу 1 зубчатого сектора 2. Зубчатый сектор вращает триб 3, на оси которого установлены стрелка 15 и втулка со спиральным волоском 14, устраняющим зазоры в передаче. Измерительное усилие создается двумя пружинами 7, прикрепленными к рычагу 6. Весь механизм индикатора смонтирован на плате 4, которая для установки на нуль поворачивается вокруг оси 5 и пружинами 16 прижимается через рычаг к установочному винту 7. Арретир 5 в свободном состоянии отжимается от рычага 6 пружиной 9.

Измерительные головки устанавливаются на стойках или штативах, которые выполняются нескольких типов:

- стойки С-I и С-II (рис. 4, *а*),
- стойки малогабаритные С-III (рис. 4, *б*),

- стойки С-IV (рис. 4, в),
- штативы Ш-I...Ш-III (рис. 4, г),
- штативы с магнитным основанием ШМ-1...ШМ-1П (рис. 4, д).

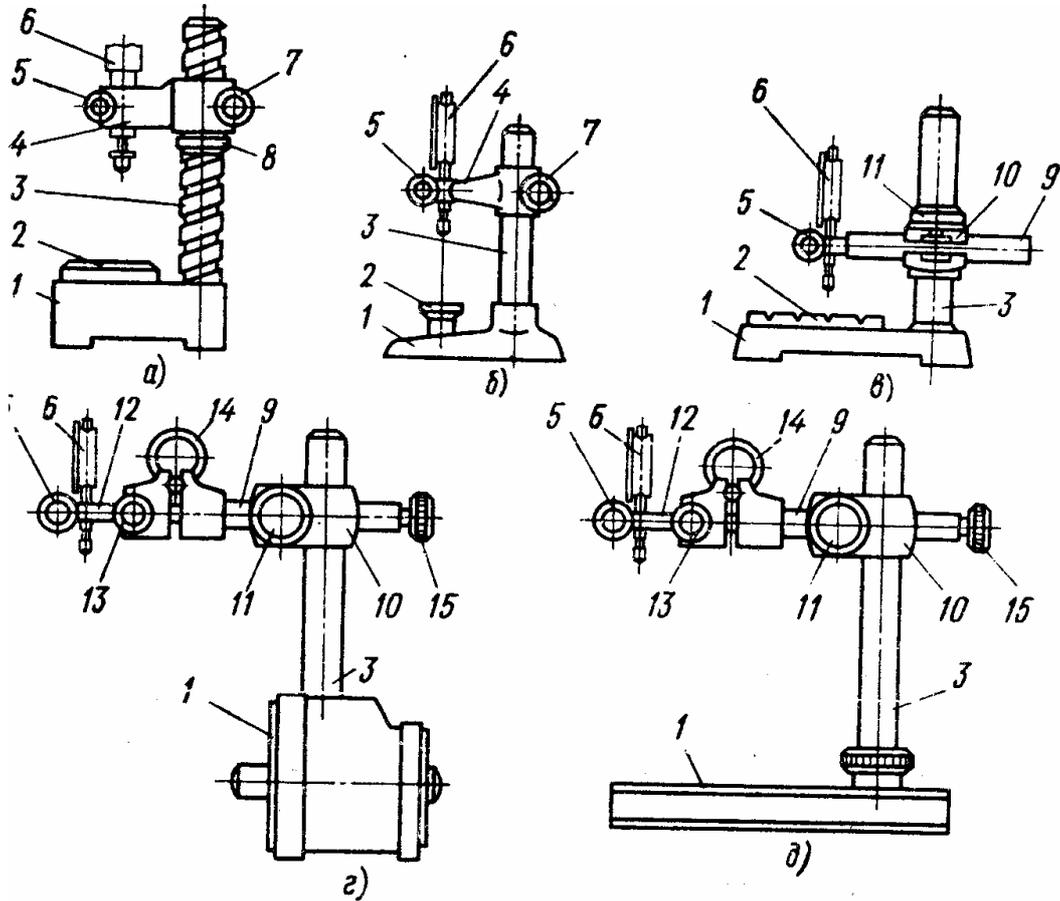


Рис. 4. Стойки и штативы

Тип стойки или штатива определяется ценой деления измерительной головки: С-I – до 0,5 мкм; С-II – от 1 до 5 мкм; Ш-1 и ШМ-1 – от 2 до 5 мкм; С-III, Ш-II и ШМ-II – до 10 мкм; С-IV, Ш-1П и ШМ-III – свыше 10 мкм.

Стойки имеют основание 1 с измерительным столом 2 и колонку 3 с кронштейном 4 или стержнем 9. Измерительную головку 6 зажимают на стойках винтом 5. Кронштейн может перемещаться по колонке гайкой 8 и закрепляться винтом 7. Стержень зажимают в хомуте 10 винтом 11.

Штативы не имеют измерительного стола и применяются при измерениях на поверочных плитах и на станках. Измерительные головки закрепляют в державке 12, которую зажимают винтом 13 на стержне 9, имеющем пружинные пальцы 14 и винт 15 для тонкой установки на размер. Назначение остальных деталей штативов такое же, как у стоек.

Контролируемые детали, в зависимости от конфигурации, могут быть установлены:

- по плоскости – на инструментальной плите;
- по оси вращения – в центрах специального приспособления.

### 3.3. Техника контроля биения

Техника контроля заключается в том, что контролирующий прибор должен быть установлен на поверхности, назначенной в качестве измерительной базы, а исполнительный орган измерительного прибора при его относительном перемещении по контролируемой поверхности полностью копирует ее (рис. 5).

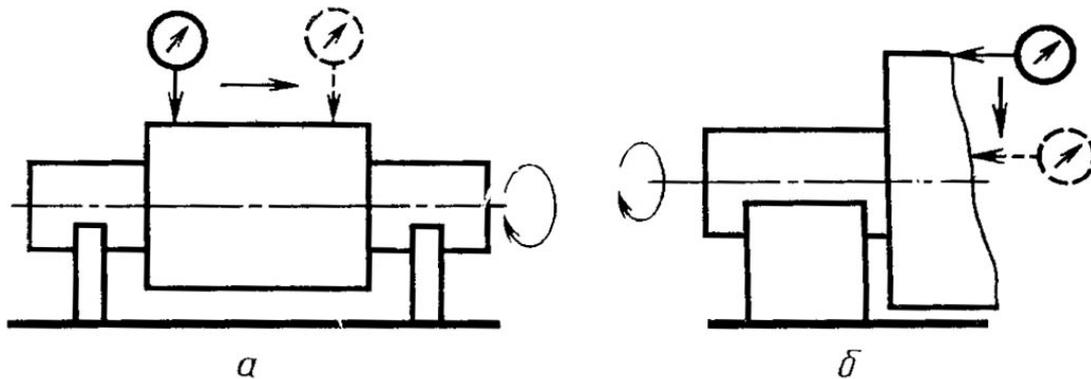


Рис. 5. Схема установки контролирующего прибора и движений детали при контроле:  
а – допуска прямолинейности; б – торцевого биения

Последовательность действий при контроле отклонений от взаимного расположения поверхностей следующая:

- 1) установить измерительную головку присоединительной гильзой на стойке и закрепить;
- 2) установить контролируемую деталь в измерительной приспособлении (в центрах при контроле радиального биения);
- 3) установить стойку на металлоконструкцию измерительного приспособления и закрепить магнитным захватом;
- 4) установить наконечник измерительной головки над измеряемой поверхностью;
- 5) пользуясь арретиром, дать индикатору линейную нагрузку на 1...2 мм и поворотом циферблата установить «ноль» прибора;

б) сделать полный оборот детали, заметив одно из экстремальных положений стрелки индикатора, которой следует принять за «ноль», для чего произвести соответствующую регулировку циферблата;

7) сделать еще один оборот детали, считывая абсолютную величину фактического отклонения  $\Delta$  относительно установленного «нуля»;

8) рассчитать величину радиального биения как

$$\delta = \frac{\Delta}{2}.$$

Демонтаж измерительного устройства производится в обратном порядке.

Пример контроля и формы обозначения допусков отклонения от взаимного расположения поверхностей, в том числе радиального (1, 9) и торцевого (2, 6) биения представлен на рисунке 6.

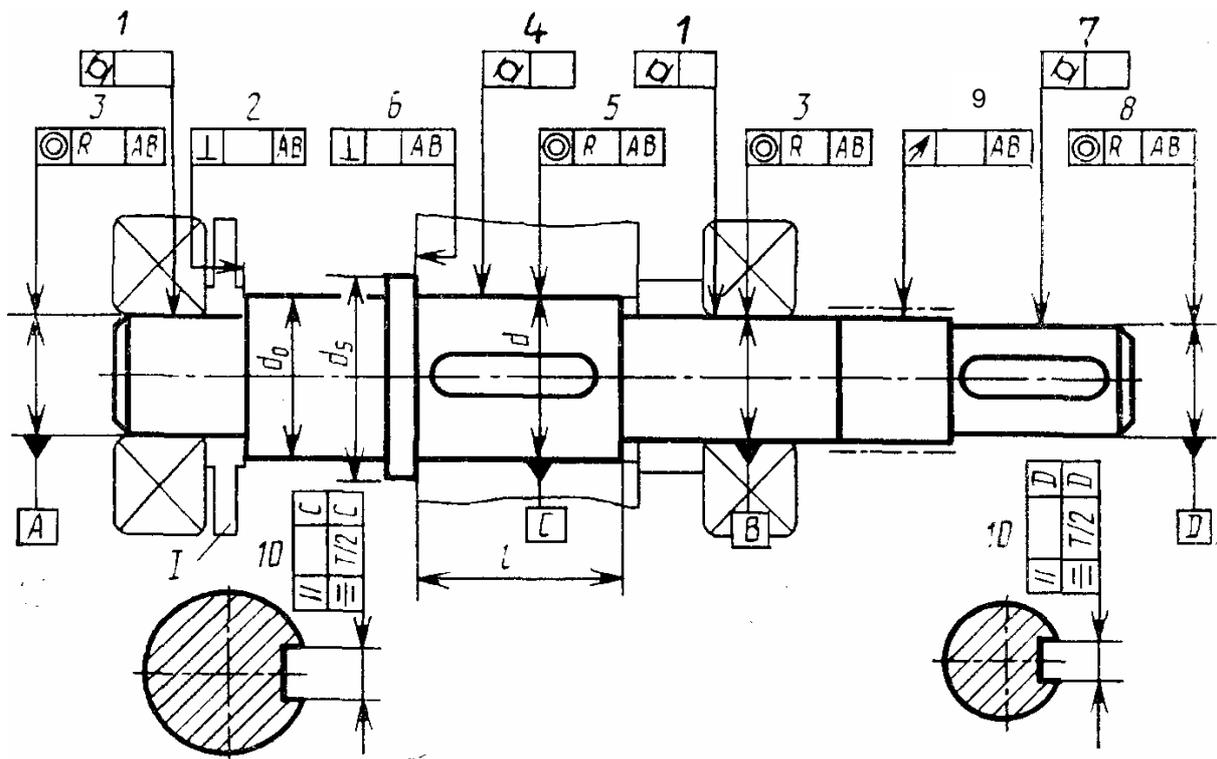


Рис. 6. Обозначение допусков формы и расположения вала

Степень точности допусков формы и расположения поверхностей нормализованы и приведены в приложениях 3 и 4.

**Практическая работа № 1**  
**ДОПУСКИ, ПОСАДКИ И ОТКЛОНЕНИЯ**  
**ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ**

**1. Общие сведения о поверхностях,  
размерах, отклонениях и допусках**

*Поверхности* деталей бывают цилиндрические, плоские, конические, эвольвентные, сложные (шлицевые, винтовые) и др. Внутренние цилиндрические поверхности, а также внутренние поверхности с параллельными плоскостями являются охватывающими. Их условно называют *отверстиями*. Диаметры отверстий обозначают  $D$ . Наружные поверхности являются охватываемыми, их называют *валами* и обозначают  $d$ .

*Номинальный размер* ( $D, d$ ) – размер, относительно которого определяются отклонения.

*Действительный размер* ( $Dr, dr$ ) – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

*Предельные размеры* – два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер. Больший из двух предельных размеров называют *наибольшим предельным размером* ( $D_{max}, d_{max}$ ), а меньший – *наименьшим предельным размером* ( $D_{min}, d_{min}$ ).

*Отклонение* – алгебраическая разность между размером (действительным, предельным) и соответствующим номинальным размером. Отклонения отверстий обозначают  $E$ , валов –  $e$ .

*Действительное отклонение* ( $Er, er$ ) равно алгебраической разности действительного и номинального размеров:

$$Er = Dr - D; er = dr - d.$$

*Предельное отклонение* равно алгебраической разности предельного и номинального размеров. Различают верхнее и нижнее отклонения.

*Верхнее отклонение* ( $ES, es$ ) равно алгебраической разности наибольшего предельного и номинального размеров ( $ES$  – верхнее отклонение отверстия;  $es$  – верхнее отклонение вала):

$$ES = D_{max} - D; es = d_{max} - d.$$

*Нижнее отклонение* ( $EI, ei$ ) равно алгебраической разности наименьшего предельного и номинального размеров ( $EI$  – нижнее отклонение отверстия;  $ei$  – нижнее отклонение вала):

$$EI = D_{min} - D; ei = d_{min} - d.$$

*Основное отклонение* – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии (рис. 1.)

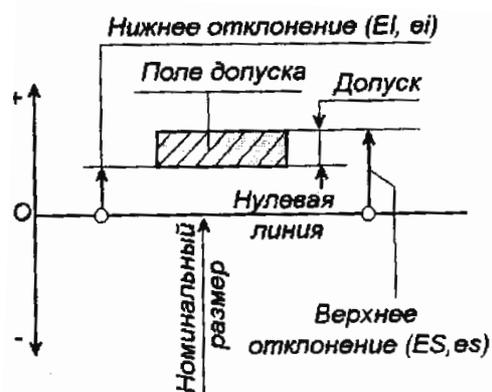


Рис. 1. Характер расположения отклонений относительно нулевой линии

*Нулевая линия* – линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок.

Если отклонения имеют разные абсолютные значения, то их помещают одно над другим (верхнее над нижним) и пишут меньшими цифрами, чем те, которые приняты для номинальных размеров. Так, диаметр штифта  $D = 20$  мм с отклонениями, вычисленными на конкретном примере, на чертеже пишут:

$$\text{Ø}20^{+0,01}_{-0,01}$$

Если отклонения имеют одинаковые абсолютные значения, но разные знаки, то указывают только одно отклонение со знаками  $\pm$ , например  $\text{Ø}10 \pm 0,011$ . Отклонения, равные нулю, можно не указывать.

*Допуск* ( $T$  – общее обозначение,  $TD$  – отверстия,  $Td$  – вала) равен разности наибольшего и наименьшего предельных размеров:

$$TD = D_{max} - D_{min}, \quad Td = d_{max} - d_{min}$$

или абсолютной величине разности верхнего и нижнего отклонений:

$$TD = ES - EI; \quad Td = es - ei.$$

где  $i$  – единица допуска для номинальных размеров до 500 мм.

*Стандартный допуск IT* – любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок. Допуск измеряется в миллиметрах. Он всегда является положительной величиной независимо от способа вычисления.

*Квалитет* (степень точности) – совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие данному уровню точности для всех номинальных размеров.

Типовые примеры графического изображения допусков, отклонений, номинальных и предельных размеров и других параметров точности отверстий и вала показаны на рисунке 2. Здесь схемы построены на основе изложенного принципа. Масштаб при построении таких схем выдержать нельзя, так как допуски на обработку деталей в сотни и тысячи раз меньше номинальных размеров. Поэтому горизонтальные линии, определяющие предельные размеры  $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $d_{min}$ , проводят на произвольных расстояниях от нижней линии, являющейся нижней образующей совмещенных контуров отверстий или валов. Кроме того, проводят горизонтальную линию 00, называемую нулевой. *Нулевая линия* – линия, положение которой соответствует номинальному размеру. От нее откладывают отклонения при графическом изображении допусков и посадок; положительные – в одну сторону (например, вверх), а отрицательные – в другую (вниз).

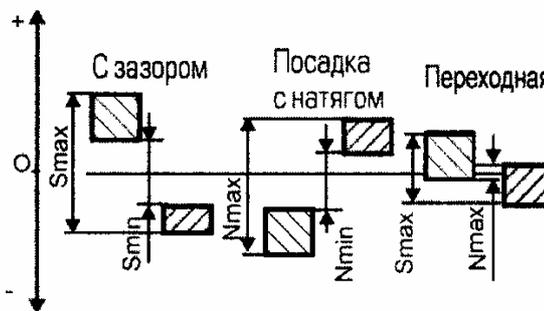


Рис. 2. Характер расположения допусков в переходной посадке

На схемах указывают номинальный ( $D$ ,  $d$ ) и предельные ( $D_{max}$ ,  $D_{min}$ ,  $d_{max}$ ,  $d_{min}$ ) размеры, предельные отклонения ( $ES$ ,  $El$ ,  $es$ ,  $ei$ ), поля допусков и другие параметры.

*Поле допуска* – поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера.

Положение поля допуска относительно номинального размера или нулевой линии определяется одним из двух отклонений – верхним или нижним, которое называют *основным*. Предельные отклонения откладывают от нулевой линии, а их численные значения вполне определяют величину и положение поля допуска относительно этой же линии (рис. 3).

На таких схемах не указывают номинальные и предельные размеры. Положение нулевых линий всегда соответствует концу вектора номинального размера, который условно направляют снизу вверх, можно вычерчивать в масштабе, они наглядны, просты и компактны.

Такие схемы можно вычерчивать в масштабе, они наглядны, просты и компактны.

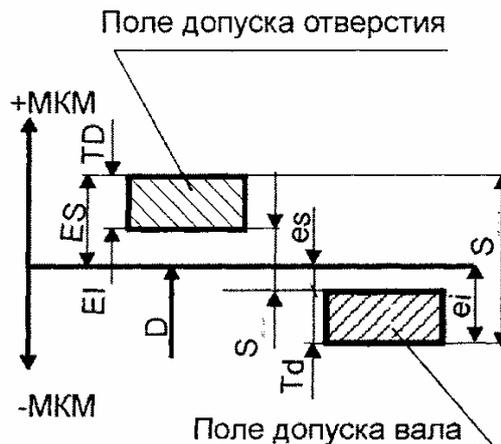


Рис. 3. Графическое изображение посадки вала в отверстие

*Квалитеты* обозначаются порядковыми номерами, например, 01, 7, 14. Допуски по квалитетам обозначаются сочетанием прописных букв *IT* с порядковым номером квалитета, например, *IT01*, *IT7*, *IT14*.

Основные отклонения обозначаются буквами латинского алфавита: прописными для отверстий (*A...ZC*) и строчными для валов (*a...zc*).

Поле допуска обозначается сочетанием буквы (букв) основного отклонения и порядкового номера квалитета. Например: *g6*, *js7*, *H7*, *H11*.

Обозначение поля допуска указывается после номинального размера элемента. Например: *40g6*, *40H7*, *40H11*.

В обоснованных случаях допускается обозначать поле допуска с основным отклонением *H* символом *+IT*, с основным отклонением *h* — символом *(-IT)*, с отклонениями *is* или *IS* — символом *+IT/2*. Например: *+IT14*, *(-IT14)*, *±IT14/2*.

## 2. Общие сведения о посадках

Механизмы всех машин и приборов состоят из взаимно соединяемых деталей и сборочных единиц. В одних случаях необходимо получить подвижное соединение с зазором, в других — неподвижное соединение с натягом.

*Зазором S* называется разность размеров между диаметрами отверстия и вала, создающая свободу их относительного перемещения, т.е.

$$S = D - d.$$

*Натягом N* называется разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия. При подобном соотношении диаметров *d* и *D* натяг можно считать отрицательным зазором, т.е.

$$N = -S = -(D - d) = d - D.$$

Посадкой называют характер соединения деталей, определяемый величиной получающихся в нем зазоров или натягов. В зависимости от расположения полей допусков отверстия и вала посадки подразделяют на три группы:

- посадки с зазором (рис. 4) обеспечивают зазор в соединении (поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала);
- посадки с натягом (рис. 5) обеспечивают натяг в соединении (поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала);
- переходные посадки (см. рис. 2) дают возможность получать в соединении как зазор, так и натяг (поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично).

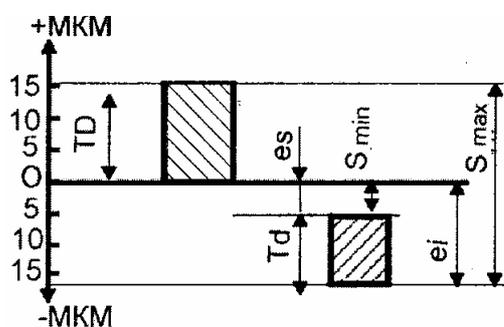


Рис. 4. Характер расположения допусков в посадке с зазором

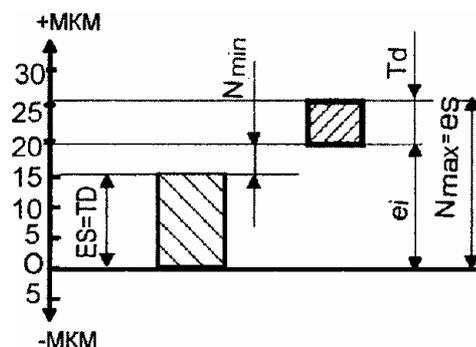


Рис. 5. Характер расположения допусков в посадке с натягом

Посадки всех трех групп с различными зазорами и натягами можно получить, изменяя положения полей допусков обеих сопрягаемых деталей.

Однако удобнее в технологическом и эксплуатационном отношении получать разнообразные посадки, изменяя положения поля допуска только вала (рис. 6) или только отверстия (рис. 7).

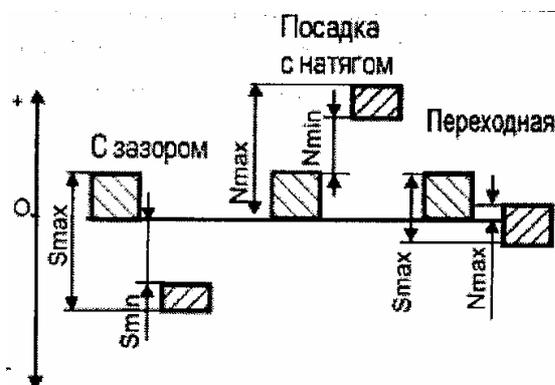


Рис. 6. Характер образования посадки в системе вала

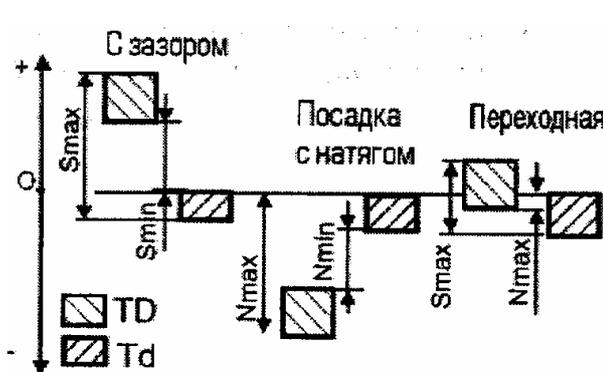


Рис. 7. Характер образования посадки в системе отверстия

Деталь, у которой положение поля допуска не зависит от вида посадки, называют основной деталью системы. Это может быть отверстие или вал, имеющие любое основное отклонение. Нужные зазоры и натяги получают изменяя основные отклонения неосновных деталей: валов в системе отверстия и отверстий в системе вала.

Посадка обозначается дробью, числитель которой содержит обозначение поля допуска отверстия, а знаменатель – поля допуска вала. Например:  $H7/g6$ .

Обозначение посадки указывается после номинального размера посадки. Например:  $40H7/g6$ .

### 3. Индивидуальные задания

3.1. Определить величину допуска, наибольший и наименьший предельные размеры по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям.

Вариант	1	2	3	4	5
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$25^{+0,02}$	$4\pm 0,004$	$1,6^{+0,016}_{+0,010}$	$3,2_{-0,08}$	$12^{+0,045}_{-0,105}$
	$16^{+0,007}_{-0,032}$	$110_{-0,2}$	$63^{+0,4}_{-0,6}$	$25^{+0,145}_{+0,100}$	$40\pm 0,008$
Вариант	6	7	8	9	10
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$32\pm 0,034$	$32^{+0,047}_{+0,030}$	$25^{+0,013}_{-0,008}$	$50^{+0,15}_{+0,004}$	$160^{+0,030}_{+0,004}$
	$32_{-0,34}$	$40^{+0,027}$	$25^{+0,14}$	$50_{-0,017}$	$100^{+0,036}_{-0,090}$

3.2. Определить верхнее и нижнее предельные отклонения вала по заданным номинальным и предельным размерам.

Размер, мм	Вариант				
	1	2	3	4	5
Номинальный	4	10	16	5	8
Наибольший предельный	4,009	10	15,980	5,004	8,050
Наименьший предельный	4,001	9,984	15,930	4,996	7,972
Размер, мм	Вариант				
	6	7	8	9	10
Номинальный	12	25	32	125	20
Наибольший предельный	11,940	25,007	31,975	125	20,056
Наименьший предельный	11,820	24,993	31,950	124,920	20,035

3.3. Изобразить графически поля допусков валов по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер, мм	125	160	140	220	180	250	200	320	360	450
Верхнее отклонение $es$ , мкм	+40	0	+14	+230	-50	+45	0	-70	0	+20
Нижнее отклонение $ei$ , мкм	+13	-27	-14	+140	-90	+15	-300	-125	-35	-20

3.4. Изобразить графически поля допусков отверстий по заданным номинальным размерам и предельным отклонениям.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер, мм	10	50	12	80	16	110	20	125	100	25
Верхнее отклонение $ES$ , мкм	+100	+250	-22	+20	-3	+230	-3	+450	-93	+16
Нижнее отклонение $EI$ , мкм	0	+80	-48	-10	-30	0	-6	+150	-140	-7

3.5. Определить годность валов по результатам их измерения.

Вариант	1	2	3	4	5
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$110_{-0,075}^{-0,040}$	$105_{-0,023}$	$125_{+0,004}^{+0,030}$	$100 \pm 0,012$	$85_{+0,190}^{+0,260}$
Действительные размеры, мм	99,958	105,002	125,005	100,009	85,2
Вариант	6	7	8	9	10
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$24_{-0,14}$	$75_{-0,130}^{-0,110}$	$36_{+0,06}^{+0,11}$	$95_{-0,46}$	$315_{-1,00}^{-0,34}$
Действительные размеры, мм	23,98	74,87	36,07	95	314,47

3.6. Определить годность отверстий по результатам их измерения, установить вид брака: неисправимый или исправимый.

Вариант	1	2	3	4	5
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$2^{+0,12}$	$40^{+0,060}$	$71_{-0,03}$	$4^{+0,009}_{-0,004}$	$85^{+0,07}$
Действительные размеры; мм	1,95	40,038	71,002	3,996	85
Вариант	6	7	8	9	10
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$8^{+0,004}_{-0,020}$	$220^{+0,015}_{-0,060}$	$180_{-0,04}$	$105^{+0,09}_{+0,04}$	$160^{+0,027}_{-0,014}$
Действительные размеры, мм	7,965	219,980	180,02	105,042	159,981

3.7. Определить возможные наибольший и наименьший натяг или зазор в сопряжениях по номинальным размерам и предельным отклонениям.

Номинальный размер и предельные отклонения, мм	Вариант				
	1	2	3	4	5
Отверстия	$10^{+0,03}$	$50^{+0,05}$	$80_{+0,06}$	$110^{+0,035}$	$100^{+0,035}$
Вала	$10_{-0,03}$	$50^{+0,115}_{+0,065}$	$80^{+0,04}_{-0,12}$	$110 \pm 0,012$	$100_{-0,035}$
Номинальный размер и предельные отклонения, мм	Варианты				
	6	7	8	9	10
Отверстия	$16^{+0,019}$	$250^{+0,33}_{+0,18}$	$25^{+0,045}$	$12^{+0,035}$	$20^{+0,13}_{+0,06}$
Вала	$16 \pm 0,00$ 6	$250_{-0,09}$	$25^{+0,100}_{+0,055}$	$12^{+0,02}_{-0,07}$	$20_{-0,045}$

#### 4. Примеры решения задач

*Пример 1.* Изобразить графически поле допуска вала.

*Условие.* Номинальный размер –  $\varnothing 25$  мм, верхнее отклонение –  $+0,017$  мм, нижнее отклонение –  $+0,002$  мм.

*Решение.* Иллюстрация решения представлена на рисунке 8.

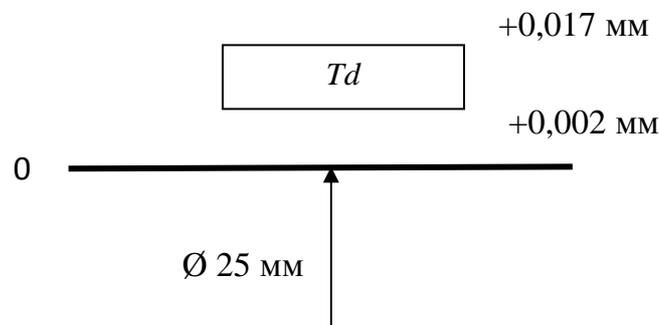


Рис. 8. Схема расположения поля допуска вала  $Td$  в соответствии с решаемой задачей

*Пример 2.* Определить годность детали по результатам измерения.

*Условие.* На чертеже вала указано  $\varnothing 32_{-0,5}^{-0,17}$ , после измерения установлено, что действительный размер вала равен 31,73 мм.

*Решение.* Вал считается годным, если соблюдено условие

$$d_{нб} > d_{ном} > d_{нм}. \quad (*)$$

$$d_{нб} = 32 - 0,17 = 31,83 \text{ мм};$$

$$d_{нм} = 32 - 0,5 = 31,5 \text{ мм}.$$

где  $D_{нб}$  и  $D_{нм}$  – наибольший и наименьший предельные размеры отверстия;  $d_{нб}$  и  $d_{нм}$  – наибольший и наименьший предельные размеры вала;  $d_{ном}$  – номинальный размер соединения.

Условие (\*) соблюдается:  $31,83 > 31,73 > 31,5$ . Следовательно, деталь годная.

*Пример 3.* Определить возможные наибольший и наименьший зазоры в сопряжении.

*Условие.* Вал –  $\varnothing 32_{-0,34}$ , отверстие –  $\varnothing 32^{+0,34}$ .

*Решение:*

$$D_{нб} = 32 + 0,34 = 32,34 \text{ мм},$$

$$D_{нм} = 32 - 0 = 32 \text{ мм},$$

$$d_{нб} = 32 - 0 = 32 \text{ мм},$$

$$d_{нм} = 32 - 0,34 = 31,66 \text{ мм},$$

$$S_{нб} = 32,34 - 31,66 = 0,68 \text{ мм},$$

$$S_{нм} = 32 - 32 = 0 \text{ мм}.$$

## 5. Порядок выполнения работы и содержание отчета

Порядок выполнения работы определяется индивидуальным заданием.

В процессе выполнения работы студент должен:

- 1) решить задачи индивидуального задания и оформить как показано в примерах;
- 2) все необходимые геометрические построения оформить аккуратно в предварительно выбранном масштабе с указанием расшифровок сокращений;
- 3) оформить отчет о выполнении индивидуального задания в виде отдельной папки формата А4;
- 4) оформить титульный лист отчета по форме, данной в приложении 5.

**Практическая работа № 2**  
**ДОПУСКИ И ПОСАДКИ**  
**ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

**1. Допуски и посадки гладких цилиндрических соединений**

Поле допуска нормируется *квалитетом* и *основным отклонением*.

Установлено 20 квалитетов: 0, 01, 0, 1, 2, ..., 18. Квалитеты устанавливают точность изготовления; чем больше номер квалитета, тем грубее требования к изготовлению.

Основные отклонения определяют положение поля допуска относительно нулевой линии (номинального размера). Основным отклонением является отклонение, ближайшее к нулевой линии, оно может быть как верхним, так и нижним. Основные отклонения обозначаются буквами латинского алфавита: для отверстий – прописными буквами *A, B, C, D* и т.д., для валов – строчными буквами *a, b, c, d* и т.д.

Приняты следующие условные обозначения отклонений: верхнее отклонение отверстия *ES*, нижнее отклонение отверстия *EI*, верхнее отклонение вала *es*, нижнее отклонение вала *ei*.

Допуски и отклонения связаны следующими зависимостями:

$$IT_{\text{отв.}} = TD = ES - EI,$$

$$IT_{\text{вала}} = Td = es - ei,$$

где  $IT_{\text{отв.}}$  и  $IT_{\text{вала}}$  – допуски отверстия и вала.

Применяются как система отверстия, так и система вала. В *системе отверстия* различные зазоры и натяги (посадки) создаются соединением различных валов с основным отверстием.

*Основным отверстием* называется отверстие, основное (нижнее) отклонение которого равно нулю, т.е. наименьший предельный размер совпадает с номинальным, а поле допуска располагается «в тело». Основное отклонение основного отверстия обозначается буквой *H*.

В *системе вала* различные зазоры и натяги (посадки) создаются соединением различных отверстий с основным валом. *Основным валом* называется вал, основное (верхнее) отклонение которого равно нулю, т.е. наибольший предельный размер совпадает с номинальным, а поле допуска располагается «в тело». Основное отклонение основного вала обозначается буквой *h*.

*Допуск посадки* – сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадка может быть:

- *с зазором* – когда размеры отверстия больше размеров вала;
- *с натягом* – когда размеры отверстия меньше размеров вала;
- *переходной* – когда размеры отверстия могут быть как больше, так и меньше размеров вала; возможно получение как зазора, так и натяга.

Наибольший  $S_{нб}$  и наименьший  $S_{нм}$  зазоры определяются следующими выражениями:

$$S_{нб} = D_{нб} - d_{нм} = (d_{ном} + ES) - (d_{ном} + ei) = ES - ei;$$

$$S_{нм} = D_{нм} - d_{нб} = (d_{ном} + EI) - (d_{ном} + es) = EI - es,$$

где  $D_{нб}$  и  $D_{нм}$  – наибольший и наименьший предельные размеры отверстия;  $d_{нб}$  и  $d_{нм}$  – наибольший и наименьший предельные размеры вала;  $d_{ном}$  – номинальный размер соединения.

Вычитая из первого равенства второе, получим

$$S_{нб} - S_{нм} = ES - ei - EI + es = IT_{отв.} + IT_{вала}.$$

Наибольший  $N_{нб}$  и наименьший  $N_{нм}$  натяги определяются следующими выражениями:

$$N_{нб} = d_{нб} - D_{нм} = (d_{ном} + es) - (d_{ном} + EI) = es - EI;$$

$$N_{нм} = d_{нм} - D_{нб} = (d_{ном} + ei) - (d_{ном} + ES) = ei - ES.$$

Вычитая из первого равенства второе, получим

$$N_{нб} - N_{нм} = es + EI - ei + ES = IT_{отв.} + IT_{вала}.$$

## 2. Индивидуальные задания

2.1. Определить величину допуска по заданному номинальному размеру и полю допуска (прил. 1, 2).

Варианты	1	2	3	4	5
Номинальный размер и поле допуска	$\varnothing 10h6$	$\varnothing 16s7$	$\varnothing 18H9$	$\varnothing 20K6$	$\varnothing 25H8$
Варианты	6	7	8	9	10
Номинальный размер и поле допуска	$\varnothing 40u8$	$\varnothing 50E9$	$\varnothing 40H9$	$\varnothing 75h8$	$\varnothing 100d11$

2.2. Определить квалитет, по которому назначен допуск на изготовление основного вала.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный диаметр вала, мм	8	40	120	25	32	16	50	120	80	400
Величина допуска, мкм	15	16	87	52	160	27	25	54	140	390

2.3. Определить квалитет, по которому назначен допуск на изготовление отверстия, исходя из того, что отверстие – основное.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный диаметр отверстия, мм	1,6	12	30	40	2,5	30	20	45	4	40
Величина допуска, мкм	4	43	84	62	6	130	21	250	18	250

2.4. Определить предельные отклонения, величины наибольших и наименьших зазоров и натягов по заданным номинальным размерам и посадкам. Предельные отклонения нанести на чертеж.

Варианты	1	2	3	4	5
Номинальный размер и посадки	$\varnothing 40 \frac{H7}{h6}$	$\varnothing 20 \frac{H7}{f7}$	$\varnothing 25 \frac{H7}{r6}$	$\varnothing 15 \frac{H7}{p6}$	$\varnothing 25 \frac{H8}{u8}$
Варианты	6	7	8	9	10
Номинальный размер и посадки	$\varnothing 50 \frac{G7}{g6}$	$\varnothing 74 \frac{K7}{h6}$	$\varnothing 50 \frac{H7}{k6}$	$\varnothing 40 \frac{E9}{h8}$	$\varnothing 50 \frac{D11}{h11}$

2.5. Определить допуск посадки, вид посадки (с зазором, натягом, переходная) по данным задания 2.4.

2.6. Построить схему расположения полей допусков в соединениях по заданию 2.4 и определить предельные зазоры и натяги.

Варианты	1	2	3	4	5
Номинальный размер и посадки	$\varnothing 20 \frac{H7}{r6}$	$\varnothing 10 \frac{H8}{h8}$	$\varnothing 40 \frac{G7}{h6}$	$\varnothing 25 \frac{H8}{e8}$	$\varnothing 35 \frac{D11}{h11}$
Варианты	6	7	8	9	10
Номинальный размер и посадки	$\varnothing 25 \frac{G6}{h5}$	$\varnothing 50 \frac{H7}{k6}$	$\varnothing 40 \frac{H7}{h6}$	$\varnothing 50 \frac{H8}{s7}$	$\varnothing 35 \frac{H8}{h8}$

2.7. В заданных соединениях определить вид посадки (с зазором, натягом или переходная) и систему (отверстия или вала), в которой назначена посадка.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ø 20	$\frac{H6}{m5}$	$\frac{H9}{e8}$	$\frac{H5}{g4}$	$\frac{H7}{r6}$	$\frac{Is6}{h5}$	$\frac{H7}{n6}$	$\frac{D11}{h11}$	$\frac{Is7}{h6}$	$\frac{H7}{g6}$	$\frac{H8}{u8}$
Ø 50	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{K6}{h5}$	$\frac{H7}{p6}$	$\frac{G6}{h5}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{E9}{h8}$	$\frac{H7}{k6}$	$\frac{H7}{js6}$	$\frac{G7}{h6}$	$\frac{H8}{f9}$
Ø 40	$\frac{H11}{d11}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{K7}{h6}$	$\frac{H6}{g5}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H8}{s7}$	$\frac{H7}{h7}$	$\frac{H7}{f7}$	$\frac{G6}{h6}$

2.8. По заданным наибольшим и наименьшим зазорам и натягам в соединении отверстия и вала подобрать посадку в системе отверстия при условии, что допуски отверстия и вала соединения назначены по одному качеству.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер, мм	Ø40	Ø45	Ø50	Ø15	Ø30	Ø50	Ø25	Ø25	Ø40	Ø20
Наибольший зазор $S_{нб}$ , мкм	57	-	57	-	33	75	42	-	50	-
Наименьший зазор $S_{нм}$ , мкм	25	-	25	-	7	25	0	-	0	-
Наибольший натяг $N_{нб}$ , мкм	-	25	-	29	-	-	-	81	-	28
Наименьший натяг $N_{нм}$ , мкм	-	4	-	7	-	-	-	14	-	2

### 3. Пример решения задач

*Пример.* Подобрать посадку в системе отверстия при условии, что допуски вала и отверстия назначены по одному качеству.

*Условие.* Номинальный диаметр соединения  $d_{ном} = 100$  мм, необходимый наибольший зазор  $S_{нб} = 60$  мкм, наименьший  $S_{нм} = 10$  мкм.

*Решение.* По условию допуски отверстия и вала назначены по одному качеству, следовательно, они равны. Определим допуски отверстия и вала.

$$IT_{отв.} = IT_{вала} = (S_{нб} - S_{нм}) / 2 = (60 - 10) / 2 = 25 \text{ мкм.}$$

Учитывая, что нижнее отклонение основного отверстия  $EI = 0$ , найдем верхнее отклонение:

$$ES = I_{\text{отв.}} + EI = 25 + 0 = 25 \text{ мкм.}$$

По таблице приложения 2 находим, что для основного отверстия  $\varnothing 100$  мм ближайшее к найденному (+25 мкм) верхнее отклонение равно +22 мкм и ему соответствует поле допуска  $H6$ .

Определим верхнее и нижнее отклонения вала:

$$S_{нм} = EI - es, \quad es = EI - S_{нм} = 0 - 10 = -10 \text{ мкм};$$

$$S_{нб} = ES - ei, \quad ei = ES - S_{нб} = 25 - 60 = -35 \text{ мкм.}$$

По таблице приложения 1 для вала  $\varnothing 100$  мм устанавливаем, что для найденных отклонений ближайшим полем допуска будет  $g6$ .

Назначается посадка  $\varnothing 100 \frac{H6}{g6}$ .

#### 4. Порядок выполнения работы и содержание отчета

Порядок выполнения работы определяется индивидуальным заданием.

В процессе выполнения работы студент должен:

- 1) решить задачи из индивидуального задания, по форме, представленной в примере;
- 2) все необходимые геометрические построения оформить аккуратно в предварительно выбранном масштабе с указанием расшифровок сокращений;
- 3) оформить решение каждой задачи на отдельном листе формата А4;
- 4) оформить отчет о выполнении индивидуального задания в виде отдельной папки формата А4;
- 5) оформить титульный лист отчета по установленной форме (см. прил. 5).

**Практическая работа № 3**  
**НОРМИРОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ,**  
**РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ И ШЕРОХОВАТОСТИ**

**1. Отклонение формы и взаимного расположения поверхностей**

Условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертежах приведены в таблице 4.1.

В общем случае в отклонение формы входит волнистость поверхности и не входит шероховатость. Отклонение формы поверхностей (профилей) отсчитывают от точек реальной поверхности (профиля) до прилегающих плоскости, прямой, профиля, окружности.

**1.1. Отклонения формы поверхностей**

ГОСТ 28187-89 регламентирует следующие отклонения формы поверхности:

1) отклонение от плоскостности: наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка;

2) отклонение от прямолинейности: наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка.

**1.2. Отклонения формы цилиндрических поверхностей**

ГОСТ 28187-89 регламентирует следующие отклонения формы цилиндрических поверхностей:

1) отклонение от цилиндричности: наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка;

2) отклонение от круглости: наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей окружности.

**1.3. Отклонение профиля продольного сечения**

ГОСТ 28187-89 регламентирует следующие отклонения профиля продольного сечения:

1) конусообразность: отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны;

2) бочкообразность: отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения;

3) седлообразность: отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине сечения.

#### **1.4. Отклонение расположения поверхностей**

ГОСТ 28187-89 регламентирует следующие отклонения расположения поверхностей:

1) отклонение от параллельности плоскостей – определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями (прямыми) в пределах нормируемого участка;

2) отклонение от параллельности оси (или прямой) и плоскости – определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний между осью (прямой) и плоскостью на длине нормируемого участка;

3) отклонение от перпендикулярности плоскостей, осей или оси и плоскости – определяется как отклонение от прямого угла между плоскостями, выраженное в линейных единицах на длине нормируемого участка;

4) торцевое биение – определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси;

5) отклонение от соосности относительно базовой поверхности – определяется как наибольшее расстояние между осью рассматриваемой поверхности вращения и базовой (осью базовой поверхности или общей осью двух или нескольких поверхностей) на длине нормируемого участка;

6) отклонение от соосности относительно общей оси – определяется как наибольшее расстояние от оси рассматриваемой поверхности до общей оси двух или нескольких номинальных соосных поверхностей вращения в пределах длины рассматриваемой поверхности;

7) радиальное биение – определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси;

8) отклонение от симметричности определяется как наибольшее расстояние между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента (или элементов) и базой (плоскостью симметрии базового элемента или общей плоскостью симметрии двух или нескольких элементов) в пределах нормируемого участка, поверхностей;

9) отклонение от пересечения осей – определяется как наименьшее расстояние между осями, номинально пересекающимися;

10) позиционное отклонение – определяется как наибольшее расстояние между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка.

## 2. Определение фактической величины отклонений

Предельные отклонения формы и расположения поверхностей указывают на чертежах условными знаками.

Для измерения величины отклонений от круглости деталей типа тел вращения (например, цилиндров) применяются приборы – кругломеры.

Для определения некруглости на профилограмму накладывают прилегающую окружность. Отклонения от круглости  $\delta_{огр}$  определяются по формуле

$$\delta_{огр} = \Delta / Y,$$

где  $\Delta$  – наибольшее расстояние прилегающей окружности до профилограммы (мм), измеренное в радиальном направлении;  $Y$  – коэффициент увеличения прибора, при котором произведена запись профилограммы (1000, 2000, 4000 и т.д.).

Для определения овальности можно применять двухконтактные средства измерений (микрометры, рычажные скобы и т.д.).

Овальность  $\delta_{ов}$  определяется по формуле

$$\delta_{ов} = (d_{нб} - d_{нм}) / 2,$$

где  $d_{нб}$  – наибольший измеренный диаметр, мм;  $d_{нм}$  – наименьший измеренный диаметр, мм.

Частными видами отклонения профиля продольного сечения цилиндрической поверхности являются:

- *конусообразность* – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны.
- *бочкообразность* – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны 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.

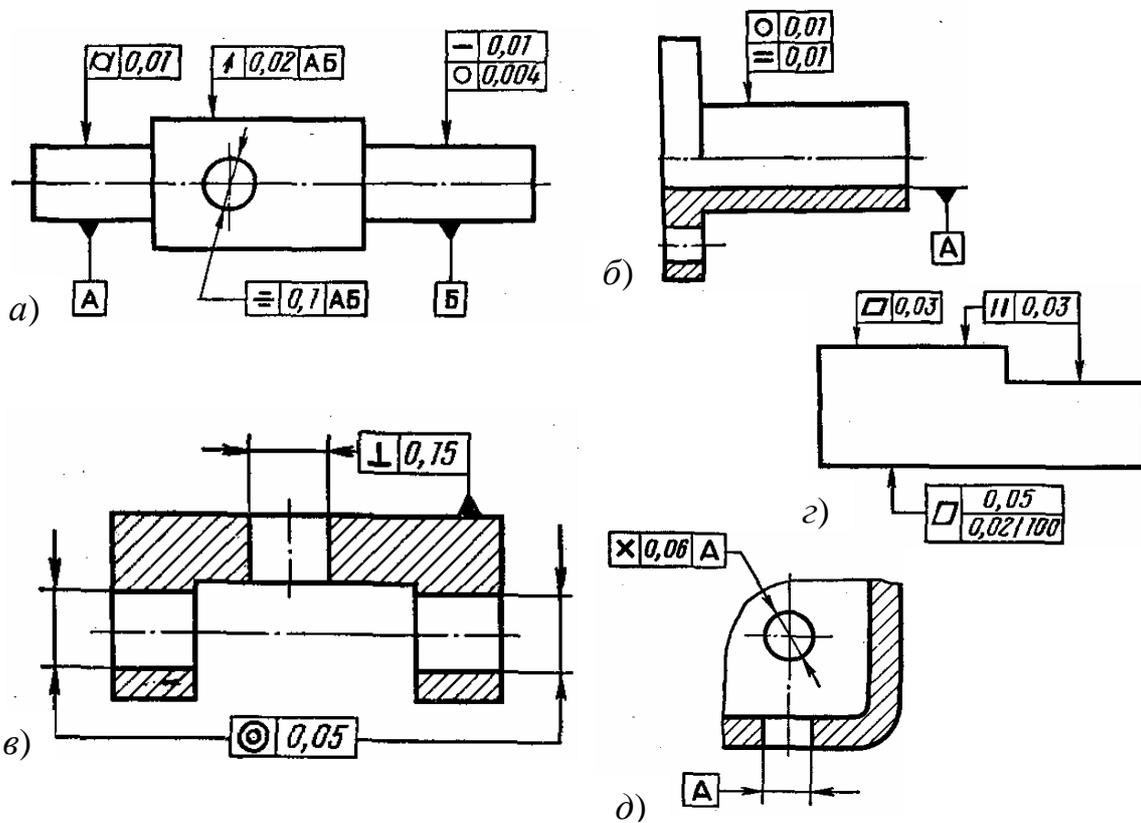
Количественно конусообразность, бочкообразность и седлообразность оцениваются по формуле

$$\delta = (d_{нб} - d_{нм}) / 2.$$

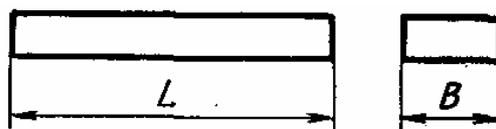
Для измерения этих отклонений можно применять двухконтактные средства измерения (микрометры, рычажные скобы и т.д.).

### 3. Индивидуальные задания

3.1. Расшифровать условные обозначения предельных отклонений формы и расположения поверхностей.

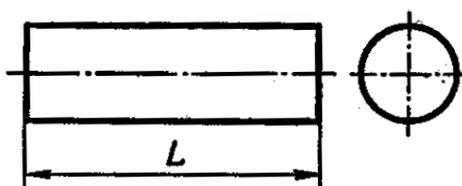


3.2. Нанести на чертеже требования к отклонению от плоскостности бруска в зависимости от заданных размеров и степени точности на погрешность формы.



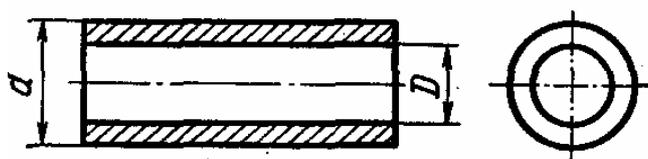
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер $L$ , мм	100	22	125	110	80	50	360	450	630	500
Номинальный размер $B$ , мм	40	10	25	16	10	6,3	50	75	60	63
Степень точности (СТ)	2	4	3	5	4	10	7	5	6	9

3.3. Нанести на чертеже требования к непрямолинейности образующей цилиндра в зависимости от заданной длины и степени точности на погрешность формы.



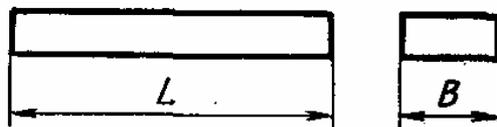
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальная длина $L$ , мм	80	80	160	160	200	200	500	500	710	710
Степень точности (СТ)	9	2	3	7	5	1	4	8	9	6

3.4. Нанести на чертеже требования к некруглости наружного цилиндра  $d$  и внутреннего  $D$  в зависимости от заданных диаметров и степени точности на погрешность формы.



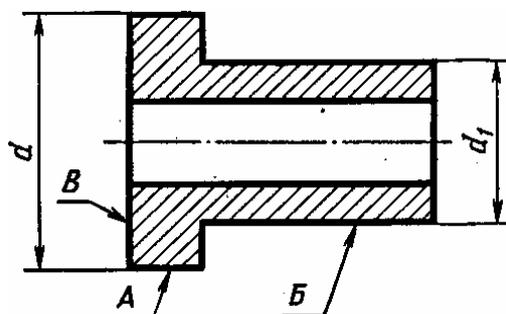
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный диаметр $D$ , мм	100	120	60	140	180	500	25	12	22	25
Номинальный диаметр $d$ , мм	50	80	32	60	120	250	10	4	12	14
Степень точности (СТ)	3	8	10	4	5	9	7	6	1	2

3.5. Нанести на чертеже требования к отклонению от параллельности плоскостей бруска в зависимости от заданных размеров и степеней точности на отклонения расположения поверхностей.



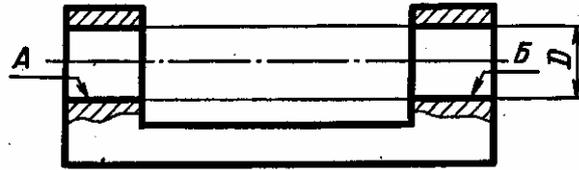
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер $L$ , мм	40	40	160	160	100	100	220	220	400	400
Номинальный размер $B$ , мм	10	10	40	40	25	25	50	50	90	90
Степень точности (СТ)	10	9	1	2	4	3	5	6	8	7

3.6. Нанести на чертеже требования к радиальному биению поверхностей  $A$  и  $B$  и торцевому биению поверхности  $B$  относительно оси отверстия в зависимости от заданных диаметров и степеней точности на отклонения расположения поверхностей.



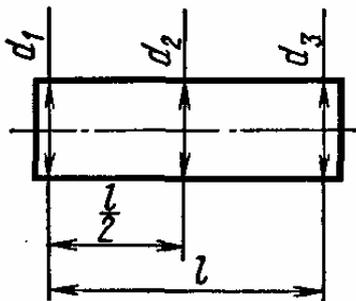
Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный размер $d$ , мм	25	50	8	180	300	400	90	400	125	560
Номинальный диаметр $d_1$ , мм	20	36	4	110	180	160	50	320	75	340
Степень точности (СТ)	2	4	3	5	1	6	10	8	7	9

3.7. Нанести на чертеже требования к отклонению от соосности отверстия *A* относительно отверстия *B* в зависимости от заданных диаметров и степеней точности на отклонения расположения поверхностей.



Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номинальный диаметр <i>D</i> , мм	40	25	16	160	160	100	100	320	320	400
Степень точности	2	1	3	5	4	7	10	9	8	6

3.8. Микрометром измерены диаметры валов по краям и в середине, по результатам измерения определить величину и вид отклонения профиля продольного сечения (конусообразность, седлообразность, бочкообразность).



Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_1$ , мм	4,05	15,98	24	9,97	8,01	11,99	19,99	25	16	32,01
$d_2$ , мм	4,1	16,02	23,93	9,99	8,04	11,92	20,03	24,95	15,98	31,95
$d_3$ , мм	4,15	15,97	23,98	9,95	8,07	11,98	19,97	24,99	15,96	32

3.9. При измерении рычажной скобой валов установлено, что детали имеют четко выраженную овальность. Определить значения овальности по результатам измерений.

Варианты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_{нб}$ , мм	10,95	4,2	7,86	47,3	35,01	17,5	43,6	15,85	39,99	25
$d_{нм}$ , мм	10,90	4,19	7,82	47,22	34,97	17,42	43,51	15,80	39,93	24,94

#### **4. Порядок выполнения работы и содержание отчета**

Порядок выполнения работы определяется индивидуальным заданием.

В процессе выполнения работы, используя приложения 3, 4 и 5, студент должен:

- 1) решить задачи индивидуального задания;
- 2) все необходимые геометрические построения оформить аккуратно в предварительно выбранном масштабе с указанием расшифровок сокращений;
- 3) оформить отчет о выполнении индивидуального задания в виде отдельной папки формата А4.

**Практическая работа № 4**  
**СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА**  
**СЛУЧАЙНОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**1. Общие положения**

Как правило, всякое исследование состоит из одного или нескольких измерений. Под *измерением* понимается сравнение измеряемой величины с другой величиной, принятой за единицу измерения. Измерения разделяют на *прямые* и *косвенные*.

При прямых измерениях определяемая величина сравнивается с единицей измерения непосредственно или при помощи измерительного прибора, проградуированного в соответствующих единицах. К этим измерениям относятся измерения длины линейкой, штангенциркулем и т.п.

При измерении любой величины мы никогда не получаем истинного значения этой величины, т.е. результат измерения дает лишь приближенное значение. Это объясняется как ограниченной возможностью точности измерения, так и природой самих измеряемых объектов.

Погрешности результата измерений определяются разностью измеренной и истинной величин и будут зависеть от многих причин. Обычно стараются произвести измерения с наибольшей достижимой точностью, т.е. сделать погрешность измерения по возможности малой.

*Случайные погрешности* вызываются большим числом случайных причин, действие которых на каждое измерение различно и не может быть заранее учтено. Типичным примером подобных погрешностей может служить так называемая ошибка параллакса (рис. 1), которая состоит в следующем.

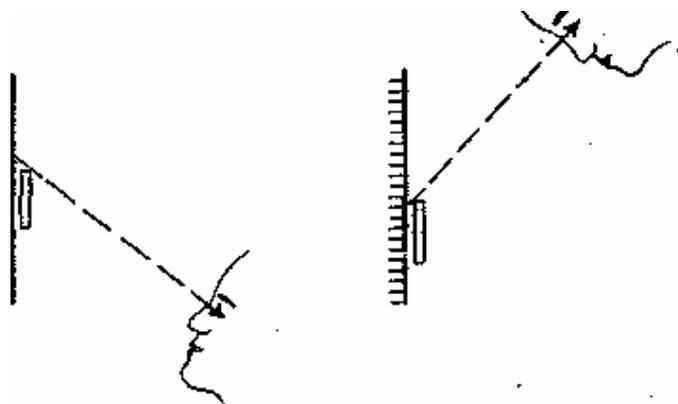


Рис. 1. Ошибка параллакса при отсчете делений шкалы

Для отсчета делений шкалы прибора необходимо, строго говоря, расположить глаз наблюдателя на перпендикуляре к шкале, проходящем через конец стрелки прибора или через край измеряемого предмета. Однако глаз человека не всегда может быть расположен точно на перпендикуляре. Поэтому при отсчетах мы будем получать либо завышенные, либо заниженные значения.

Хотя исключить случайные погрешности отдельных измерений невозможно, математическая теория случайных явлений позволяет уменьшить влияние этих погрешностей на окончательный результат измерений и установить разумное значение погрешностей.

Следует иметь в виду, что если случайная погрешность, полученная из данных измерений, окажется значительно меньше погрешности, определяемой точностью прибора, то очевидно, что нет смысла пытаться еще уменьшить величину случайной погрешности – все равно результаты измерений не станут от этого точнее.

Целью настоящей лабораторной работы является ознакомление с методикой статистической оценки результатов серии прямых измерений с использованием стандартных средств контроля линейных размеров.

## **2. Статистическая оценка случайной погрешности прямых измерений**

В основе теории погрешностей лежат два предположения, подтверждаемых опытом.

1. При большом числе измерений случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака, т.е. погрешности как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения, встречаются одинаково часто.

2. Большие (по абсолютной величине) погрешности встречаются реже, чем малые, т.е. вероятность появления погрешности уменьшается с ростом величины погрешности.

Допустим, что мы произвели  $n$  прямых (непосредственных) измерений некоторой физической величины, истинное значение которой (нам неизвестное) обозначим через  $a$ . Обозначим через  $a_1, a_2, \dots, a_n$  результаты отдельных измерений, а через  $\Delta a_i^*$  – истинную *абсолютную погрешность*  $i$ -го измерения:

$$\Delta a_i^* = a - a_i.$$

Тогда результаты измерений можно представить в виде

$$\begin{aligned} a_1 &= a - \Delta a_1^*, \\ a_2 &= a - \Delta a_2^*, \\ &\dots, \\ a_n &= a - \Delta a_n^*. \end{aligned} \tag{1}$$

Суммируя левую и почленно правую стороны равенств (1), получаем

$$\sum_{i=1}^n a_i = na - \sum_{i=1}^n \Delta a_i^*. \tag{2}$$

Если ввести понятие *среднеарифметической величины*

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i, \tag{3}$$

то, разделив обе стороны равенства (2) на число измерений  $n$ , получаем после перестановки членов

$$a = \bar{a} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i^*. \tag{4}$$

Если число  $n$  измерений достаточно велико (строго говоря, при  $n \rightarrow \infty$ ), то согласно предположению (1)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta a_i^* = 0, \tag{5}$$

так как в серии из большого числа измерений всякой положительной погрешности можно сопоставить равную ей по абсолютной величине отрицательную погрешность. Из выражения (4) следует, что

$$a = \bar{a} \quad \text{при } n \rightarrow \infty, \tag{6}$$

т.е. при бесконечно большом числе измерений истинное значение измеряемой величины равно среднеарифметическому значению  $\bar{a}$  всех результатов произведенных измерений. Однако при ограниченном числе измерений ( $n \neq \infty$ ) среднеарифметическое значение  $\bar{a}$  будет отличаться от истинного значения  $a$ , т.е. равенство (6) будет не точным, а приближенным:

$$a \cong \bar{a}, \tag{7}$$

и нам необходимо оценить величину этого расхождения.

Появление того или иного значения  $a_i$  в процессе измерения является случайным событием. За вероятность  $y(a_i)da_i$  появления величины  $a_i$  в интервале  $da_i$  принимают относительную частоту появления значений  $a_i$  в интервале  $da_i$ , т.е. отношение числа всех значений  $a_i$ , попадающих в интервал  $da_i$ , к числу всех значений  $a_i$  (при  $n \rightarrow \infty$ ).

Эта вероятность определяется законом нормального распределения Гаусса (рис. 2):

$$y(a_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(a_i-a)^2}{2\sigma^2}}, \quad (8)$$

где  $e$  – основание натуральных логарифмов;  $\sigma^2$  – постоянная величина, называемая дисперсией распределения.

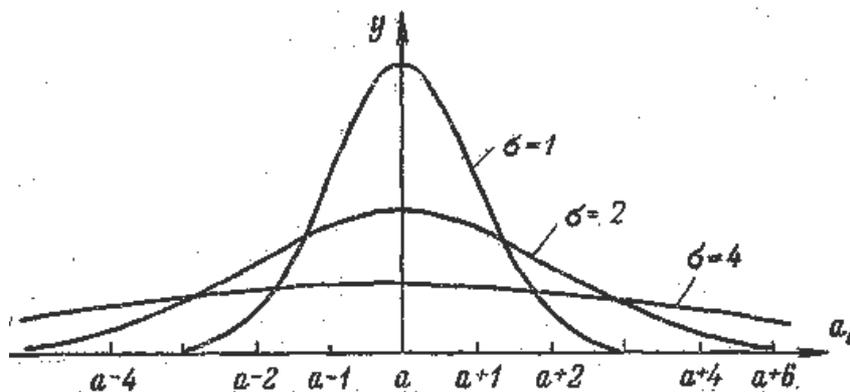


Рис. 2. Кривая нормального распределения Гаусса

Функция  $y(a_i)$  называется *плотностью распределения вероятностей*. Как видно из формулы (8), нормальное распределение характеризуется двумя параметрами:

- 1) *генеральным средним*, значением случайной величины;
- 2) *дисперсией* или дисперсией генеральной совокупности.

Генеральное среднее значение представляет собой то значение, относительно которого происходит разброс случайных величин. Другими словами, генеральное среднее значение определяется абсциссой оси симметрии кривой нормального распределения.

Дисперсия  $\sigma^2$  характеризует быстроту уменьшения вероятности появления погрешности  $\Delta a_i$  с ростом величины этой погрешности.

При малом числе измерений  $n$  величина отдельного измерения, например  $a_3$ , довольно сильно влияет на величину  $\bar{a}$ . Так же сильно влияют на эту величину  $a$  и значения других измерений ( $a_1$  и  $a_2$ ). Однако при боль-

шом числе  $n$  измерений влияние величины отдельного измерения, например  $a_n$ , на величину  $\bar{a}$  становится значительно слабее, и отклонение можно рассматривать как случайную величину, составленную из малых влияний величин отдельных измерений.

*Доверительным интервалом* называют интервал, в который по определению попадает истинное значение  $a$  измеряемой величины с заданной вероятностью:

$$(\bar{a} - \Delta a, \bar{a} + \Delta a). \quad (9)$$

*Надежностью* результата серии измерений называется вероятность  $\alpha$  того, что истинное значение  $a$  измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал. Эта величина  $\alpha$  выражается или в долях единицы, или процентах.

Чем больше величина доверительного интервала  $(\bar{a} - \Delta a, \bar{a} + \Delta a)$ , т.е. чем больше задаваемая погрешность результата измерений  $\Delta a$ , тем с большей надежностью искомая величина  $a$  попадает в этот интервал. Когда истинное значение  $a$  неизвестно, оценкой дисперсии  $\sigma^2$  является так называемая *выборочная дисперсия* или дисперсия выборки  $\Delta S_n^2$ :

$$\Delta S_n^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n-1}. \quad (10)$$

Корень квадратный из выборочной дисперсии определяет так называемую *среднеквадратичную погрешность отдельного измерения*:

$$\Delta S_n = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n-1}}. \quad (11)$$

Отсюда *среднеквадратичная погрешность результата серии измерений* равна

$$\Delta S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}}. \quad (12)$$

При малых значениях  $n$  эти оценки  $\Delta S_n$  и  $\Delta S_{\bar{a}}$ , сами являющиеся случайными величинами, в лучшем случае определяют лишь порядок величины дисперсий. Поэтому при нахождении границ доверительного интервала для величины  $a$  при малых значениях  $n$  можем воспользоваться коэффициентом  $t_\alpha$ , называемым *коэффициентом Стьюдента*.

Следовательно, при недостаточно большом числе измерений (практически при  $n < 20$ ) при расчете  $\Delta a$  при заданной надежности  $\alpha$  необходимо вводить коэффициенты, зависящие от числа произведенных измерений  $n$  и от величины надежности  $\alpha$ :

$$t_{\alpha}(n) = \frac{\Delta a}{\Delta S_{\bar{a}}} = \frac{\Delta a}{\Delta S_n / \sqrt{n}}, \quad (13)$$

где  $\Delta S_{\bar{a}}$  определяется соотношением (12), а  $\Delta S_n$  – соотношением (11).

В таблице 1 приведены значения коэффициентов Стьюдента  $t_{\alpha}$  для разных значений надежности  $\alpha$  при разных значениях  $n$ .

Таблица 1

Значение коэффициента Стьюдента  $t_{\alpha}$

$n - 1$	$\alpha$				
	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
1	6,31	12,7	31,8	63,7	636,6
2	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
3	2,35	3,18	4,54	5,84	12,9
4	2,13	2,78	3,75	4,60	6,61
5	2,02	2,57	3,36	4,03	6,87
6	1,94	2,45	3,14	3,71	3,96
7	1,89	2,36	3,00	3,50	5,41

Задавая вероятность того, что истинное значение измеряемой величины  $a$  попадает в данный доверительный интервал, т.е., другими словами, задавая надежность  $\alpha$ , равную определенной величине (например,  $\alpha = 0,95$ ), по числу проведенных измерений  $n$  (например,  $n = 7$ ) определяем по таблице 1 значение коэффициента Стьюдента  $t_{\alpha}$  для этих данных. Оно равно  $t_{\alpha} = 2,45$ .

Тогда, определив предварительно  $\Delta S_{\bar{a}}$ , используя формулу (12), найдем погрешность  $\Delta a$ :

$$\Delta a = t_{\alpha} \Delta S_{\bar{a}}.$$

После этого результат измерений можно записать в виде

$$\bar{a} - \Delta a \leq a \leq \bar{a} + \Delta a$$

или

$$a = \bar{a} \pm \Delta a,$$

это означает, что истинное значение величины  $a$  попадает в доверительный интервал  $(\bar{a} - \Delta a, \bar{a} + \Delta a)$  с надежностью, равной  $\alpha$ .

Представленную методику можно использовать при расчете истинных значений результатов прямого измерения размеров, причем получаемый результат будет отражать номинальный размер и погрешность измерения.

### 3. Методика обработки результатов прямых измерений линейных размеров

Обработку результатов прямых измерений произведем на примере серии измерений диаметра цилиндра. Проведем ее для двух значений надежности  $\alpha = 0,95$  и  $\alpha = 0,99$ . Десять значений диаметра цилиндра приведены в таблице 2. Измерения проводились микрометром с ценой деления 0,01 мм.

Таблица 2

Данные серии измерения диаметра цилиндра

$i$	$d_i$ , мм	$i$	$d_i$ , мм
1	14,85	6	14,81
2	14,80	7	14,80
3	14,84	8	14,85
4	14,81	9	14,84
5	14,79	10	14,80

#### *Анализ результатов серии из 5 измерений*

Возьмем пять первых измерений из таблицы 2 и найдем среднее значение диаметра и границы доверительного интервала из этих измерений. Выберем произвольное число  $d_0$ , удобное для расчетов (пусть  $d_0 = 14,80$  мм); вычислим разности  $d_i - d_0$  и квадраты этих разностей. Результаты приведены в таблице 3. Найдем среднее значение  $\bar{d}$ :

$$\bar{d} = d_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - d_0) = 14,80 + \frac{0,09}{5} = 14,818 \text{ мм,}$$

$$\bar{d} - d_0 = 0,018 \text{ мм.}$$

Таблица 3

Предварительная обработка данных измерений

$i$	$d_i$ , мм	$d_i - d_0$ , мм	$(d_i - d_0)^2$ , мм
1	14,85	0,05	0,0025
2	14,80	0,00	0,0000
3	14,84	0,04	0,0016
4	14,81	0,01	0,0001
5	14,79	-0,01	0,0001
Сумма		0,09	0,0043

Средний квадрат погрешности серии из пяти измерений равен

$$\begin{aligned}\Delta S_{\bar{d}}^2 &= \frac{1}{n(n-1)} \left[ \sum_{i=1}^n (d_i - d_0)^2 - n(\overline{d - d_0})^2 \right] = \\ &= \frac{1}{5 \cdot 4} (0,0043 - 5 \cdot 0,000324) = 1,35 \cdot 10^{-4} \text{ мм.}\end{aligned}$$

Извлекая квадратный корень из  $\Delta S_{\bar{d}}^2$ , получим

$$\Delta S_{\bar{d}} = 1,16 \cdot 10^{-2} \text{ мм.}$$

Для надежности  $\alpha = 0,95$  и  $n = 5$  из таблицы 1 находим значение коэффициента Стьюдента  $t_\alpha = 2,78$  и вычисляем абсолютную погрешность результата измерений

$$\Delta d_{\bar{d}} = t_\alpha \cdot \Delta S_{\bar{d}} = 1,78 \cdot 0,0116 = 0,0322 \text{ мм.}$$

Тогда результат измерения можно представить в виде

$$(14,18 - 0,032) \text{ мм} \leq d \leq (14,818 + 0,032) \text{ мм,}$$

или, сохраняя в величине погрешности одну значащую цифру, получим

$$(14,82 - 0,03) \text{ мм} \leq d \leq (14,82 + 0,03) \text{ мм,}$$

т.е.

$$14,79 \text{ мм} \leq d \leq 14,85 \text{ мм}$$

или

$$d = (14,82 \pm 0,03) \text{ мм.} \quad (a)$$

Относительная погрешность

$$\varepsilon_d = \pm \frac{0,03}{14,82} \cdot 100\% \cong \pm 0,2\% .$$

Теперь найдем абсолютную и относительную погрешности для тех же пяти измерений при другом значении надежности:  $\alpha = 0,99$ . По таблице 1 находим для  $n = 5$  и  $\alpha = 0,99$  значение  $t_\alpha = 4,60$ .

Тогда

$$\Delta d_{\bar{d}} = t_\alpha \Delta S_{\bar{d}} = 4,60 \cdot 1,16 \cdot 10^{-2} = 5,34 \cdot 10^{-2} \text{ мм.}$$

Следовательно,

$$d = (14,82 \pm 0,05) \text{ мм,} \quad (b)$$

и

$$\varepsilon_d = \pm \frac{0,05}{14,82} \cdot 100\% \cong \pm 0,3\% .$$

Сравнив результат (б) и (а), мы видим, что границы доверительного интервала при увеличении надежности от  $\alpha = 0,95$  до  $\alpha = 0,99$  возросли.

*Анализ результатов серии из 10 измерений*

Найдем теперь средние значения и погрешности следующих пяти измерений (6 – 10), приведенных в таблице 4.

Таблица 4

Предварительная обработка данных измерений

$i$	$d_i$ , мм	$d_i - d_0$ , мм	$(d_i - d_0)^2$ , мм
6	14,81	0,01	0,0001
7	14,80	0,00	0,0000
8	14,85	0,05	0,0025
9	14,84	0,04	0,0016
10	14,80	- 0,00	0,0000
Сумма		0,10	0,0042

$$d_0 = 14,80 \text{ мм,}$$

$$\bar{d} = d_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - d_0) = 14,80 + \frac{0,10}{5} = 14,82 \text{ мм,}$$

$$\bar{d} - d_0 = 14,82 - 14,80 = 0,02 \text{ мм.}$$

$$\Delta S_{\bar{d}}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \left[ \sum_{i=1}^n (d_i - d_0)^2 - n(\bar{d} - d_0)^2 \right] = \frac{1}{5 \cdot 4} (0,0042 - 5 \cdot 0,0004) = 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ мм.}$$

$$\Delta S_{\bar{d}} = 1,05 \cdot 10^{-2} \text{ мм.}$$

При  $\alpha = 0,95$  имеем

$$\Delta d_{\bar{d}} = t_{\alpha} \cdot \Delta S_{\bar{d}} = 2,78 \cdot 1,05 \cdot 10^{-2} \text{ мм} = 2,92 \cdot 10^{-2} \text{ мм} \approx 3 \cdot 10^{-2} \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_d = \pm \frac{0,03}{14,82} \cdot 100\% \cong \pm 0,2\% .$$

$$d = (14,82 \pm 0,03) \text{ мм.}$$

Результаты практически не отличаются от результатов, полученных из данных таблицы 3.

Найдем теперь погрешность результата всей серии из десяти измерений, приведенных в таблицах 3 и 4. В этом случае имеем таблицу 5, полученную суммированием последних строчек таблиц 3 и 4.

Результирующая таблица серии измерений

	$d_i - d_0$ , мм	$(d_i - d_0)^2$ , мм
Сумма	0,19	0,0083

$$d_0 = 14,80 \text{ мм}$$

$$\bar{d} = d_0 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - d_0) = 14,80 + \frac{1}{10} \cdot 0,19 = 14,819 \text{ мм},$$

$$\bar{d} - d_0 = 14,819 - 14,80 = 0,019 \text{ мм}.$$

$$\Delta S_{\bar{d}}^2 = \frac{1}{n(n-1)} \left[ \sum_{i=1}^n (d_i - d_0)^2 - n(\bar{d} - d_0)^2 \right] = \frac{1}{90} (0,0085 - 10 \cdot 0,000361) = 54 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2$$

$$\Delta S_{\bar{d}} = 7,35 \cdot 10^{-3} \text{ мм}.$$

При  $\alpha = 0,95$  имеем

$$\Delta d_{\bar{d}} = t_{\alpha} \cdot \Delta S_{\bar{d}} = \pm 2,26 \cdot 7,35 \cdot 10^{-3} = \pm 1,66 \cdot 10^{-2} \text{ мм} \approx \pm 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ мм}.$$

$$\varepsilon_d = \pm \frac{1,7 \cdot 10^{-2}}{14,82} \cdot 100\% \approx \pm 0,11\%$$

$$d = (14,819 \pm 0,017) \text{ мм}.$$

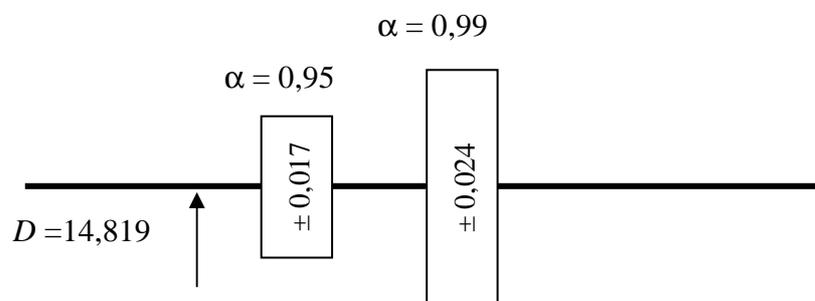
При  $\alpha = 0,99$  имеем

$$\Delta d_{\bar{d}} = t_{\alpha} \cdot \Delta S_{\bar{d}} = \pm 3,25 \cdot 7,35 \cdot 10^{-3} = \pm 2,39 \cdot 10^{-2} \text{ мм} \approx \pm 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ мм}.$$

$$\varepsilon_d = \pm \frac{2,4 \cdot 10^{-2}}{14,82} \cdot 100\% \approx \pm 0,16\%$$

$$d = (14,819 \pm 0,024) \text{ мм}.$$

Видим, что абсолютная и относительная погрешности результата десяти измерений стали почти в два раза меньше погрешностей пяти измерений. По данным измерения партии деталей с различной надежностью измерений строится графическая интерпретация оценки точности измеряемого размера в виде:



Как видно из этих примеров, с ростом числа измерений различие между результатами, вычисленными по распределению Стьюдента и по нормальному распределению, уменьшается.

#### 4. Порядок выполнения работы

В процессе выполнения лабораторной работы производится расчет истинных размеров заданных поверхностей в пределах принятой надежности измерений.

*Задание.* Определить истинные размеры заданной поверхности из партии ступенчатых валов ( $D = \dots$  или  $L = \dots$ ), измеряемых микрометрическим и штангенинструментом с принятой надежностью измерений ( $\alpha = 0,9; 0,95; 0,99$ ).

С этой целью необходимо придерживаться следующей последовательности выполнения работы:

1. Произвести серию измерений заданной поверхности комплекта деталей.
2. Результаты каждого измерения и промежуточных вычислений занести в таблицу по представленной ниже форме:

$i$	$d_i$ , мм	$d_i - d_0$ , мм	$(d_i - d_0)^2$ , мм
1			
2			
...			
24			
25			
Сумма			

3. Вычислить среднее значение из  $n$  измерений:

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i .$$

4. Находят погрешности отдельных измерений:

$$\Delta a_i = \bar{a} - a_i .$$

5. Вычисляют квадраты погрешностей отдельных измерений  $(\Delta a_i)^2$ .

6. Если одно (или два) измерение резко отличается по своему значению от остальных измерений, то следует проверить, не является ли оно промахом.

7. Определяется средняя квадратичная погрешность результата серии измерений:

$$\Delta S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta a_i)^2}{n(n-1)}} .$$

8. Задается значение надежности ( $\alpha = 0,9; 0,95; 0,99$ ).
9. Определяется коэффициент Стьюдента  $t_{\alpha}(n)$  для заданной надежности  $\alpha$  и числа произведенных измерений  $n$  (по таблице 1).

10. Находятся границы доверительного интервала (погрешность результата измерений):

$$\Delta a = t_{\alpha}(n) \cdot \Delta S_{\bar{a}}.$$

11. Если величина погрешности результата измерений (определяемая в п. 10) окажется сравнимой с величиной погрешности прибора, то в качестве границы доверительного интервала следует взять величину

$$\Delta a = \sqrt{t_{\alpha}^2(n) \cdot \Delta S_{\bar{a}}^2 + \left(\frac{k_{\alpha}}{3}\right) \cdot \delta^2}, \quad k_{\alpha} \equiv t_{\alpha}(\infty)$$

где  $\delta$  – величина погрешности прибора.

12. Окончательный результат записывается в виде

$$a = \bar{a} \pm \Delta a.$$

13. Оценивается относительная погрешность результата серии измерений:

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{\bar{a}} \cdot 100\%.$$

В данном случае

$$\Delta a = t_{\alpha}(n) \cdot \Delta S_{\bar{a}},$$

$$\Delta S_{\bar{a}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (a_i - \bar{a})^2},$$

$t_{\alpha}(n)$  - коэффициент Стьюдента для заданной надежности измерений  $\alpha$ .

14. Приводится графическая интерпретация оценки точности измеряемого размера.

## 5. Содержание отчета

1. Титульный лист отчета по лабораторной работе.
2. Основные аналитические зависимости теории статистической обработки результатов прямых измерений.
3. Цель выполнения работы.
4. Задание на выполнение работы.
5. Чертеж измеряемой детали с указанием контролируемой поверхности.
6. Таблица промежуточных вычислений измеряемых параметров.
7. Промежуточные вычисления, принятые значения коэффициентов.
8. Результаты вычислений при различной надежности измерений.
9. Краткие выводы о точности измерений при различной надежности с выводом графической интерпретации оценки точности измеряемого размера.

## ТЕРМИНОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ

*Баз комплект* – совокупность двух или трех баз, образующих систему координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента.

*База* – элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), определяющий одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск расположения или определяется отклонение расположения рассматриваемого элемента.

*Бочкообразность* – частный вид отклонений от профиля продольного сечения, если образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения.

*Верхнее отклонение* – это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами.

*Взаимозаменяемость* называется свойство одних и тех же деталей, узлов или агрегатов машин и т.д., позволяющее устанавливать детали (узлы, агрегаты) в процессе сборки или заменять их без предварительной подгонки при сохранении всех требований, предъявляемых к работе узла, агрегата и конструкции в целом.

*Взаимозаменяемость внешняя* – это взаимозаменяемость готовых изделий и агрегатов, устанавливаемых в другие более сложные машины (по основным и присоединительным размерам, выходным эксплуатационным характеристикам и параметрам и т.п.).

*Взаимозаменяемость внутренняя* – это взаимозаменяемость отдельных деталей и механизмов, входящих в изделие или узел. Например, в подшипнике качения внутренней групповой взаимозаменяемостью обладают кольца и тела качения (ролики, шарики).

*Взаимозаменяемость неполная (ограниченная)*, при которой изготавливаемые детали до сборки сортируют по размерам на ряд групп, а затем при сборке машин используют не любые детали данного номера и наименования, а только определенной группы.

*Взаимозаменяемость полная*, когда требуемые эксплуатационные свойства, в частности точность, сохраняются у всех деталей и любая деталь из партии может быть поставлена на соответствующее место в машине без подгонки.

*Глубиномер микрометрический (ГМ)*. Верхний предел измерений микрометрического глубиномера (ГОСТ 7470-78) 100 и 150 мм устанавливается с помощью сменных измерительных стержней.

*Головки измерительные* – съемные отсчетные устройства, предназначенные для оснащения приборов и контрольно-измерительных приспособлений.

*Допуск* – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или абсолютная величина алгебраической разности между верхним и нижним отклонениями.

*Единица допуска* – это множитель в формулах (уравнениях) допусков системы, являющийся функцией номинального размера. Начиная с качества 5, допуск равен произведению единицы допуска  $i$  на безразмерный коэффициент, установленный для данного качества и не зависящий от номинального размера  $i = 0,45\sqrt[3]{D + 0,001D}$ .

*Единство измерений* – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы.

*Зависимым* называется *допуск расположения*, величина которого зависит не только от заданного предельного отклонения расположения, но и от действительных отклонений размеров рассматриваемых поверхностей.

*Зазором* называется разность размеров отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала:  $S = D - d$ .

*Заявление-декларация* содержит следующие сведения: адрес изготовителя, представляющего заявление-декларацию, обозначение изделия и дополнительную информацию о нем; наименование, номер и дату публикации стандарта, на который ссылается изготовитель; указание о личной ответственности изготовителя за содержание заявления и др.

*Измерением* называют совокупность операций, выполняемых с помощью технического средства, хранящего единицу величины и позволяющего сопоставить с нею измеряемую величину.

*Измерения абсолютные* – такие, при которых используются прямое измерение одной (иногда нескольких) основной величины и физическая константа.

*Измерения динамические* связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения.

*Измерения косвенные* отличаются от прямых тем, что искомое значение величины устанавливается по результатам прямых измерений таких величин, которые связаны с искомой определенной зависимостью.

*Измерения многократные* характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин.

*Измерения однократные* – это одно измерение одной величины, т.е. число измерений равно числу измеряемых величин.

*Измерения относительные* базируются на установлении отношения измеряемой величины к однородной, применяемой в качестве единицы.

*Измерения прямые* – это непосредственное сравнение физической величины с ее мерой.

*Измерения совместные* – это измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

*Измерения совокупные* – сопряжены с решением системы уравнений, составляемых по результатам одновременных измерений нескольких однородных величин.

*Измерения статистические* – связаны с определением характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т.д.

*Квалитет* (степень точности) – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности для всех номинальных размеров.

*Конусообразность* – частный вид отклонений от профиля продольного сечения, если образующие прямолинейны, но не параллельны.

*Конусообразность* определяют по диаметрам изделия, измеренным по краям продольного сечения, а *бочкообразность* и *седлообразность* – по краям и в середине. Изогнутость измеряют при вращении детали на двух опорах под наконечником индикатора.

*Мерой* называют средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера.

*Меры длины плоскопараллельные концевые* имеют форму прямоугольного параллелепипеда (плитки) с двумя параллельными измерительными поверхностями, расстояние между которыми равно номинальному значению длины меры  $L$ .

*Меры угловые призматические* являются наиболее точным средством измерения углов в машиностроении. Они предназначены для передачи размера единицы плоского угла от эталонов образцовым и рабочим угловым мерам и приборам, для поверки и градуировки мер и приборов и для измерения углов изделий.

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

*Метрология законодательная* – это раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений.

*Микрометрические головки* (МГ) с диапазоном измерений 0...25 мм.

*Микрометры гладкие* (типа МК) предназначены для наружных измерений. Цена деления шкалы 0,01 мм. Измерительное перемещение микрометрического винта 25 мм. Верхний предел измерений 600 мм.

*Микрометры для измерения проволоки* (МП) с диапазоном измерений 0...10 мм.

*Микрометры зубомерные* (МЗ) с диапазонами измерений: 0...25; 25...50; 50...75; 75...100 мм. Погрешность измерения  $\pm 5$  мкм.

*Микрометры листовые* с циферблатом (МЛ) предназначены для измерений толщины листового материала, для чего имеют удлиненную скобу. Диапазон измерений: 0...5, 0...10 и 0...25 мм.

*Микрометры трубные* (МТ) с плоской измерительной поверхностью микровинта и сферической пятки. Диапазон измерений 0...25 мм. Предназначены для измерения толщины стенок труб (при внутреннем диаметре трубы не менее 12 мм).

*Микротвердость* – это твердость отдельных зерен, физических и структурных составляющих материала.

*Наборы и магазины* представляют собой объединение (сочетание) однозначных или многозначных мер для получения возможности воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных значений величины.

*Надзор за соответствием* – это повторная оценка с целью убедиться в том, что продукция (процесс, услуга) продолжает соответствовать установленным требованиям.

*Натягом* называется разность размеров вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия  $N = d - D$ .

*Нижнее отклонение* – это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

*Номинальным размером посадки* называется номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение.

*Нулевая линия* – это линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении допусков и посадок.

*Обеспечение соответствия* – это процедура, результатом которой является заявление, дающее уверенность в том, что продукция (процесс, услуга) соответствуют заданным требованиям.

*Ось общая* – это прямая, относительно которой наибольшее отклонение осей нескольких рассматриваемых поверхностей вращения в пределах длины этих поверхностей имеет минимальное значение.

*Отклонение* – это алгебраическая разность между размером (действительным, предельным и т.д.) и соответствующим номинальным размером.

*Отклонение действительное* – это алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

*Отклонение от круглости* – наибольшее расстояние  $\Delta$  от точки реального профиля. Частными видами отклонения от круглости являются *овальность*, когда профиль представляет собой фигуру, у которой наибольший и наименьший диаметры взаимно перпендикулярны, и *огранка*, когда профиль представляет собой многогранную фигуру.

*Параметр* – это независимая или взаимосвязанная величина, характеризующая какое-либо изделие или явление (процесс) в целом или их отдельные свойства.

*Плоскость прилегающая и прямая прилегающая* – плоскость или прямая, соприкасающаяся с реальной поверхностью или профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки соответственно реальной поверхности или профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

*Погрешность меры* – разность между номинальным и действительным значениями.

*Погрешностью* называют отклонение результата измерений от действительного (истинного) значения измеряемой величины.

*Показатели шероховатости:*

*Ra* – среднее арифметическое отклонение профиля;

*Rz* – высота неровностей профиля по десяти точкам;

*Rmax* – наибольшая высота неровностей профиля;

*Sm* – средний шаг неровностей;

*S* – средний шаг местных выступов;

*tr* – относительная опорная длина профиля.

*Поле допуска* – это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями. Поле допуска определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера.

*Положение описательное* – содержит описание конструкции, деталей конструкции, состава исходных материалов, размеров деталей и частей изделия (конструкции).

*Положения методические* – это методика, способ осуществления процесса, той или иной операции и т.п., с помощью чего можно достигнуть соответствия требованиям нормативного документа.

*Посадка с зазором* – это посадка, при которой обеспечивается зазор в соединении (поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала).

*Посадка с натягом* – это посадка, при которой обеспечивается натяг в соединении.

*Посадки в системе вала* – это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом. У основного вала верхнее отклонение равно нулю, или наибольший предельный размер совпадает с номинальным размером соединения.

*Посадки в системе отверстия* – это посадки, в которых различные зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием. У основного отверстия нижнее отклонение равно нулю или наименьший предельный размер его совпадает с номинальным размером соединения.

*Правила по стандартизации (ПР) и рекомендации по стандартизации (Р)* по своему характеру соответствуют нормативным документам методического содержания.

*Предельное отклонение* – это алгебраическая разность между предельным и номинальным размерами.

*Преобразователь измерительный* – это средство измерений, которое служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки или хранения, а также передачи в показывающее устройство.

*Приборы измерительные* – это средства измерений, которые позволяют получать измерительную информацию в форме, удобной для восприятия пользователем.

*Приборы сравнения* предназначаются для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны.

*Приборы щуповые* делятся на профилометры, показывающие отдельные параметры шероховатости, как правило  $Ra$ , и профилографы, записывающие профиль поверхности. По профилограмме определяются все параметры шероховатости.

*Принадлежности измерительные* – это вспомогательные средства измерений величин.

*Притираемость концевых мер* – это свойство измерительных поверхностей мер прочно сцепляться между собой или с плоскими стеклянными пластинами при накладывании одной меры на другую или меры на пластину.

*Проверка соответствия* – подтверждение соответствия продукции (процесса, услуги) установленным требованиям посредством изучения доказательств.

*Профиль* – это линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью.

*Размер* – это числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т.д.) в выбранных единицах измерения (в машиностроении, как правило, в миллиметрах).

*Размер действительный* – это размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

*Размер линейный* – значение, измеряемое в единицах длины в первой степени, например, мкм, мм, см, м, км.

*Размер номинальный* – это размер, относительно которого определяются предельные размеры и который служит также началом отсчета отклонений.

*Размеры предельные* – это два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер.

*Регламент* – это документ, в котором содержатся обязательные правовые нормы.

*Свод правил*, как и предыдущий нормативный документ, может быть самостоятельным стандартом либо самостоятельным документом, а также частью стандарта. Свод правил обычно разрабатывается для процессов проектирования, монтажа оборудования и конструкций, технического обслуживания или эксплуатации объектов, конструкций, изделий.

*Седлообразность* – частный вид отклонений от профиля продольного сечения, если образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине.

*Сертификат соответствия* – *сертификация* в переводе с латыни означает «сделано верно». Общепризнанным способом такого доказательства служит *сертификация соответствия*.

*Сертификат соответствия* – это документ, изданный по правилам системы сертификации, сообщающий, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что должным образом идентифицированная продукция (процесс, услуга) соответствует конкретному стандарту или другому нормативному документу.

*Сертификации система* – комплекс мероприятий, согласно которым проводится процедура сертификации. Система сертификации включает

в себя центральный орган, который управляет системой, проводит надзор за ее деятельностью и может передавать право на проведение сертификации другим органам; правила и порядок проведения сертификации; нормативные документы, на соответствие которым осуществляется сертификация; процедуры (схемы) сертификации; порядок инспекционного контроля.

*Сертификация добровольная* проводится по инициативе юридических или физических лиц на договорных условиях между заявителем и органом по сертификации в системах добровольной сертификации.

*Сертификация обязательная* осуществляется на основании законов и законодательных положений и обеспечивает доказательство соответствия товара (процесса, услуги) требованиям технических регламентов, обязательным требованиям стандартов.

*Симметрии общая плоскость* – это плоскость, относительно которой наибольшее отклонение плоскостей симметрии нескольких рассматриваемых элементов в пределах длины этих элементов имеет минимальное значение.

*Система единиц СИ:*

- *единица длины – метр* – длина пути, которую проходит свет в вакууме за  $1/299792458$  долю секунды;

- *единица массы – килограмм* – масса, равная массе международного прототипа килограмма;

- *единица времени – секунда* – продолжительность 9192631770 периодов излучения, которое соответствует переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;

- *единица силы электрического тока – ампер* – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создал бы между этими проводниками силу, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на каждый метр длины;

- *единица термодинамической температуры – кельвин* –  $1/273,16$  часть термодинамической температуры тройной точки воды. Допускается также применение шкалы Цельсия; до 1967 г. единица именовалась градус Кельвина;

- *единица количества вещества – моль* – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода-12 массой 0,012 кг;

- *единица силы света – кандела* – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой  $540 \cdot 10^{12}$  Гц,

энергетическая сила которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср (ватт на стерадиан – единица (производная) энергетической силы света; стерадиан (ср) единица измерения телесного (пространственного угла).

*Система единиц физических величин СГС*, основными единицами которой были *сантиметр* – единица длины, *грамм* – единица массы, *секунда* – единица времени. Производными единицами системы считались единица силы – *килограмм-сила*, и единица работы – *эрг*.

*Система единиц*, получившая название МКСА. Основные единицы этой системы: *метр*, *килограмм*, *секунда*, *ампер*, а производные: единица силы – *ньютон*, единица энергии – *джоуль*, единица мощности – *ватт*.

*Система метрическая*, где за основную единицу длины был принят *метр*, за единицу веса – *грамм* (позже *килограмм*) – вес 1 см<sup>3</sup> химически чистой воды при температуре около +4°C.

*Системой единиц физических величин* называется совокупность основных и производных единиц.

*Соответствия знак* – это защищенный в установленном порядке знак, применяемый (или выданный органом по сертификации) в соответствии с правилами системы сертификации, указывающий, что обеспечивается необходимая уверенность в том, что данная продукция (процесс, услуга) соответствует конкретному стандарту или другому нормативному документу.

*Средства измерений рабочие* – применяют для определения параметров (характеристик) технических устройств, технологических процессов, окружающей среды и др.

*Стандарт* – это нормативный документ, разработанный на основе консенсуса, утвержденный признанным органом, направленный на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области.

*Стандарт на методы испытаний* устанавливает методики, правила, процедуры различных испытаний и сопряженных с ними действий (например, отбор пробы или образца).

*Стандарт на совместимость* устанавливает требования, касающиеся совместимости продукта в целом, а также его отдельных частей (деталей, узлов).

*Стандарт основополагающий* – нормативный документ, который содержит общие или руководящие положения для определенной области.

*Стандарт предварительный* – это временный документ, который принимается органом по стандартизации и доводится до широкого круга потенциальных потребителей, а также тех, кто может его применить.

*Стандарт с открытыми значениями.* В некоторых ситуациях ту или иную норму (или количественное значение того или иного требования) определяют изготовители (поставщики), в других – потребители.

*Стандарт терминологический,* в котором объектом стандартизации являются термины.

*Стандарт технических условий* устанавливает всесторонние требования к конкретной продукции (в том числе различных марок или моделей этой продукции), касающиеся производства, потребления, поставки, эксплуатации, ремонта, утилизации.

*Стандартизация* – это деятельность, направленная на разработку и установление требований, норм, правил, характеристик как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых, обеспечивающая право потребителя на приобретение товаров надлежащего качества за приемлемую цену, а также право на безопасность и комфортность труда.

*Стандартизация административно-территориальная* – стандартизация, которая проводится в административно-территориальной единице.

*Стандартизация национальная* – стандартизация в одном конкретном государстве. При этом национальная стандартизация также может осуществляться на разных уровнях: на государственном, отраслевом уровне, в том или ином секторе экономики (например, на уровне министерств), на уровне ассоциаций, производственных фирм, предприятий (фабрик, заводов) и учреждений.

*Стандартизация региональная* – деятельность, открытая только для соответствующих органов государств одного географического, политического или экономического региона мира.

*Стандарты общественных объединений* (научно-технических обществ, инженерных обществ и др.). Эти нормативные документы разрабатывают, как правило, на принципиально новые виды продукции, процессов или услуг; передовые методы испытаний, а также нетрадиционные технологии и принципы управления производством.

*Стандарты основополагающие* разрабатывают с целью содействия взаимопониманию, техническому единству и взаимосвязи деятельности в различных областях науки, техники и производства.

*Стандарты отраслевые* разрабатываются применительно к продукции определенной отрасли.

*Стандарты предприятий* разрабатываются и принимаются самим предприятием. Объектами стандартизации в этом случае обычно являются

составляющие организации и управления производством, совершенствование которых – главная цель стандартизации на данном уровне.

*Твердость* – сопротивление материала внедрению в его поверхность стандартного наконечника, который представляет собой твердое малодеформирующееся тело (алмаз, твердый сплав, закаленная сталь) определенной формы (шар, конус, пирамида, игла) и размеров.

*Технические условия* устанавливают технические требования к продукции, услуге, процессу. Обычно в документе технических условий должны быть указаны методы или процедуры, которые следует использовать для проверки соблюдения требований данного нормативного документа в таких ситуациях, когда это необходимо.

*Технические условия (ТУ)* разрабатывают предприятия и другие субъекты хозяйственной деятельности в том случае, когда стандарт создавать нецелесообразно. Объектом ТУ может быть продукция разовой поставки, выпускаемая малыми партиями, а также произведения художественных промыслов и т.п.

*Точностью* называется степень приближения действительных параметров, измеренных с допустимой погрешностью, к идеальным (заданным по чертежу).

*Установки и системы измерительные* – это совокупность средств измерений, объединенных по функциональному признаку со вспомогательными устройствами, для измерения одной или нескольких физических величин объекта измерений.

*Участок нормируемый* – это участок поверхности или линии, к которому относится допуск или отклонение формы или расположение элемента.

*Физической величиной* называют одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов, отличаясь при этом количественным значением.

*Шероховатость поверхности* – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная на базовой длине  $L$ .

*Шкала измерений* – это упорядоченная совокупность значений физической величины, которая служит основой для ее измерения.

*Шкала интервалов* (разностей) имеет условные нулевые значения, а интервалы устанавливаются по согласованию.

*Шкала наименований* – это своего рода качественная, а не количественная шкала, она не содержит нуля и единиц измерений.

*Шкала отношений* имеет естественное нулевое значение, а единица измерений устанавливается по согласованию.

*Шкала порядка* характеризует значение измеряемой величины в баллах (шкала землетрясений, силы ветра, твердости физических тел и т.п.).

*Штангенглубиномер (ШГ)* с величиной отсчета по нониусу 0,05 мм и пределами измерений 0...250 мм. Выпускаются также с величиной отсчета 0,1 мм и пределами измерений до 500 мм. Применяется при измерении глубин в отверстиях и пазах небольших размеров.

*Штангенрейсмас (ШР)* с величиной отсчета по нониусу 0,05 и 0,1 мм; предназначен для измерения высот и разметочных работ.

*Штангенциркули* выпускают следующих типов:

*ШЦ-I* – двусторонние с глубиномером;

*ШЦТ-I* – односторонние с глубиномером и покрытием из твердого сплава (для наружных измерений) с пределами измерений 0...125 мм со значением нониуса 0,1 мм;

*ШЦ-II* – двусторонние;

*ШЦ-III* – односторонние с пределами измерений: 0...160, 0...200, 0...250 мм со значением отсчета по нониусу 0,05 и 0,1 мм.

*Элемент* – под элементом понимается поверхность (часть поверхности, плоскость симметрии нескольких поверхностей), профиль поверхности, линия пересечения двух поверхностей, ось поверхности или сечения (точка пересечения линии, линии и поверхности, центр окружности или сфера).

*Эталон* – это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим средствам измерений.

*Эталон первичный* – это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений

*Эталоны вторичные* могут утверждаться либо Госстандартом, либо государственными научными метрологическими центрами, что связано с особенностями их использования.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

### **Лекция № 1**

1. Сформулировать понятие «качество продукции».
2. Назвать и охарактеризовать отдельные показатели уровня качества изделия.
3. Дать определение детали и ее элементов.
4. Сформулируйте отличия сопрягаемых и несопрягаемых поверхностей.
5. Сформулируйте понятие «точность размера».
6. Дать понятие погрешности некоторой величины.
7. Назвать и охарактеризовать классификационные признаки точности геометрических параметров деталей.
8. Назвать и охарактеризовать причины появления геометрических погрешностей изготовления деталей.
9. Сформулировать понятие взаимозаменяемости и охарактеризовать его.
10. Назвать и охарактеризовать виды взаимозаменяемости.
11. Сформулировать понятие стандартизации и охарактеризовать его.
12. Дать понятие унификации.

### **Лекция № 2**

1. Дать понятие сопрягаемых и несопрягаемых поверхностей детали.
2. Дать понятие номинального и действительного размеров детали.
3. Сформулировать понятие и обозначение предельных размеров валов и отверстий.
4. Сформулировать понятие и обозначение предельных отклонений размеров.
5. Дать понятие допуска размера и правила его представления в технической документации.
6. Дать понятие качества точности и его количества, регламентированного ГОСТ 25346-89.
7. Сформулировать понятие поля допуска и его условное изображение в технологических расчетах.
8. Дать понятие посадки, их видов и формы графического представления.
9. Дать понятие и расчетную формулу для определения величины гарантированного зазора в посадке.

10. Дать понятие и расчетную формулу для определения величины гарантированного натяга в посадке.
11. Дать понятие основного вала и основного отверстия.
12. Сформировать знания получения посадок в системе вала и системе отверстия.

### **Лекция № 3**

1. Сформулировать расшифровку аббревиатуры ЕСДП.
2. Дать понятие особенностям методики расчета допусков.
3. Сформировать представление об обозначении в ЕСДП основных отклонений отверстий и валов.
4. Сформировать представление об обозначении в ЕСДП полей допусков.
5. Охарактеризовать рекомендации и сформулировать представления по выбору качества точности.
6. Дать понятие и определения посадок в системе отверстия и системе вала, их графическую интерпретацию.
7. Сформировать понятие о форме записи соединения с посадкой на чертеже узла.
8. Назвать и охарактеризовать различные предпочтительные посадки с зазором (скольжения, движения, ходовую, легкоходовую, широкоходовую).
9. Назвать и охарактеризовать различные предпочтительные переходные посадки (плотная, напряженная тугая, глухая).
10. Назвать и охарактеризовать различные предпочтительные посадки с натягом (легкопрессовая, прессовая).

### **Лекция № 4**

1. Дать понятие прилегающей плоскости, прилегающей окружности и прилегающей прямой.
2. Дать понятие нормируемого участка детали.
3. Назвать и дать графическое изображение на чертеже допусков размеров из группы допусков формы.
4. Назвать и дать графическое изображение на чертеже допусков размеров из группы допусков расположения.
5. Назвать и дать графическое изображение на чертеже допусков размеров из группы суммарных допусков формы и расположения.

6. Охарактеризовать методику определения фактической величины отклонения формы в осевом и радиальном направлениях.
7. Дать понятие вида указания допусков формы и расположения на чертеже.
8. Дать понятие зависимых и независимых допусков.
9. Дать определение шероховатости поверхности.
10. Дать определения и форму записи основных параметров шероховатости, связанных с высотными свойствами поверхности.
11. Дать определения и форму записи основных параметров шероховатости, связанных со свойствами неровностей в направлении длины профиля.
12. Дать определения и форму записи основных параметров шероховатости, связанных с формой неровностей профиля.
13. Раскрыть структуру обозначения шероховатости поверхности.

#### **Лекция № 5**

1. Назвать классы точности подшипников качения.
2. Дать формулировку, что определяют классы точности.
3. Назвать составляющие элементы, входящие в условное обозначение подшипников.
4. Дать определения цифр и букв, входящих в условное обозначение подшипников качения.
5. Дать характеристику и привести примеры конструкции радиальных подшипников качения.
6. Дать характеристику и привести примеры конструкции радиально-упорных подшипников качения.
7. Дать характеристику и привести примеры конструкции упорных подшипников качения.
8. Описать возможные способы крепления подшипников качения на валах.
9. Описать возможные способы крепления подшипников качения в корпусах.
10. Дать понятие назначения полей допусков вала и отверстия в корпусе при установке подшипников качения.
11. Описать влияние класса точности и типа подшипника на выбор посадок.
12. Описать влияние вида нагружения колец подшипника на выбор посадок.

## **Лекция № 6**

1. Охарактеризовать соединения призматическими шпонками по ГОСТ 23360-78.
2. Охарактеризовать соединения сегментными шпонками по ГОСТ 24071-97.
3. Сформулировать знания полей допусков по ширине шпонок.
4. Сформулировать знания предельных отклонений на глубину пазов шпонок.
5. Изобразить простановку посадок шпоночного соединения.
6. Охарактеризовать прямобочные шлицевые соединения по ГОСТ 1139-80.
7. Охарактеризовать соединения с эвольвентными шлицами по ГОСТ 6033-80.
8. Сформулировать и охарактеризовать способы центрирования шлицевых соединений.
9. Привести и раскрыть структуру условных обозначений прямобочных и эвольвентных шлицевых соединений.
10. Привести примеры посадок шлицевых соединений.

## **Лекция № 7**

1. Назовите количество рядов нормальных углов.
2. Дать понятие базорасстояния конуса.
3. Какими символами обозначаются: диаметры поперечных сечений конусов большого основания, диаметры поперечных сечений конусов малого основания, диаметры поперечных сечений конусов заданного сечения, длина конусов, длина соединения?
4. Дать трактовку формулы расчета величины уклона.
5. Дать трактовку формулы расчета величины конусности.
6. Охарактеризовать основные области применения соединений с различной конусностью.
7. Дать понятие степеней точности для угловых размеров и конических элементов.
8. Сформировать знание форм написания допуска угловых размеров и конических элементов.
9. Описать особенности формы написания допуска угла, выраженного в угловых единицах.
10. Описать особенности формы написания допуск угла, выраженного отрезком на перпендикуляре к номинальному положению короткой стороны угла.

11. Описать особенности формы написания допуска угла конуса, выраженного допуском на разность диаметров в двух нормальных к оси сечениях конуса на заданном расстоянии между ними.
12. Объяснить за счет чего может быть достигнут характер соединения пары конус – втулка.
13. Охарактеризовать основные методы контроля конических соединений.

### **Лекция № 8**

1. Дать понятие о резьбах и принципах их классификации.
2. Дать понятие обозначения основных элементов метрических резьб.
3. Сформулировать понятие предельных контуров резьб и проиллюстрировать схему расположения полей допусков резьб.
4. Дать понятие методике расчета значения полей допусков метрических резьб.
5. Дать понятие об основных параметрах, обеспечивающих взаимозаменяемость резьбовых соединений.
6. Дать понятие системы допусков и посадок метрических резьб.
7. Дать понятие степени точности, поля допуска резьбы и их графическую интерпретацию.
8. Дать понятие обозначения резьбы на чертежах.
9. Сформулировать общие требования к средствам и методам контроля резьб.
10. Дать понятие об основных конструктивных исполнениях средств контроля резьб.

### **Лекция № 9**

1. Дать определения элементов зубчатого колеса.
2. Дать классификацию зубчатых передач.
3. Назвать и охарактеризовать основные методы нарезания зубьев.
4. Дать понятия эвольвенты и ее свойств.
5. Дать понятие эвольвентного зацепления.
6. Дать определение модуля зацепления.
7. Привести расчетные формулы основных геометрических параметров цилиндрических зубчатых колес.
8. Сформулировать рекомендации по выбору модуля зубчатых передач редукторного типа.
9. Сформулировать рекомендации по выбору степени точности изготовления зубчатых колес.

10. Раскрыть понятие «подрезание зубьев».
11. Дать понятие норм кинематической точности зубчатых колес.
12. Дать понятие норм плавности зубчатых колес.
13. Дать понятие норм контакта зубьев.
14. Дать понятие о боковом зазоре, видах сопряжений и допусков.
15. Привести и охарактеризовать классы точности отклонений межосевого расстояния.
16. Раскрыть особенности геометрических параметров конических зубчатых колес.
17. Привести виды сопряжений и допусков на боковой зазор конических и гипоидных передач.
18. Привести основные геометрические параметры червяка.
19. Привести основные геометрические параметры червячного колеса.
20. Дать понятие коэффициента смещения режущего инструмента.
21. Привести виды сопряжений и допусков на боковой зазор червячных передач.
22. Дать понятия о методах и средствах контроля параметров зубчатых колес и передач.
23. Дать условное обозначение точности зубчатых колес на чертежах.

### **Лекция № 10**

1. Дать понятие о допусках деталей из пластмасс по ГОСТ 25349-88.
2. Привести примеры рекомендуемых посадок пластмассовых деталей в системе отверстия.
3. Привести примеры рекомендуемых посадок пластмассовых деталей в системе вала.

### **Лекция № 11**

1. Раскрыть особенности метрологии как науки об измерениях.
2. Охарактеризовать составляющие части метрологии.
3. Дать определение физической величины.
4. Дать определение понятия измерения.
5. Дать определение понятия погрешности измерения.
6. Охарактеризовать виды измерений.
7. Что называют системой единиц физических величин.
8. Описать отличительные особенности абсолютных и производных физических единиц.
9. Охарактеризуйте виды погрешностей измерений.

10. Раскрыть сущность международной системы единиц СИ.
11. Охарактеризуйте универсальные измерительные средства контроля линейных и угловых размеров.

### **Лекция № 12**

1. Дать понятие размерной цепи.
2. Охарактеризовать виды размерных цепей.
3. Дать понятие увеличивающих и уменьшающих размеров.
4. Объяснить особенности построения и уровень решаемых задач конструкторскими и технологическими размерными цепями.
5. Раскрыть особенности методов достижения точности замыкающего звена (прямая и обратная задачи).
6. Объяснить принцип реализации метода полной взаимозаменяемости.
7. Объяснить принцип реализации метода неполной взаимозаменяемости.
8. Объяснить принцип реализации метода групповой взаимозаменяемости.
9. Объяснить принцип реализации методов пригонки и регулировки.
10. Описать сущность методов решения размерных цепей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Саранча, Г.А. Стандартизация, взаимозаменяемость и технические измерения / Г.А. Саранча. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 444 с.
2. Завистовский, В.Э. Техническая механика: детали машин / В.Э. Завистовский. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 2010. – 350 с.
3. Зайцев, С.А. Допуски и посадки / С.А. Зайцев, А.Д. Куранов, А.Н. Толстов. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 64 с.
4. Марков, Н.Н. Нормирование точности в машиностроении / Н.Н. Марков, В.В. Осипов, М.Б. Шабалина.- М.: Высш. шк.; ИЦ «Академия», 2001. – 335 с.
5. Марков, Н.Н. Взаимозаменяемость и технические измерения / Н.Н. Марков. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 288 с.
6. Зайцев, С.А. Допуски и посадки / С.А. Зайцев. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 64 с.
7. Марков, А.Л. Измерение зубчатых колес / А.Л. Марков. – Л.: Машиностроение, 1977. – 280 с.
8. Справочник контролера машиностроительного завода. Допуски, посадки, линейные измерения / А.Н. Виноградов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1980. – 527 с.
9. Справочник конструктора-приборостроителя. Проектирование. Основные нормы / В.Л. Соломахо [и др.].- Минск: Выш. шк., 1988. – 272 с.
10. Соломахо, В.Л. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / В.Л. Соломахо, Б.В. Цитович. – Минск: Дизайн ПРО, 2004. – 296 с.; ил.
11. Нормирование точности и технические измерения: учеб.-метод. комплекс для студентов специальности 1-02 06 02 «Технология» / сост. и общ. ред. С.Э. Завистовского. – Новополоцк: ПГУ, 2004. – 228 с.

Приложение 1

Поля допусков валов

Интервал размеров, мм	<i>f</i> 6	<i>g</i> 6	<i>h</i> 6	<i>is</i> 6	<i>k</i> 6	<i>m</i> 6	<i>n</i> 6	<i>p</i> 6	<i>r</i> 6	<i>s</i> 6	<i>t</i> 6	<i>e</i> 7	<i>f</i> 7	<i>h</i> 7	<i>is</i> 7	<i>k</i> 7	<i>m</i> 7	<i>n</i> 7	<i>s</i> 7	<i>u</i> 7
1 – 3	-6 -12	-2 -8	0 -6	+3 -3	+6 0	+8 +2	+10 +4	+12 +6	+16 +10	+20 +14	- -	-14 -24	-6 -16	0 -10	+5 -5	+10 0	- -	+14 +4	+24 +14	+28 +18
3 – 6	-10 -18	-4 -12	0 -8	+4 -4	+9 +1	+12 +4	+16 +8	+20 +12	+23 +15	+27 +19	- -	-20 -32	-10 -22	0 -12	+6 -6	+13 +1	+16 +4	+20 +8	+31 +19	+35 +23
6 – 10	-13 -22	-5 -14	0 -9	+4,5 -4,5	+10 +1	+15 +6	+19 +10	+24 +15	+28 +19	+32 +23	- -	-25 -40	-13 -28	0 -15	+7 -7	+16 +1	+21 +6	+25 +10	+38 +23	+43 +28
10 – 14	-16	-6	0	+5,5	+12	+18	+23	+29	+34	+39	-	-32	-16	0	+9	+19	+25	+30	+46	+51
14 – 18	-27	-17	-11	-5,5	+1	+7	+12	+18	+23	+28	-	-50	-34	-18	-9	+1	+7	+12	+28	+33
18 – 24	-20	-7	0	+6,5	+15	+21	+28	+35	+41	+48	+54	-40	-20	0	+1	+23	+29	+26	+56	+62
	-33	-20	-13	-6,5	+2	+8	+15	+22	+28	+35	+64	-61	-41	-21	-10	+2	+8	+15	+35	+41
24 – 30											+48									+69
																				+48
30 – 40	-25	-9	0	+8	+18	+25	+33	+42	+50	+59	+70	-50	-25	0	+1	+27	+34	+42	+68	+85
	-41	-25	-16	-8	+2	+9	+17	+26	+34	+43	+85	-75	-50	-25	-12	+2	+9	+17	+43	+60
40 – 50											+66									+95
																				+70
50 – 65	-30	-10	0	+9,5	+21	+30	+39	+51	+60	+72	+94	-60	-30	0	+1	+32	+41	+50	+83	+117
	-49	-29	-19	-9,5	+2	+11	+20	+32	+62	+78	+113	-90	-60	-30	5	+2	+11	+20	+53	+87
65 – 80											+91				-15				+89	+132
																			+59	+102
80 – 100	-36	-12	0	+11	+25	+35	+45	+59	+73	+93	+126	-72	-36	0	+1	+38	+48	+58	+106	+159
	-49	-34	-22	-11	+3	+13	+23	+37	+76	+101	+147	-107	-71	-35	7	+3	+13	+23	+71	+124
100 – 120											+122				-17				+114	+179
																			+79	+144

Интервал размеров, мм	c8	d8	e8	f8	h8	is8	u8	x8	z8	d9	e9	f9	h9	is9	d10	h10	is10
1 – 3	-60	-20	-14	-6	0	+7	+32	+34	+40	-20	-14	-6	0	+12	-20	0	+20
	-74	-34	-28	-20	-14	-7	+18	+20	+26	-45	-39	-31	-25	-12	-60	-40	-20
3 – 6	-70	-30	-20	-10	0	+9	+41	+46	+53	-30	-20	-10	0	+15	-30	0	+24
	-88	-48	-38	-28	-18	-9	+23	+28	+35	-60	-50	-40	-30	-15	-78	-48	-24
6 – 10	-80	-40	-25	-13	0	+11	+50	+56	+64	-40	-25	-13	0	+18	-40	0	+29
	-102	-62	-47	-35	-22	-11	+28	+34	+42	-76	-61	-49	-36	-18	-98	-58	-29
10 – 14	-95	-50	-32	-16	0	+13	+60	+40	+50	-50	-32	-16	0	+21	-50	0	+35
	-122	-77	-59	-43	-27	-13	+33	+72	+87	-93	-75	-59	-43	-21	-120	-70	-35
14 – 18								+45	+60								
								+67	+77								
18 – 24	-110	-65	-40	-20	0	+16	+74	+87	+106	-65	-40	-20	0	+26	-65	0	+42
	-143	-98	-73	-53	-33	-16	+41	+54	+73	-117	-92	-72	-52	-26	-149	-84	-42
24 – 30								+97	+121								
								+64	+88								
30 – 40	-120	-80	-50	-25	0	+19	+99	+119	+151	-80	-50	-25	0	+31	-80	0	+50
	-159	-119	-89	-64	-39	-19	+60	+80	+112	-142	-112	-87	-62	-31	-180	-100	-50
40 – 50	-130						+109	+136	+175								
	-169						+70	+97	+136								
50 – 65	-140	-100	-60	-30	0	+23	+133	+168	+218	-100	-60	-30	0	+37	-100	0	+60
	-186	-146	-106	-76	-46	-23	+87	+122	+172	-174	-134	-104	-74	-37	-220	-120	-60
65 – 80	-150						+148	+192	+256								
	-196						+102	+146	+210								
80 – 100	-170	-120	-72	-36	0	+27	+178	+232	+312	-120	-72	-36	0	+43	-120	0	+70
	-224	-174	-126	-90	-54	-27	+124	+178	+258	-207	-159	-123	-87	-43	-260	-140	-70
100 – 120	-180						+198	+264	+364								
	-234						+144	+210	+310								

Интервал размеров, мм	a11	b11	c11	d11	h11	is11	b12	h12	is12	h13	h14	h15	h16	h17
1 – 3	-270	-140	-60	-20	0	+30	-140	0	+50	0	0	0	0	0
	-330	-200	-120	-80	-60	-30	-240	-100	-50	-140	-250	-400	-600	-1000
3 – 6	-270	-140	-70	-30	0	+37	-140	0	+60	0	0	0	0	0
	-345	-215	-145	-105	-75	-37	-260	-120	-60	-180	-300	-480	-750	-1200
6 – 10	-280	-150	-80	-40	0	+45	-150	0	+75	0	0	0	0	0
	-370	-240	-170	-130	-90	-45	-300	-150	-75	-220	-360	-580	-900	-1500
10 – 14	-290	-150	-95	-50	0	+55	-150	0	+90	0	0	0	0	0
	-400	-260	-205	-160	-110	-55	-330	-180	-90	-270	-430	-700	-1100	-1800
14 – 18	-300	-160	-110	-65	0	+65	-160	0	+105	0	0	0	0	0
	-430	-290	-240	-195	-130	-65	-370	-210	-105	-330	-520	-840	-1300	-2100
18 – 24	-310	-170	-120	-80	0	+80	-170	0	+125	0	0	0	0	0
	-470	-330	-280	-240	-160	-80	-420	-250	-125	-390	-620	-1000	-1600	-2500
24 – 30	-320	-180	-130	-240	-190	-95	-180	0	+150	0	0	0	0	0
	-480	-340	-290	-290	-220	-95	-430	-300	-150	-460	-740	-1200	-1900	-3000
30 – 40	-340	-190	-140	-100	0	+95	-190	0	+150	0	0	0	0	0
	-530	-380	-330	-290	-190	-95	-490	-300	-150	-460	-740	-1200	-1900	-3000
40 – 50	-360	-200	-150	-290	-220	-110	-200	0	+175	0	0	0	0	0
	-550	-390	-340	-340	-220	-110	-500	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500
50 – 65	-380	-220	-170	-120	0	+110	-220	0	+175	0	0	0	0	0
	-600	-440	-390	-340	-220	-110	-570	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500
65 – 80	-410	-240	-180	-340	-220	-110	-240	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500
	-630	-460	-400	-400	-220	-110	-590	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500
80 – 100	-380	-220	-170	-120	0	+110	-220	0	+175	0	0	0	0	0
	-600	-440	-390	-340	-220	-110	-570	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500
100 – 120	-410	-240	-180	-340	-220	-110	-240	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500
	-630	-460	-400	-400	-220	-110	-590	-350	-175	-540	-870	-1400	-2200	-3500

Поля допусков отверстий

Интервал размеров, мм	G5	H5	Is5	K5	M5	N5	G6	H6	Is6	K6	M6	N6	P6
1 – 3	+6	+4	+2	0	-2	-4	+8	+6	+3	0	-2	-4	-6
	+2	0	-2	-4	-6	-8	+2	0	-3	-6	-8	-10	-12
3 – 6	+9	+5	+2.5	+1	-3	-7	+12	+8	+4	+2	-1	-5	-9
	+4	0	-2.5	-5	-8	-12	+4	0	-4	-6	-9	-13	-17
6 – 10	+11	+6	+3	+2	-4	-8	+14	+9	+4.5	+2	-3	-7	-12
	+5	0	-3	-6	-10	-14	+5	0	-4.5	-7	-12	-16	-21
10 – 14	+14	+8	+4	+1	-4	-9	+17	+11	+5.5	+2	-4	-9	-15
14 – 18	+6	0	-4	-8	-12	-17	+6	0	-5.5	-9	-15	-20	-26
18 – 24	+16	+9	+4.5	+2	-5	-12	+20	+13	+6.5	+2	-4	-11	-18
24 – 30	+7	0	-4.5	-9	-14	-21	+7	0	-6.5	-11	-17	-24	-31
30 – 40	+20	+11	+5.5	+3	-5	-13	+25	+16	+8	+3	-4	-12	-21
40 – 50	+9	0	-5.5	-10	-16	-24	+9	0	-8	-13	-20	-28	-37

Интервал размеров, мм	F7	G7	H7	Is7	K7	M7	N7	P7	R7	S7	T7	
1 – 3	+16	+12	+10	+5	0	-2	-4	-6	-10	-14	-	
	+6	+2	0	-5	-10	-12	-14	-16	-20	-24	-	
3 – 6	+22	+16	+12	+6	+3	0	-4	-8	-11	-15	-	
	+10	+4	0	-6	-9	-12	-16	-20	-23	-27	-	
6 – 10	+28	+20	+15	+7.5	+5	0	-4	-9	-13	-17	-	
	+13	+5	0	-7.5	-10	-15	-19	-24	-28	-32	-	
10 – 14	+34	+24	+18	+9	+6	0	-5	-11	-16	-21	-	
14 – 18	+16	+6	0	-9	-12	-18	-23	-29	-34	-39	-	
18 – 24	+41	+28	+21	+10.5	+6	0	-7	-14	-20	-27	-	
24 – 30	+20	+7	0	-10.5	-15	-21	-28	-35	-41	-48	-33	
30 – 40	+50	+34	+25	+12.5	+7	0	-8	-17	-25	-34	-39	
	+25	+9	0	-12.5	-18	-25	-33	-42	-50	-59	-64	
40 – 50											-45	
												-70

Интервал размеров, мм	D8	E8	F8	H8	Is8	K8	M8	N8	U8	D9	E9	F9	H9	Is9
1 – 3	+34	+28	+20	+14	+7	0	-	-4	-18	+45	+39	+31	+25	+12
	+20	+14	+6	0	-7	-14		-18	-32	+20	+14	+6	0	-12
3 – 6	+48	+38	+28	+18	+9	+5	+2	-2	-23	+60	+50+20	+40	+30	+15
	+30	+20	+10	0	-9	-13	-16	-20	-41	+30		+10	0	-15
6 – 10	+62	+47	+35	+22	+11	+6	+1	-3	-28	+76	+61	+49	+36	+18
	+40	+25	+13	0	-11	-16	-21	-25	-50	+40	+25	+13	0	-18
10 – 14	+77	+59	+43	+27	+13	+8	+2	-3	-33	+93	+75	+59	+43	+21
	+50	+32	+16	0	-13	-19	-25	-30	-60	+50	+32	+16	0	-21
14 – 18									-41					
									-74	+117	+92	+72	+52	+26
18 – 24	+98	+73	+53	+33	+16	+10	+4	-3	-48	+65	+40	+20	0	-26
	+65	+40	+20	0	-16	-23	-29	-36	-81					
24 – 30									-60					
									-99	+142	+112	+87	+62	+31
30 – 40	+119	+89	+64	+39	+19	+12	+5	-3	-70	+80	+50	+25	0	-31
	+80	+50	+25	0	-19	-27	-34	-42	-109					
40 – 50														

Интервал размеров, мм	D10	H10	Is10	A11	B11	C11	D11	H11	Is11	B12	H12	Is12
1 – 3	+60	+40	+20	+330	+200	+120	+80	+60	+30	+240	+100	+50
	+20	0	-20	+270	+140	+60	+20	0	-30	+140	0	-50
3 – 6	+78	+48	+24	+345	+215	+145	+105	+75	+37	+260	+120	+60
	+30	0	-24	+270	+140	+70	+30	0	-37	+140	0	-60
6 – 10	+98	+58	+29	+370	+240	+170	+130	+90	+45	+300	+150	+75
	+40	0	-29	+280	+150	+80	+40	0	-45	+150	0	-75
10 – 14	+120	+70	+35	+400	+250	+205	+160	+110	+55	+330	+180	+90
	+50	0	-35	+290	+150	+95	+50	0	-55	+150	0	-90
18 – 24	+149	+84	+42	+430	+290	+240	+195	+130	+65	+370	+210	+105
	+65	0	-42	+300	+160	+110	+65	0	-65	+160	0	-105
30 – 40	+180	+100	+50	+470	+330	+280	+240	+160	+80	+420	+250	+125
	+80	0	-50	+310	+170	+120	+80	0	-80	+170	0	-125
40 – 50				+480	+340	+290				+430		
				+320	+180	+130				+180		

Интервал размеров, мм	H13	Is13	H14	Is14	H15	Is15	H16	Is16	H17	Is17
1 – 3	+140 0	+70 -70	+250 0	+125 -125	+400 0	+200 -200	+600 0	+300 -300	+1000 0	+500 -500
3 – 6	+180 0	+90 -90	+300 0	+150 -150	+480 0	+240 -240	+750 0	+375 -375	+1200 0	+600 -600
6 – 10	+220 0	+110 -110	+360 0	+180 -180	+580 0	+290 -290	+900 0	+450 -450	+1500 0	+750 -750
10 – 14	+270 0	+135 -135	+430 0	+215 -215	+700 0	+350 -350	+1100 0	+550 -550	+1800 0	+900 -900
14 – 18	+330 0	+165 -165	+520 0	+260 -260	+840 0	+420 -420	+1300 0	+650 -650	+2100 0	+1050 -1050
18 – 24	+390 0	+195 -195	+620 0	+310 -310	+1000 0	+500 -500	+1600 0	+800 -800	+2500 0	+1250 -1250
24 – 30										
30 – 40										
40 – 50										

Допуски плоскостности,  
 прямолинейности и перпендикулярности, мкм

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До 10	0,25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16
10 ... 16	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
16 ... 25	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25
25 ... 40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
40 ... 63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
63 ... 100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
100 ... 160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
160 ... 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
250 ... 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
400 ... 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120
630 ... 1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160

Приложение 4

Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения, соосности, радиального и торцевого биения, мм

Интервалы номинальных размеров, мм	Степень точности									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
3 ... 10	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25
10 ... 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
18 ... 30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40
30 ... 50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
50 ... 120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60
120 ... 250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80
250 ... 400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100
400 ... 630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120

ОБРАЗЕЦ ТИТУЛЬНОГО ЛИСТА ОТЧЕТА

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет»

Кафедра «Технология и методика преподавания»

**ОТЧЕТ**

о выполнении лабораторной работы № 1

**ИЗМЕРЕНИЕ ВЕЛИЧИН УГЛОВ  
УНИВЕРСАЛЬНЫМ УГЛОМЕРОМ**

по учебной дисциплине «Нормирование точности и технические измерения»

Выполнил: \_\_\_\_\_ (Фамилия И.О.)

Уч. группа \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_ (Фамилия И.О.)

Защита: \_\_\_\_\_ (подпись)

\_\_\_\_\_ (дата)

Новополоцк, 2013

*Учебное издание*

ЗАВИСТОВСКИЙ Сергей Эдуардович  
ЗАВИСТОВСКИЙ Владимир Эдуардович

## НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Учебно-методический комплекс для студентов  
специальности 1-02 06 02 «Технология (по направлениям).  
Дополнительная специальность»

Редактор *О. П. Михайлова*  
Дизайн обложки *В. А. Виноградовой*

Подписано в печать 29.11.2013. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 16,71. Уч.-изд. л. 14,47. Тираж 30 экз. Заказ № 1693.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

ЛИ № 02330/0548568 от 26.06.2009      ЛП № 02330/0494256 от 27.05.2009

Ул. Блохина, 29, 211440 г. Новополоцк.