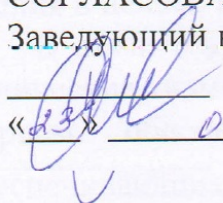
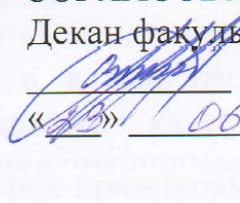


Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»  
Машиностроительный факультет  
Кафедра «Машиноведение»

|                                                                                                                                            |                                                                                                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| СОГЛАСОВАНО<br>Заведующий кафедрой<br><br>«23» 06 2025 г. | СОГЛАСОВАНО<br>Декан факультета<br><br>«23» 06 2025 г. |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**ЭЛЕКТРОННЫЙ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Нормирование точности и технические измерения»**  
(название дисциплины)

для специальности  
6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и  
инструменты»  
Профилизация «Технология машиностроения»  
Профилизация «Технологическое оборудование машиностроительного  
производства»

Составитель: В.Ф.Григорьев, доцент кафедры машиноведения, к.т.н., доцент

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета  
университета 26.06.2025 г., протокол № 4.

## **Пояснительная записка**

### ***Актуальность изучения дисциплины***

Машины, приборы и аппараты состоят из множества деталей, узлов и агрегатов определенного назначения, обладающие заданными характеристиками. Нарушение размерных или других технических параметров любой используемой в машине детали сказывается на качестве изделия в целом, надежности ее работы и долговечности.

В связи с этим, актуальность дисциплины «Нормирование точности и технические измерения» определяется тем, что в ней рассматриваются вопросы обеспечения и контроля размерного качества деталей, обеспечивающих их взаимозаменяемость. Владение принципами обеспечения взаимозаменяемости, соответствующими техническими нормативными правовыми актами и навыками их использования является неотъемлемой частью компетенций инженера по специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизация «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

### ***Цели дисциплины***

- изучение методов обеспечения взаимозаменяемости изделия на этапах его жизненного цикла;
- изучение основ выбора требований к точности параметров и сущности стандартизации данных требований.

### ***Задачи дисциплины***

- изучение принципов построения нормативных документов по стандартизации и технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, регламентирующих нормы точности параметров;
- изучение систем стандартов, относящихся к нормированию точности параметров, обозначения стандартных требований к точности параметров и контроля их соблюдения.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) объединяет структурные элементы учебно-методического обеспечения образовательного процесса, и представляет собой сборник материалов теоретического и практического характера для организации работы студентов специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизация «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства» дневной и заочной формы обучения по изучению дисциплины «Нормирование точности и технические измерения».

ЭУМК разработан на основании Положения об учебно-методическом комплексе на уровне высшего образования, утвержденного Постановлением

Министерства образования Республики Беларусь от 8 ноября 2022 г., № 427, и предназначен для реализации требований учебной программы по учебной дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» для специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», профилизация «Технология машиностроения», «Технологическое оборудование машиностроительного производства».

Цели ЭУМК:

- обеспечение качественного методического сопровождения процесса обучения;
- организация эффективной самостоятельной работы студентов.

Содержание и объем ЭУМК полностью соответствуют образовательному стандарту высшего образования специальности ОСВО 6-05-0714-02-2023 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты», а также учебной программе дисциплины «Нормирование точности и технические измерения», компонент учреждения образования, модуль «Моделирование механических систем, конструировании, расчет деталей машин и механизмов». Материал представлен на требуемом методическом уровне и адаптирован к современным образовательным технологиям.

**Структура электронного учебно-методического комплекса по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения»:**

**Теоретический раздел ЭУМК** содержит материалы для теоретического изучения учебной дисциплины и представлен конспектом лекций.

**Практический раздел ЭУМК** содержит материалы для проведения лабораторных учебных занятий в виде методического пособия для выполнения лабораторных работ и методического пособия к выполнению курсовой работы.

**Раздел контроля знаний ЭУМК** содержит материалы для итоговой аттестации (вопросы к экзамену), позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательных стандартов высшего образования и учебно-программной документации образовательных программ высшего образования.

**Вспомогательный раздел** включает учебную программу учреждения высшего образования по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения».

Рекомендации по организации работы с ЭУМК:

- лекции проводятся с использованием представленных в ЭУМК

теоретических материалов; при подготовке к экзамену, студенты могут использовать конспект лекций;

- экзамен проводится в письменном виде, вопросы к экзамену приведены в разделе контроля знаний.

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

**Конспект лекций по дисциплине  
«Нормирование точности и технические измерения»**

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 ВВЕДЕНИЕ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ. МЕТОДЫ НОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ..... | 5  |
| 1.1 Точность и виды точности, используемые в машиностроении .....                                                 | 5  |
| 1.2 Причины возникновения погрешностей геометрических параметров элементов деталей.....                           | 7  |
| 1.3 Взаимозаменяемость: задачи и значения для производства .....                                                  | 9  |
| 1.4 Документы по техническому нормированию в РБ и их обозначение.....                                             | 11 |
| 1.5 Методы нормирования параметров при проектировании .....                                                       | 13 |
| 1.6 Основные понятия о размерах, отклонениях и допусках .....                                                     | 13 |
| 1.7 Основные понятия о сопряжениях .....                                                                          | 18 |
| 1.8 Точность и погрешность геометрических параметров .....                                                        | 19 |
| 1.9 Понятие о посадках, зазорах, натягах .....                                                                    | 20 |
| 2 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И КОНТРОЛЬ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ .....                                        | 24 |
| 2.1 Взаимозаменяемость, методы и средства контроля гладких цилиндрических соединений.....                         | 24 |
| 2.2 Обозначение предельных отклонений размеров и посадок на чертежах .....                                        | 34 |
| 2.3 Выбор системы посадок, качества и вида посадок .....                                                          | 36 |
| 2.3.1 Выбор системы посадок .....                                                                                 | 36 |
| 2.3.2 Выбор качества (точности изготовления).....                                                                 | 36 |
| 2.3.3 Выбор посадок .....                                                                                         | 37 |
| 2.4 Характеристика и выбор посадок с зазором .....                                                                | 37 |
| 3 НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОЛНИСТОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ.....          | 39 |
| 3.1 Отклонение и допуски формы .....                                                                              | 40 |
| 3.1.1 Отклонения формы цилиндрических деталей .....                                                               | 42 |
| 3.1.2 Отклонения формы плоских деталей.....                                                                       | 46 |
| 3.1.4 Методы контроля отклонения формы .....                                                                      | 48 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2 Нормирование точности расположения деталей .....                                                    | 50  |
| 3.2.1 Виды допусков расположения поверхностей и осей .....                                              | 53  |
| 3.3 Зависимый и независимый допуски расположения (формы).....                                           | 59  |
| 3.4 Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей ...                                | 59  |
| 3.5 Числовые значения отклонений расположения поверхностей .....                                        | 61  |
| 3.6 Волнистость поверхности (3 порядок отклонений).....                                                 | 61  |
| 3.7 Шероховатость поверхности (отклонение 4 порядка) .....                                              | 62  |
| 4 ОБЩИЕ ДОПУСКИ РАЗЕРОВ, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....                                         | 69  |
| 5 ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ .....                                                           | 71  |
| 5.1 Допуски и посадки подшипников качения .....                                                         | 72  |
| 5.2 Выбор посадок подшипников качения на вал и в корпус.....                                            | 73  |
| 6 РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ, МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ.....                                                   | 77  |
| 6.1 Расчет размерных цепей методом максимума-минимума.....                                              | 80  |
| 6.2 Решение размерных цепей теоретико-вероятностным методом.....                                        | 83  |
| 6.3 Расчет допусков размерных цепей методом групповой взаимозаменяемости (селективная сборка).....      | 86  |
| 6.4 Метод пригонки .....                                                                                | 88  |
| 6.5 Метод регулирования (установки компенсатора) .....                                                  | 88  |
| 7 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ГЛАДКИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И УГЛОВ [1, 10] ..... | 89  |
| 8 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ .....                          | 98  |
| 8.1 Классификация резьб и эксплуатационные требования к ним .....                                       | 98  |
| 8.2 Основные параметры резьбы.....                                                                      | 99  |
| 8.3 Характеристика крепежных резьб.....                                                                 | 101 |
| 8.4 Обеспечения взаимозаменяемости цилиндрических резьб .....                                           | 102 |
| 8.5 Допуски и посадки метрических резьб.....                                                            | 106 |
| 8.6 Методы и средства измерения и контроля цилиндрических резьб .....                                   | 112 |
| 9 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....                | 115 |

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.1 Типы шпоночных и шлицевых соединений и требования к ним .....                                | 115 |
| 9.2 Допуски и посадки шпоночных соединений .....                                                 | 117 |
| 9.3 Допуски и посадки прямобочных шлицевых соединений .....                                      | 119 |
| 9.4 Допуски и посадки эволютных шлицевых соединений.....                                         | 124 |
| 10 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ<br>ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ ..... | 127 |
| 10.1 Классификация зубчатых передач, эксплуатационные и точностные<br>требования .....           | 127 |
| 10.2 Допуски зубчатых передач.....                                                               | 128 |
| 10.3 Оформление чертежей зубчатых колес .....                                                    | 147 |
| 11 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕТРОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ<br>ИЗМЕРЕНИЯХ .....                               | 150 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....                                                            | 156 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Потребность в развитии промышленности, повышении эффективности производства и всестороннем улучшении качества выпускаемой продукции неразрывно связана с необходимостью практического применения достижений науки и техники, ростом уровня развития машиностроения, автоматизацией производства и сопровождается развитием и совершенствованием систем контроля и управления технологическими процессами.

Современное машиностроительное производство при серийном и массовом выпуске изделий может быть высокопроизводительным и обеспечивать требуемое качество только на основе взаимозаменяемости деталей и их стандартизации.

В основе обеспечения взаимозаменяемости лежит нормирование точности различных параметров на принципах стандартизации с последующим контролем, что и служит базой дисциплины «Нормирование точности и технические измерения», освоение которой является обязательной частью профессиональной подготовки специалистов в учреждениях высшего образования.

Изучение теоретических основ названной дисциплины позволит сформировать понимание закономерностей построения системы основных норм взаимозаменяемости типовых деталей и их соединений, усвоить основы выбора норм точности геометрических параметров при конструировании изделий исходя из предъявляемых к ним эксплуатационных требований; сформировать знания и привить навыки выбора методов и средств измерений для контроля отклонений геометрических параметров изделий.

Материалы конспекта лекций могут быть использованы для студентов других специальностей, изучающих дисциплину «Нормирование точности и технические измерения».

# **1 ВВЕДЕНИЕ. СТАНДАРТИЗАЦИЯ И КАЧЕСТВО ПРОДУКЦИИ. ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ. МЕТОДЫ НОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ ПАРАМЕТРОВ**

Качеством продукции называется совокупность свойств продукции, обуславливающая ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением. Таким образом, качество любого вида продукции определяется ее свойствами, составом, размера и другими параметрами, установленными с учетом надежности и стоимости. Оценивать и гарантировать качество изделий можно только в том случае, если их качественные характеристики четко определены и должным образом узаконены. Необходимые качественные характеристики и показатели различной продукции устанавливаются нормативно-технической документацией, к которой относят конструкторские, технологические, эксплуатационные и другие виды документов. Эти документы должны отвечать требованиям соответствующих стандартов.

Весьма важную роль в правильном функционировании изделий играет соблюдение точностных требований к их геометрическим параметрам.

## **1.1 Точность и виды точности, используемые в машиностроении**

Точность в технике — это степень приближения значения параметра изделия, процесса и т.д. к его заданному значению.

Требования к точности могут относиться к точности механической обработки или к другому виду обработки деталей, к точности механизмов и машин, к точности систем автоматизированного управления, к точности измерений и т.д.

Кроме термина «точность» часто используют термин «погрешность», поэтому необходимо дать некоторые пояснения по различению этих терминов и разграничению области их применения. Когда применяют термин «точность», то обычно имеют в виду качественный показатель, характеризующий отличие этого показателя от заданного значения. Так, говоря о точности, употребляют выражения «высокая точность», «низкая точность» и т.д. Однако такие понятия, как и термин «точность», невозможно использовать для нормирования степени приближения значения параметра к заданному.

Термин «погрешность» применяют для количественной оценки точности. Погрешность — разность между приближенным значением некоторой величины и ее точным значением. Это определение относится к так называемой абсолютной погрешности, которая обычно нормируется для характеристики точности в машиностроении. Таким образом, именно погрешность является показателем точности. В случаях, когда считают, что точность «высокая» или «низкая», необходимо указывать значение погрешности. Нельзя говорить, например, о «высокой точности изготовления», если не указывать погрешность этого изготовления.

В машиностроении чаще всего нормируют требования к точности элементов детали и, только иногда, механизма в целом.

В данной дисциплине, в основном, будут рассматриваться вопросы нормирования точности геометрических параметров элементов деталей.

Один из первых вопросов, который может возникнуть при изучении дисциплины, можно сформулировать так: зачем вообще надо нормировать (устанавливать, определять) требования к точности, разве нельзя изготовить детали строго по чертежу и совсем отказаться от рассмотрения вопросов точности?

Как это ни странно, абсолютно точно изготавливать все элементы детали не нужно, да и невозможно. Требования к точности элементов детали должны быть разными в зависимости от их функционального назначения.

Чем точнее требуется выполнить элемент детали, тем дороже будет стоить это изготовление (стоимость изготовления растет по кривой второго порядка в зависимости от повышения требований к точности).

Таким образом, изготовить абсолютно точно элемент детали невозможно, не нужно, и чем точнее требуется изготовление, тем дороже обходится эта продукция. Вопрос правильного назначения требований к точности элементов очень сложен и для его решения нужны не только знания, но и практический опыт.

Для элементов деталей в машиностроении можно и нужно нормировать точность, т.е. устанавливать степень приближения к заданным значениям по нескольким параметрам (показателям), которые определяют функциональные или эксплуатационные свойства и устанавливают связь этих параметров с причинами появления неточностей.

Напомним, что речь идет о точности геометрических параметров элементов деталей. Таких параметров, которые характеризуют геометрическую точность элементов деталей, четыре (рисунок 1.1):

1. Точность размера (0-вой порядок). Размер каждого элемента детали должен находиться в определенных пределах и может отличаться от заданного не больше, чем на установленную величину. Нормирование точности размера заключается в указании возможных отклонений от заданного значения;



**Рисунок 1.1 - Искажение размеров и формы цилиндра после изготовления**

2. Точность формы поверхности (1-й порядок). Элементы детали должны иметь заданную номинальную (идеальную) геометрическую форму (плоскость, цилиндр, конус, сферу и т.д.). В этом случае требования к точности формы определяют допустимые искажения формы по сравнению с идеально правильной. Допустимые искажения формы должны находиться в заданных пределах. Нормирование точности формы заключается в указании допустимых значений такого отклонения от идеальной формы, а иногда нормируется и допустимый вид искажений формы.

3. Точность относительного расположения элементов деталей (2-й порядок). Любая деталь представляет собой совокупность поверхностей (элементов) определенной формы. Каждый элемент детали должен быть расположен относительно других в заданном положении. Выполнить это абсолютно точно невозможно, и поэтому необходимо определить степень возможных отклонений расположения одних поверхностей относительно других. При нормировании этих параметров следует указать пределы, внутри которых могут располагаться поверхности детали для должного выполнения возложенных на них функций. Например, в цилиндрическом валике торцевые поверхности должны быть расположены перпендикулярно оси цилиндра, но практически абсолютно точно это сделать невозможно, и поэтому необходимо установить требования к точности этого расположения в зависимости от характера функций, которые выполняет этот валик в изделии.

4. Точность по шероховатости поверхности (3-й порядок). При любом виде обработки поверхности детали будут иметь следы обработки — неровности, которые окажут влияние на функциональные свойства поверхностей, особенно в сопряжениях. Поэтому необходимо нормировать точность по шероховатости поверхностей детали, по степени отклонения реальной шероховатости поверхности от идеальной, прежде всего, по ее высоте. Нормировать точность для шероховатости поверхности — это значит установить допускаемые значения микронеровностей на рассматриваемых поверхностях.

## **1.2 Причины возникновения погрешностей геометрических параметров элементов деталей**

Существует много причин, по которым невозможно изготовить элементы деталей абсолютно точно. Ниже рассмотрены основные из них, которые имеют место при изготовлении деталей в машиностроении.

1. Состояние оборудования и его точность. Обрабатывающий станок в большинстве случаев почти полностью переносит свою неточность на обрабатываемую деталь. Так, биение шлифовального круга и вибрации при обработке приводят к появлению поверхностных неровностей на обрабатываемых поверхностях деталей. Шаг нарезаемой резьбы почти полностью копируется с шага винта токарного станка и т.д. Если в станке устройство подачи инструмента работает не плавно, то невозможно получить точный размер элемента детали. Точность выполнения штампа полностью переносится на точность штампованной детали.

2. Качество и состояние технологической оснастки. Технологическая оснастка является вспомогательным оборудованием, которое используется для изготовления

деталей. Если в кондукторе для сверления отверстий в детали неправильно расположены направляющие втулки, то эти погрешности перейдут на деталь. Если ось центров для установки детали на шлифовальном станке не параллельна рабочим перемещениям при шлифовании, то невозможно получение цилиндрической детали — она может оказаться конической.

3. Режимы обработки. Для каждой поверхности детали существуют оптимальные режимы обработки, учитывающие характеристики обрабатываемых и режущих материалов, условия обработки и требования к точности геометрических параметров деталей. Несоблюдение заданных режимов обработки могут привести к появлению погрешностей. Если при шлифовании применять большие подачи, то могут получиться большие неровности на поверхности, прижоги, приводящие к уменьшению поверхностной прочности и др.

4. Неоднородность материала заготовок и неодинаковость припуска на обработку. По этим причинам происходит непредсказуемый износ инструмента. Разные припуски у однотипных деталей приводят к разному разогреву каждой из них, и их размеры после остывания оказываются другими, чем непосредственно полученные сразу после обработки. Неоднородность заготовок по твердости в разных местах приводит к появлению вибраций в процессе резания, а это, в свою очередь, — к появлению поверхностных неровностей.

5. Температурные условия. Во всем мире установлено, что все размеры должны определяться при температуре 20 °С. Поэтому при изменении температуры, особенно в процессе изготовления или измерений, это отражается как на размере детали, так и на искажении формы и расположения ее поверхностей.

6. Упругие деформации детали, станка, инструмента. При обработке деталей на станках имеют место статические и динамические нагрузки на все элементы системы станок — приспособление — инструмент — деталь. Эти нагрузки образованы усилиями крепления детали на станке и усилиями в процессе резания, которые вызывают упругие деформации во всех элементах технологической системы, в том числе и детали. Например, осевое усилие крепления детали в центрах вызывает ее изгиб и, как следствие, невозможность получения цилиндрической поверхности точной формы. Искажается форма детали после снятия усилия прижима детали к плоскости станка при обработке.

7. Квалификация и субъективные ошибки рабочего. Немаловажное значение для точности элементов обрабатываемых деталей имеют опыт работы и квалификация людей. При этом не все из станочников, имеющих одинаковый опыт работы и работающих на одинаковом оборудовании, способны делать детали одинаковой точности. Это зависит от индивидуальных особенностей каждого человека и определяет субъективные причины появления погрешностей обработки.

Приходится решать вопрос о том, насколько можно допускать отклонения каждого из геометрических параметров элементов деталей с тем, чтобы детали или узлы из них могли выполнять возложенные на них функции, т.е. необходимо

нормировать требования к точности. Конструктор должен обоснованно определять возможные отклонения геометрических параметров элементов детали для того, чтобы деталь отвечала своему назначению. Технолог решает вопрос о том, как на имеющемся оборудовании добиться получения заданной конструктором точности. Обычно конструктор стремится назначить более высокую точность (не всегда достоверно известна действительно необходимая точность), а технологу желательно иметь дело с меньшей точностью (чтобы легче, да и дешевле, можно было бы изготавливать детали). В этом и состоит постоянное противоречие между требованиями конструктора и технолога.

### **1.3 Взаимозаменяемость: задачи и значения для производства**

Как показано выше, технически невозможно и экономически нецелесообразно добиваться абсолютной точности изготовления элементов детали и нецелесообразно устанавливать высокие требования к точности во всех случаях.

Существует еще один момент, по которому для промышленности необходимо нормировать требования к точности по всем указанным ранее геометрическим параметрам. Это связано с необходимостью обеспечения принципа взаимозаменяемости.

**Взаимозаменяемостью** называется принцип нормирования требований к размерам элементов деталей, узлов, механизмов, используемый при конструировании, благодаря которому представляется возможным изготавливать их независимо и собирать или заменять без дополнительной обработки при соблюдении технических требований к изделию.

Взаимозаменяемость — это идеология современного производства, охватывающая все вопросы производства, включая проектирование, изготовление и эксплуатацию изделий с учетом требований экономики.

Основное назначение взаимозаменяемости заключается в обеспечении производства изделий необходимого качества с минимальными затратами.

Перечислим достоинства взаимозаменяемого производства:

1. Упрощается процесс проектирования. Многие конструкторские решения прошли практическую проверку в успешно и реально работающих устройствах и механизмах. Такие решения стандартизованы и не следует их вновь изобретать, а необходимо их просто использовать. Не следует заново разрабатывать точностные требования к деталям и узлам, а надо лишь выбрать нужные из соответствующих нормативных документов.

2. Обеспечивается широкая специализация и кооперирование. Унификация требований к деталям и узлам позволяет изготавливать их на базе специализированных цехов и заводов, которые могут быть расположены в разных городах и странах. Например, подшипники качения выпускают на специализированных заводах и поставляют продукцию каждому желающему по техническим требованиям на продукцию, заранее оговоренным в стандартах. Так, многие измерительные приборы

на 50% собираются из деталей, поступающих с других заводов.

3. Удешевляется производство. Достигается также за счет специализации. Если производство настраивают на изготовление одних и тех же деталей или узлов в течение ряда лет, то возникает возможность создать специальное оборудование, обладающее высокой производительностью. Чем больше серийность выпуска, тем дешевле стоимость одного изделия – видно на примере удешевления изделий электроники.

4. Обеспечивается организация поточного производства. При взаимозаменяемом производстве сравнительно легко организовать сборку изделий на конвейере, при этом можно нормировать время сборочных операций, которые будут заключаться лишь в закреплении деталей и узлов и не потребуются их дополнительной подгонки.

5. Упрощается процесс сборки. Сборка взаимозаменяемых изделий заключается, в основном, в их присоединении друг к другу и в относительном закреплении. Такая операция может быть легко автоматизирована и при этом возможно использование труда малоквалифицированных операторов и промышленных роботов.

6. Упрощается ремонт. Если продукция создана с соблюдением принципа взаимозаменяемости, то возможно использования запасных деталей. Тогда ремонт будет заключаться в простой замене детали или узла, что приводит к уменьшению времени простоя машины и к увеличению надежности и экономичности ее эксплуатации.

В сборочном цехе машиностроительного завода заканчивается цикл изготовления машины. Детали, изготовленные в различных цехах и других предприятиях, собираются в единое целое без дополнительных пригоночных работ. Такая сборка возможна, если детали обладают свойством взаимозаменяемости.

**Взаимозаменяемость** – свойство детали занимать свое место в машине без дополнительной обработки при обеспечении нормальной работы изделия.

Свойством взаимозаменяемости могут обладать отдельные детали и целые сборочные единицы.

Необходимо стремиться к обеспечению **функциональной взаимозаменяемости** – при которой обеспечивается как собираемость деталей и сборочных единиц, так и экономически оптимальные эксплуатационные показатели. Функциональная взаимозаменяемость включает в себя взаимозаменяемость:

- по геометрическим параметрам (размеры, форма, расположение осей и др.);
- по кинематическим параметрам – сохраняются законы движения детали в машине;
- по физико-механическим свойствам материала (особенного поверхностного слоя).

По степени взаимозаменяемости различают:

– полную – все 100% деталей могут быть заменены на новые без всякой пригонки. Требуется повышенной точности.

– частичную – при сборке пригонки не должно быть, но требуется работы по подбору или регулировке. Детали можно изготавливать менее точно.

По виду различают взаимозаменяемость внешней и внутренней.

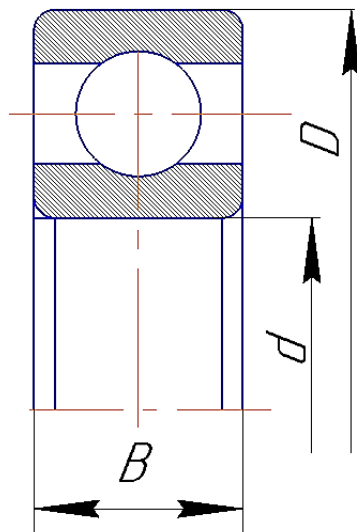


Рисунок 1.2 – Присоединительные размеры подшипника качения

Взаимозаменяемость по присоединительным размерам (D, d, B) – внешняя.

Взаимозаменяемость внутри сборочной единицы (шарики, кольца) – внутренняя.

Коэффициент взаимозаменяемости изделия:

$$K_{\text{в}} = \frac{\text{трудоемкость изготовления взаимозаменяемых деталей и сборочных единиц}}{\text{общая трудоемкость изготовления машины}}. \quad (1.1)$$

Коэффициент взаимозаменяемости должен быть  $K_{\text{в}} \leq 1$ . Желательно  $K_{\text{в}} \rightarrow 1$ .

#### 1.4 Документы по техническому нормированию в РБ и их обозначение

**Технический регламент** - технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе технического нормирования, устанавливающий непосредственно и (или) путем ссылки на технические кодексы установившейся практики и (или) государственные стандарты Республики Беларусь обязательные для соблюдения технические требования, связанные с безопасностью продукции, процессов ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказания услуг.

Например: ТР/2004/001/ВУ – технический регламент РБ.

**Технический кодекс установившейся практики** - технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, содержащий основанные на результатах установившейся практики технические требования к процессам

разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации продукции или оказанию услуг.

Например: ТКП43-2004(09170).

ТКП – Технический кодекс установившейся практики;

43 – порядковый номер государственного стандарта;

2004 – год регистрации;

09170 – код республиканского органа управления, утвердившего данный кодекс.

**Стандарт** - технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации на основе согласия большинства заинтересованных субъектов технического нормирования и стандартизации и содержащий технические требования к продукции, процессам ее разработки, производства, эксплуатации (использования), хранения, перевозки, реализации и утилизации или оказанию услуг.

**Государственный стандарт Республики Беларусь** - стандарт, утвержденный Государственным комитетом по стандартизации Республики Беларусь.

Государственные стандарты:

СТБ4.227-2003

СТБ – стандарт Беларуси;

4 – группа стандартов;

227 – номер стандарта;

2003 – год регистрации.

СТБП8017-2002 — предстандарт.

Также существуют СО – стандарты организации. **Стандарт организации** - стандарт, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем.

**Межгосударственный (региональный) стандарт** - стандарт, утвержденный (принятый) межгосударственной (региональной) организацией по стандартизации.

Например: ГОСТ.

**Международный стандарт** - стандарт, утвержденный (принятый) международной организацией по стандартизации. Правила ЕЭК ООН №88(01).

**Технические условия** - технический нормативный правовой акт, разработанный в процессе стандартизации, утвержденный юридическим лицом или индивидуальным предпринимателем и содержащий технические требования к конкретному типу, марке, модели, виду реализуемой ими продукции или оказываемой услуге, включая правила приемки и методы контроля.

Например: ТУ ВУ 100195503.015-2003:

ТУ разрабатываются на продукцию для реализации;

100195503.015 – код держателя подлинника.

## 1.5 Методы нормирования параметров при проектировании

Этапы нормирования:

- выбор номинального значения;
- установление предельных значений или предельных отклонений.

Номинальные значения выбирают, исходя из требований к прочности, жесткости, кинематической точности машины и др.

Предельные значения назначают для обеспечения нормальной работы сопряжений из 2-х и более деталей (в размерных цепях).

Методы нормирования:

- исследовательский - обеспечивает правильность и качество решения для новых задач, весьма затратен.
- метод аналогов - используется для тривиальных задач. Обеспечивает экономию времени. На основе опыта – расчет посадок с зазором, натягом, подшипников качения и др.

## 1.6 Основные понятия о размерах, отклонениях и допусках

На рабочем чертеже деталей машин конструктором проставляется **номинальный размер ( $d, D$ )** (рисунок 1.3) - общий для всех соединяемых деталей размер, определяемый из расчета на прочность, жесткость или конструктивных соображений. Он служит началом отсчета отклонений. В соответствии ГОСТ 6636 его необходимо округлять до имеющихся в данном ГОСТе. Ряды нормальных линейных размеров – геометрические прогрессии. Их четыре, они обозначаются: R5, R10, R20, R40.

Таблица 1.1 – Знаменатели рядов нормальных линейных размеров

| R5             | R10             | R20             | R40             |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| $\sqrt[5]{10}$ | $\sqrt[10]{10}$ | $\sqrt[20]{10}$ | $\sqrt[40]{10}$ |
| 1,6            | 1,25            | 1,12            | 1,06            |

← Предпочтительность применения

Предпочтение отдается размерам из рядов с наиболее крупной градацией – 5-ый ряд наиболее предпочтителен, т.к. уменьшение числа размеров ведет к уменьшению типоразмеров режущих и мерительных инструментов, штампов, приспособлений, обеспечивается типизация технологических процессов и удешевление производства.

**Действительный (истинный) размер ( $d_\delta, D_\delta$ )** – размер, который получается после изготовления и измерения детали, размер с допустимой погрешностью.

Действительный размер  $d_\delta$  для годных деталей колеблется от  $d_{max}$  до  $d_{min}$ , они называются предельными размерами. Тогда условия годности имеет вид:

$$d_{min} \leq d_\delta \leq d_{max}. \quad (1.2)$$

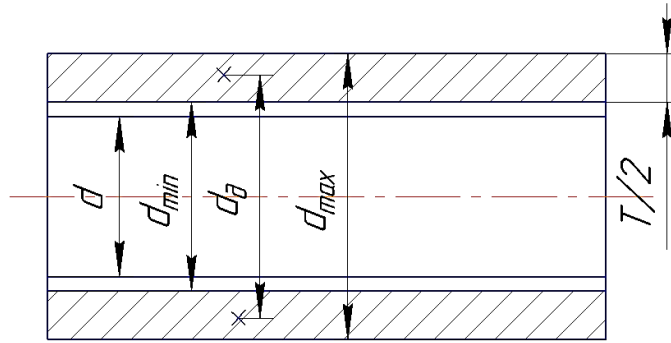


Рисунок 1.3 – Размеры вала

**Проходной предел** – предельный размер, соответствующий максимальному количеству материала детали ( $d_{max}$  для вала и  $D_{min}$  для отверстия).

**Непроходной предел** – предельный размер, соответствующий минимальному количеству материала детали ( $d_{min}$  для вала и  $D_{max}$  для отверстия).

**Предельные контуры** имеют форму номинальной поверхности (контура) и соответствуют наибольшему  $d_{max}$  и наименьшему  $d_{min}$  размерам детали.

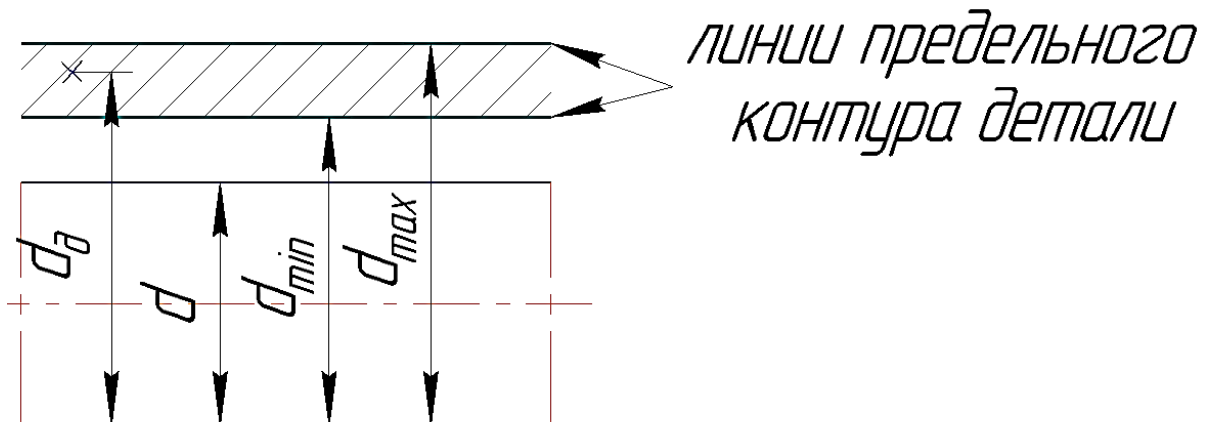


Рисунок 1.4 – Предельные контуры и предельные размеры

Этот чертеж можно еще упростить, т.к. основная задача – обеспечение точности номинального размера.

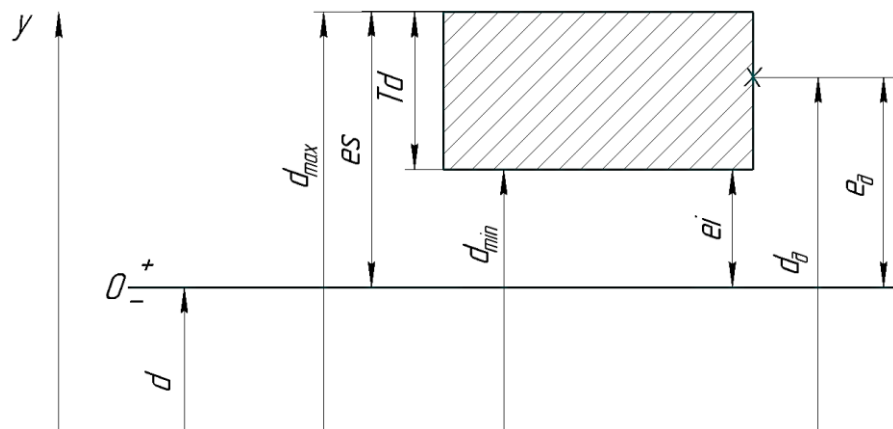


Рисунок 1.5 – Схема поля допуска размера  $d$

Из рисунка 1.5 видно, что наибольшее допустимое колебание размеров характеризуется допуском.

**Допуск размера  $T$**  – разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами ( $T$ -Tolerance).

Допуск отверстия определяется по формуле:

$$TD = D_{max} - D_{min}. \quad (1.3)$$

где:  $D_{max}$  - максимальный предельный размер отверстия;

$D_{min}$  - минимальный предельный размер отверстия.

Допуск вала:

$$Td = d_{max} - d_{min}. \quad (1.4)$$

где:  $d_{max}$  - максимальный предельный размер вала;

$d_{min}$  - минимальный предельный размер вала.

Допуск всегда больше нуля. Он определяет допустимую величину разброса размеров годных деталей в партии (допуск на изготовление).

**Отклонение размера** – разность между размером и соответствующим номинальным размером ( $E, e$  – ecart).

**Нижние отклонение** – разность между наименьшим предельным и номинальным размерами ( $I, i$  – inferieur):

Для отверстия:

$$EI = D_{min} - D. \quad (1.5)$$

Для вала:

$$ei = d_{min} - d. \quad (1.6)$$

**Верхние отклонение** – разность между наибольшим предельным и номинальным размером ( $S, s$  – superieur).

Для отверстия:

$$ES = D_{max} - D. \quad (1.7)$$

Для вала:

$$es = d_{max} - d. \quad (1.8)$$

Нижние и верхние отклонения – это предельные отклонения.

**Действительное отклонение** – алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами:

Для отверстия:

$$E_{\theta} = D_{\theta} - D. \quad (1.9)$$

Для вала:

$$e_{\theta} = d_{\theta} - d. \quad (1.10)$$

**Предельные размеры** – это алгебраическая сумма номинального размера и верхнего или нижнего отклонений.

Для отверстия:

$$D_{max} = D + ES, \quad (1.11)$$

$$D_{min} = D + EI, \quad (1.12)$$

$$D_{\phi} = D + E_{\phi}. \quad (1.13)$$

Для вала:

$$d_{min} = d + ei, \quad (1.14)$$

$$d_{max} = d + es, \quad (1.15)$$

$$d_{\phi} = d + e_{\phi}. \quad (1.16)$$

**Поле допуска** – зона между наибольшим и наименьшим предельным размерами, изображенная графически.

**Нулевая линия** – линия на схеме поля допуска, соответствующая номинальному размеру или номинальному контуру.

Будем откладывать отклонения по оси  $y$ . Это будут координаты относительно нулевой линии предельных контуров. Отклонения могут иметь знак «+» и «-», поле допуска относительно нулевой линии расположится по-разному (Пример для вала на рисунке 1.6)

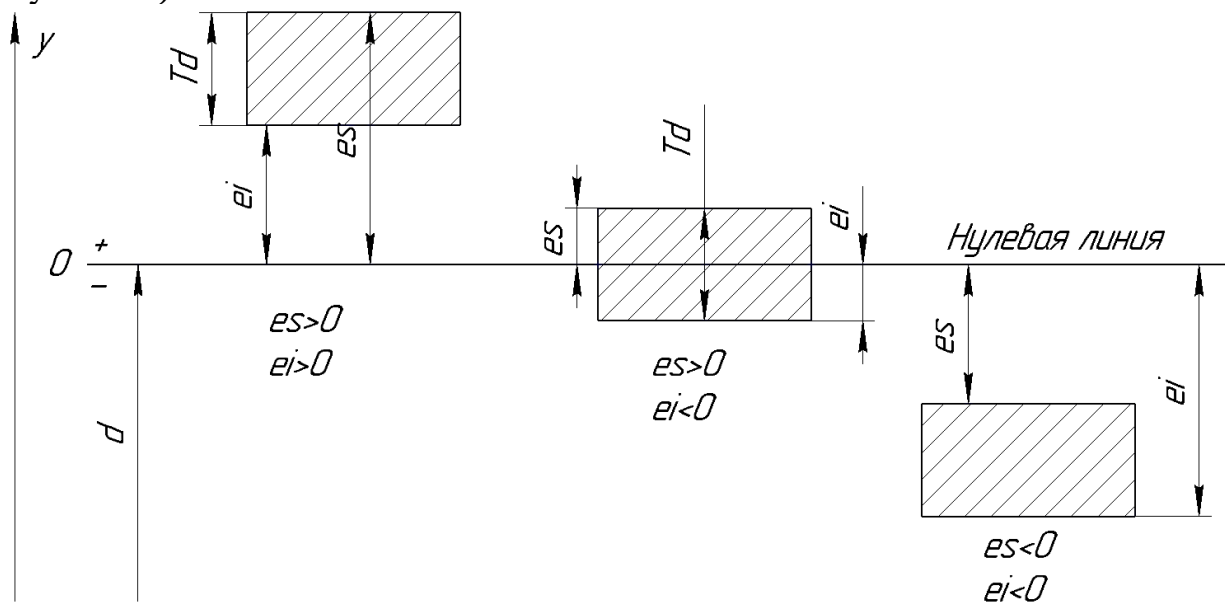


Рисунок 1.6 – Варианты расположения полей допусков для вала

Величину допуска можно определить через отклонения:

$$Td = d_{max} - d_{min} = d + es - (d + ei) = es - ei. \quad (1.17)$$

**Допуск** – алгебраическая разность верхнего и нижнего отклонения ( $T > 0$ ).

Отклонения могут быть:  $e > 0$ ,  $e < 0$ ,  $e = 0$ .

**Схематическое изображение полей допусков.**

Построение полей допуска ведется в масштабе. Поля допусков изображаются прямоугольниками. Относительно нулевой линии прямоугольник расположен так, что верхняя сторона соответствует верхнему отклонению, а нижняя – нижнему.

Величины отклонений со знаками проставляют у вершин двух правых углов прямоугольников в микрометрах (мкм). Графически высота прямоугольника изображает величину допуска. Длина прямоугольника произвольна.

Нулевая линия определяет номинальный размер в миллиметрах (мм).

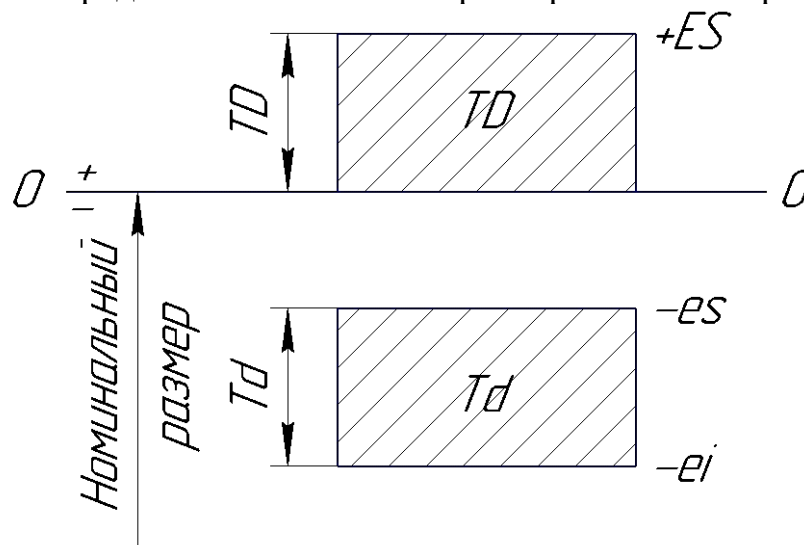


Рисунок 1.7 – Схемы полей допусков отверстия и вала

В справочниках номинальные диаметры ( $d$ ,  $D$ ) указываются в миллиметрах, предельные отклонения ( $es$ ,  $ei$ ,  $ES$ ,  $EI$ ) и допуски ( $TD$ ,  $Td$ ) в микрометрах.

**Пример.** Построить поле допуска и проставить отклонения, определить предельные размеры.

$$d = 40 \text{ мм}; EI = 0; TD = 39 \text{ мкм}; es = -25 \text{ мкм}; Td = 25 \text{ мкм}.$$

Для отверстия:

$$D_{\max} = D + ES = 40 + 0,039 = 40,039 \text{ мм}$$

$$TD = ES - EI, \Rightarrow ES = EI + TD = 0 + 39 = 39 \text{ мкм}.$$

$$D_{\min} = D + EI = 40 + 0 = 40 \text{ мм}$$

Для вала:

$$d_{\max} = d + es = 40 + (-0,025) = 39,975 \text{ мм}$$

$$Td = es - ei, \Rightarrow ei = es - Td = -25 - 25 = -50 \text{ мкм}.$$

$$d_{\min} = d + ei = 40 + (-0,050) = 39,950 \text{ мм}.$$

Строим схему полей допусков, откладывая отклонения в масштабе (рисунок 1.8).

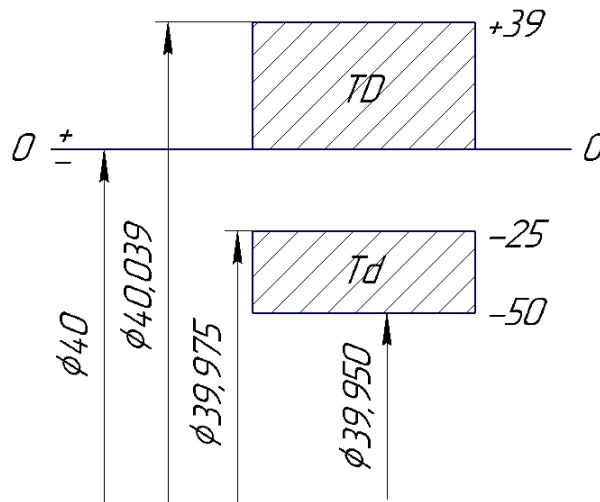


Рисунок 1.8 – Схемы полей допусков

### 1.7 Основные понятия о сопряжениях

Две и более деталей, соединяемых подвижно или неподвижно, называются **сопрягаемыми**.

Размеры и поверхности, по которым происходит соединение – **сопрягаемые размеры и поверхности**. Все остальные – **несопрягаемые**.

В сопряжениях все наружные (охватываемые) поверхности принято называть **валами**, все внутренние (охватывающие) – **отверстиями**.

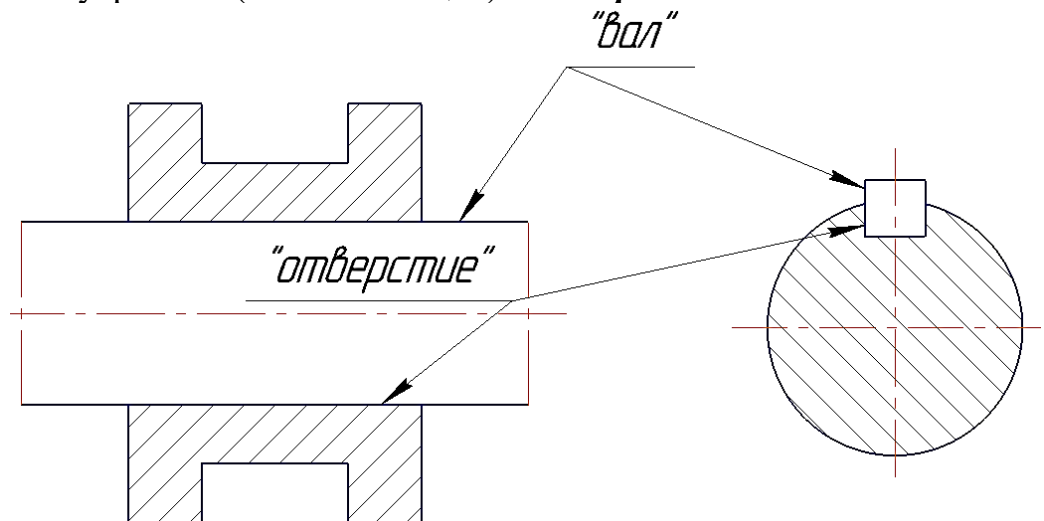


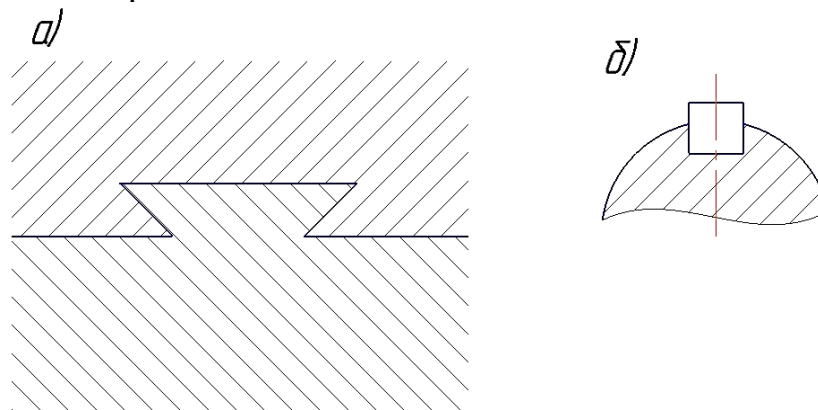
Рисунок 1.9 – Валы и отверстия

Классификация сопряжений:

1. По форме сопрягаемых поверхностей:

- гладкие цилиндрические, гладкие конические;
- резьбовые соединения, цилиндрические и конические;
- зубчатые сопряжения;
- шлицевые сопряжения;
- плоские или линейчатые сопряжения;

– сферическое сопряжение.



а) направляющие «ласточкин хвост»; б) шпоночное соединение

**Рисунок 1.10 – Плоские сопряжения**

2. По виду контакта в сопряжении:

- с поверхностным контактом;
- с линейным контактом;
- с точечным контактом.

3. По степени свободы взаимного перемещения:

- подвижные;
- неподвижные разъемные;
- неподвижные неразъемные.

### 1.8 Точность и погрешность геометрических параметров

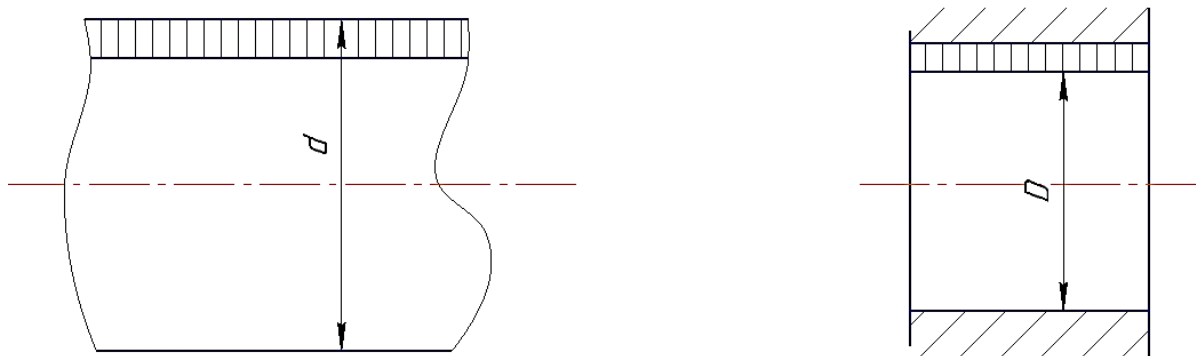
Погрешность изготовления и измерения геометрических, механических, электрических и других параметров определяется:

$$\Delta x = x_o - x, \quad (1.18)$$

где  $x_o$  – действительное значение параметра;

$x$  – расчетное номинальное значение параметра (из расчета на прочность, жесткость, долговечность и т.д.).

В качестве номинального размера технологи назначают проходной предел ( $d_{max}$  и  $D_{min}$ ). Соответствуют максимум «материала».



**Рисунок 1.11 – Схема назначения номинального размера**

Годный вал имеет отклонение  $\Delta d < 0$ , годное отверстие отклонение  $\Delta D > 0$ . Отклонение  $\Delta d$  - «в материал» детали;  $\Delta \leq Td(D)$ .

**Точность изготовления** – степень приближения действительных значений параметров изделий к расчетным (номинальный определяется величиной погрешности).

Различают два вида точности:

– **нормированная точность** – характеризуется допустимыми отклонениями от расчетных значений параметров. Задается конструктором.

– **действительная точность** – характеризуется действительными отклонениями, определенными при измерении. Выдерживаются технологом.

Степень соответствия действительной точности нормированной характеризует **качество изготовления**.

### 1.9 Понятие о посадках, зазорах, натягах

Характер сопряжения валов и отверстий (двух деталей) с точки зрения их взаимного перемещения называется **посадкой**.

Тип посадки определяется величиной и взаимным расположением полей допусков отверстия и вала.

1) До сборки  $D > d$ .

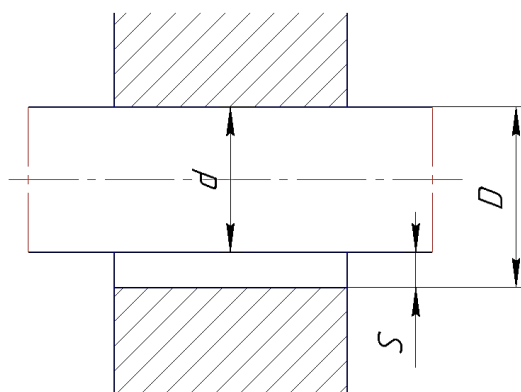


Рисунок 1.12 – Схема образования зазора

Положительная разность размеров отверстия и вала называется **зазором**.

$$S = D - d. \quad (1.19)$$

2) До сборки  $d > D$ .

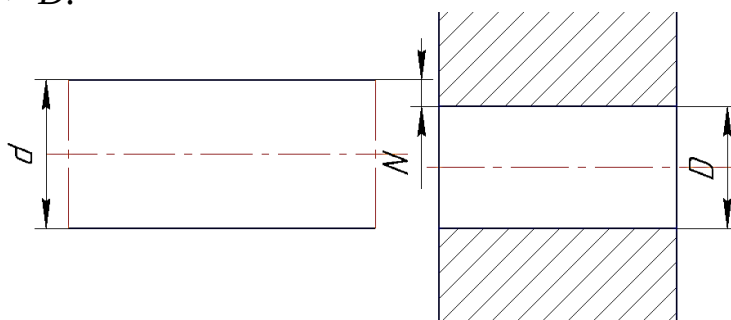


Рисунок 1.13 – Схема образования натяга

Положительная разность размеров вала и отверстия называется **натягом**. Натяг и зазор – величины, противоположные по знаку.

$$N = d - D. \quad (1.20)$$

Посадки бывают:

- с зазором:  $S \geq 0, N < 0$ ;
- переходные:  $S \geq 0, N \geq 0$ ;
- с натягом:  $S < 0, N \geq 0$ .

### 1. Посадка с зазором.

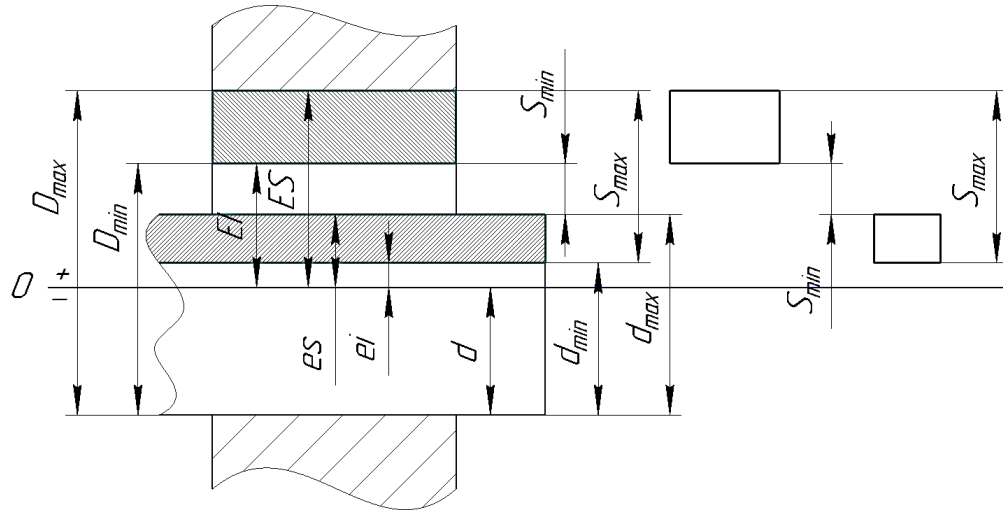


Рисунок 1.14 – Схемы посадок с зазором

До сборки всегда  $D_o > d_o$ , имеется гарантированный зазор  $S$ . Изменяется от  $S_{max}$  до  $S_{min}$ .

$$S_o = D_o - d_o, \quad (1.21)$$

Наибольший зазор:

$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = d + ES - (d + ei) = ES - ei. \quad (1.22)$$

Наименьший зазор:

$$S_{min} = D_{min} - d_{max} = d + EI - (d + es) = EI - es. \quad (1.23)$$

Средний зазор:

$$S_m = \frac{S_{max} + S_{min}}{2}. \quad (1.24)$$

К посадкам с зазором относят также «скользящие» посадки, у которых наименьший зазор  $S_{min} = 0$ .

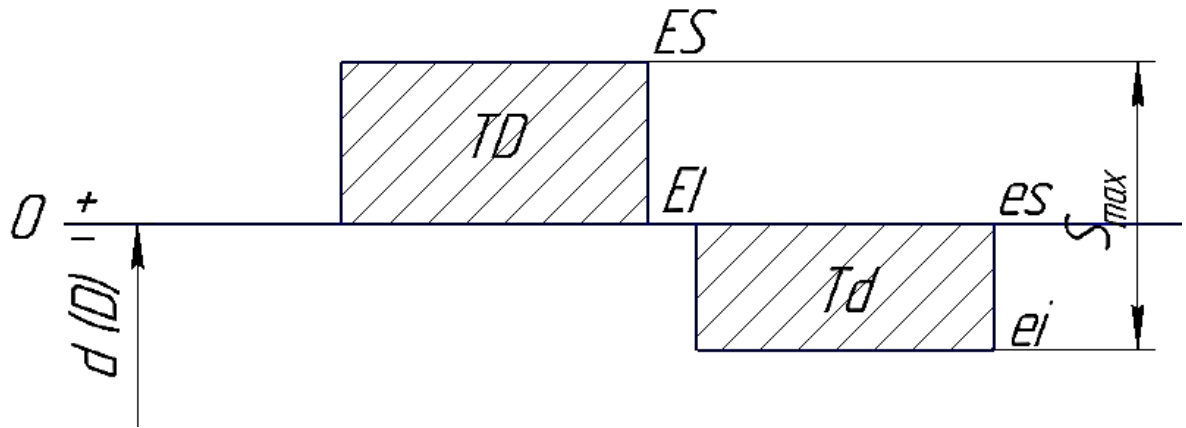


Рисунок 1.15 – Посадка с  $S_{min}=0$

**Допуск посадки ( $T_{noc}$ )** – характеристика точности соединения.  
Для подвижных соединений допуск посадки равен допуску зазора:

$$T_{noc} = TS = S_{max} - S_{min} = D_{max} - d_{min} - (D_{min} - d_{max}) = TD + Td. \quad (1.25)$$

## 2. Посадки с натягом.

На схеме поле допуска вала выше поля допуска отверстия.

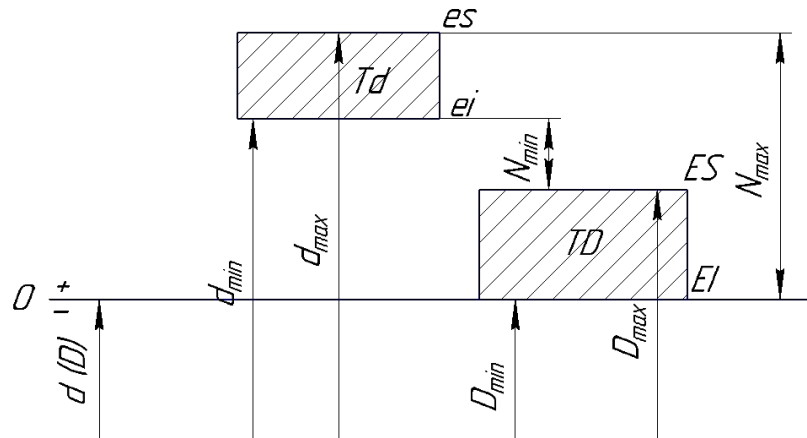


Рисунок 1.16 – Схема посадки с натягом

Имеется гарантированный натяг:

$$N_o = d_o - D_o > 0, \quad (1.26)$$

Максимальный натяг:

$$N_{max} = d_{max} - D_{min} = d + es - (D + EI) = es - EI. \quad (1.27)$$

Минимальный натяг:

$$N_{min} = d_{min} - D_{max} = d + ei - (D + ES) = ei - ES. \quad (1.28)$$

Средний натяг:

$$N_m = \frac{N_{max} + N_{min}}{2}. \quad (1.29)$$

Допуск посадки:

$$T_{noc} = TN = N_{max} - N_{min} = d_{max} - D_{min} - (d_{min} - D_{max}) = Td + TD. \quad (1.30)$$

### 3. Переходные посадки.

Данные посадки могут быть как с зазором, так и с натягом.

Поля допусков полностью или частично перекрываются по высоте.

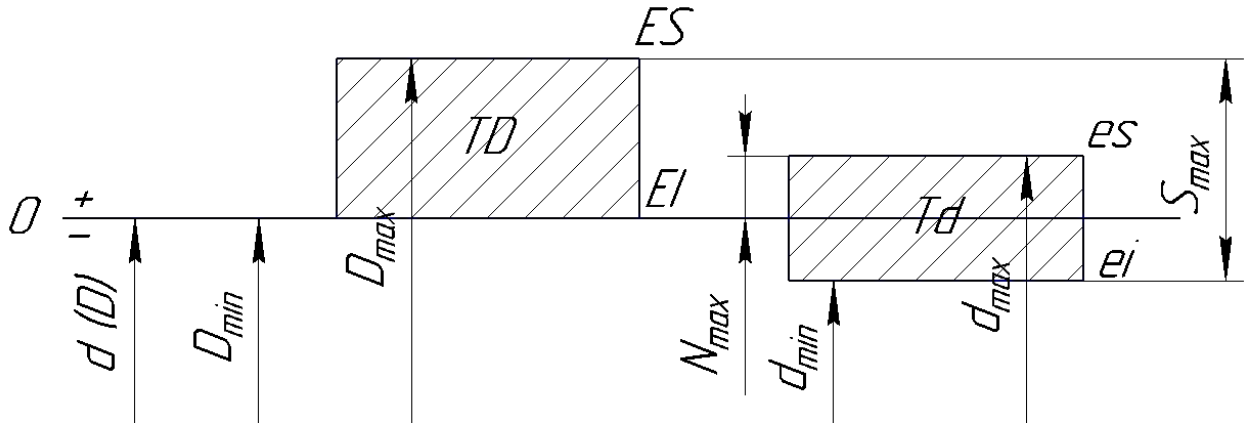


Рисунок 1.17 – Схема переходной посадки

Максимальный зазор (как для посадок с зазором):

$$S_{max} = ES - ei. \quad (1.31)$$

Максимальный зазор (как для посадок с натягом):

$$N_{max} = es - EI. \quad (1.32)$$

Минимальный зазор и натяг:

$$S_{min} = -N_{max}, < 0. \quad (1.33)$$

$$N_{min} = -S_{max}, < 0. \quad (1.34)$$

Допуск посадки:

$$T_{noc} = TS = S_{max} - S_{min} = ES - ei - EI + es = TD + Td. \quad (1.35)$$

$$T_{noc} = TN = N_{max} - N_{min} = es - EI + ES - ei = Td + TD. \quad (1.36)$$

**Допуск любой посадки равен сумме допусков сопрягаемых деталей.**

## 2 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И КОНТРОЛЬ ГЛАДКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

### 2.1 Взаимозаменяемость, методы и средства контроля гладких цилиндрических соединений

Для обеспечения взаимозаменяемости деталей и изделий с наименьшими затратами созданы системы допусков и посадок (ЕСДП), основанная на международной системе ISO.

Международная система ISO принята в стандартах большинства промышленно развитых странах и облегчает технические связи в металлопромышленности.

Стандарты ISO и раньше использовались в нашей промышленности, работающей на экспорт или по лицензии. Например, детали и узлы «Жигулей» были изготовлены по допускам ISO.

**Система допусков и посадок** - совокупность рядов допусков и посадок, закономерно построенных на основе опыта, теоретических и экспериментальных исследований и оформленных в виде стандартов.

Система допусков и посадок характеризуется:

1. основанием системы;
2. единицей допуска;
3. интервалом нормальных диаметров;
4. качеством;
5. нормальной температурой измерения;
6. основными отклонениями;
7. характером и количеством посадок в каждом качестве.

#### 1. Основание системы.

По ЕСДП применяют посадки в системе отверстия и системе вала.

Посадки с нижними отклонениями отверстия равными нулю, составляют систему отверстия. Зазоры и натяги получаются соединением различных валов с основным отверстием.

Основное отверстие – отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю ( $EI=0$ ), обозначается Н.

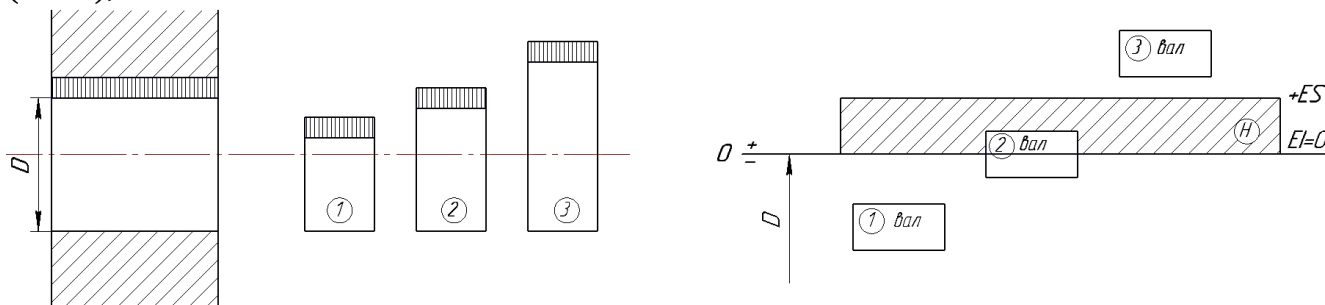


Рисунок 2.1 – Схемы посадок в системе отверстия

Посадки с верхним отклонением вала, равным нулю, составляют систему вала. Различные зазоры и натяги получаются соединением различных отверстий с основным валом.

Основной вал – вал, верхнее отклонение которого равно нулю ( $es=0$ ), обозначается  $h$

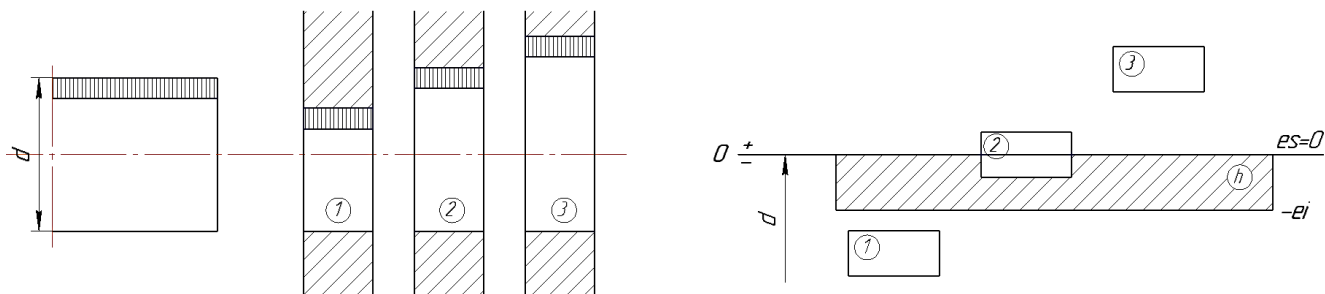


Рисунок 2.2 – Схемы посадок в системе вала

Правило: Поле допуска основного отверстия откладывается вверх, а основного вала вниз от нулевой линии, т.е. «в материал детали».

Такая система допусков называется односторонней предельной, или ассиметричной. Расположение поля допуска ассиметрично относительно номинала (рисунок 2.3).

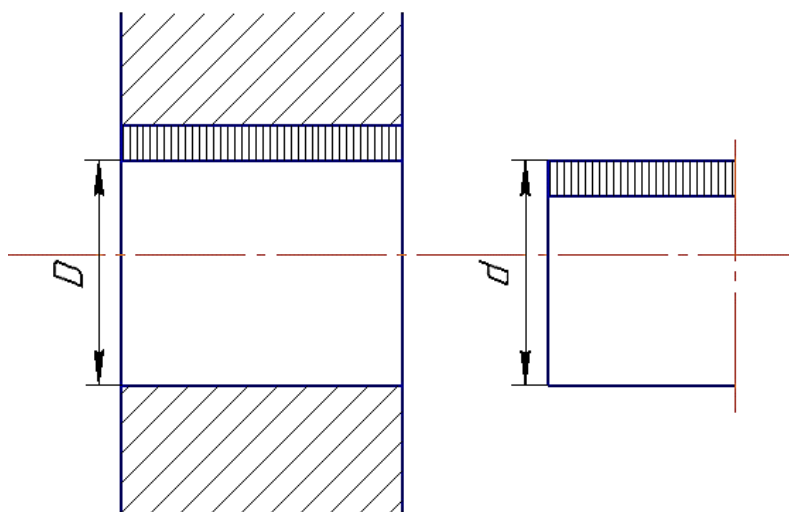


Рисунок 2.3 – Поля допусков основного отверстия и основного вала

Выбор системы отверстия или вала для той или иной посадки определяется конструктивными и экономическими соображениями. Преимущественное распространение получила система отверстия. Во-первых, подогнать размеры вала при обработке легче отверстия. Во-вторых, для выполнения разных посадок в системе отверстия требуется меньшее количество специального мерительного и режущего инструмента.

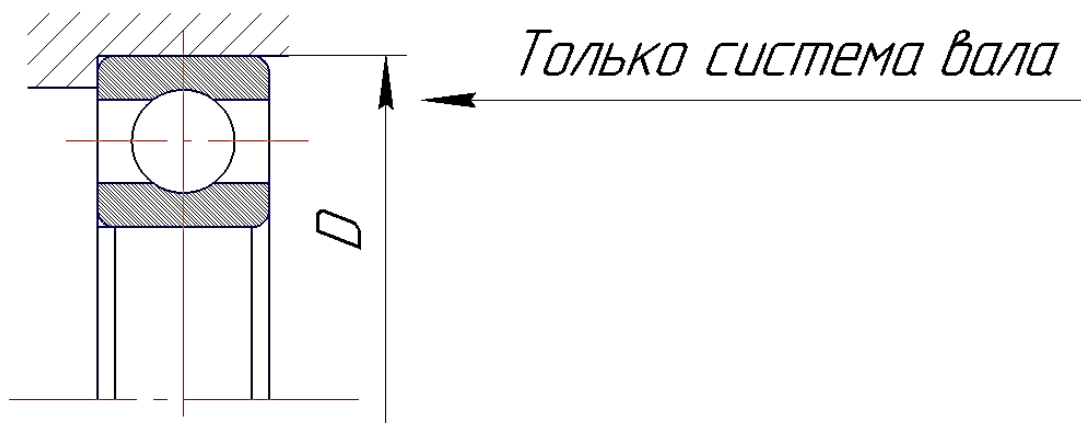
Например, для изготовления трех посадок в различных системах потребуется следующий режущий и мерительный инструменты (таблица 2.1).

**Таблица 2.1 – Виды инструмента для изготовления трех посадок в различных системах**

| Система отверстия<br>(H)            | 3 вала                     | Система вала<br>(h)       | 3 отверстия                          |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|
| 1 сверло<br>1 развертка<br>1 калибр | 1 резец<br>3 калибра-скобы | 1 резец<br>1 калибр-скоба | 3 сверла<br>3 развертки<br>3 калибра |
| 7 инструментов                      |                            | 11 инструментов           |                                      |

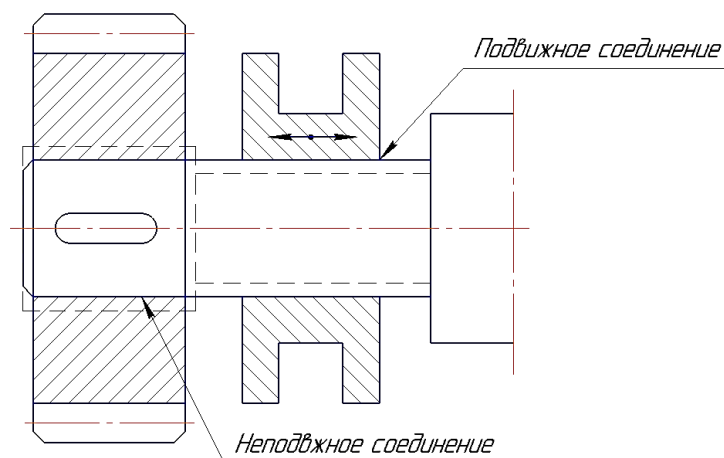
Система вала применяется, когда она более экономична, либо система отверстия не применима:

- 1) когда в качестве заготовки используется чистый скалиброванный прокат;
- 2) при очень длинных, особенно полых, валах соединенных с исходными отверстиями по разным посадкам;
- 3) в случае сопряжения с нормальными сборочными единицами (подшипники качения (рисунок 2.4));



**Рисунок 2.4 – Система посадок по наружному кольцу подшипника**

- 4) по конструктивным соображениям, если по системе отверстия сборка невозможна или затруднена.



**Рисунок 2.5 – Посадки в системе вала, принятые по конструктивным соображениям**

## 2. Единица допуска.

Величина допуска в зависимости от диаметра подсчитывается через условную эмпирическую единицу допуска  $i$ . Она является мерой точности и отражает влияние технологических, конструктивных и метрологических факторов.

Случайные погрешности партии деталей характеризуются среднеквадратическим отклонением  $\sigma$  :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i^2 - \bar{d}^2)}{n}}, \quad (2.1)$$

где  $d_i$  - действительный размер;

$\bar{d}$  - среднеарифметический размер в партии деталей;

$n$  - число деталей в партии.

Распределение размеров в партии (как правило, по закону нормального распределения) (рисунок 2.6).

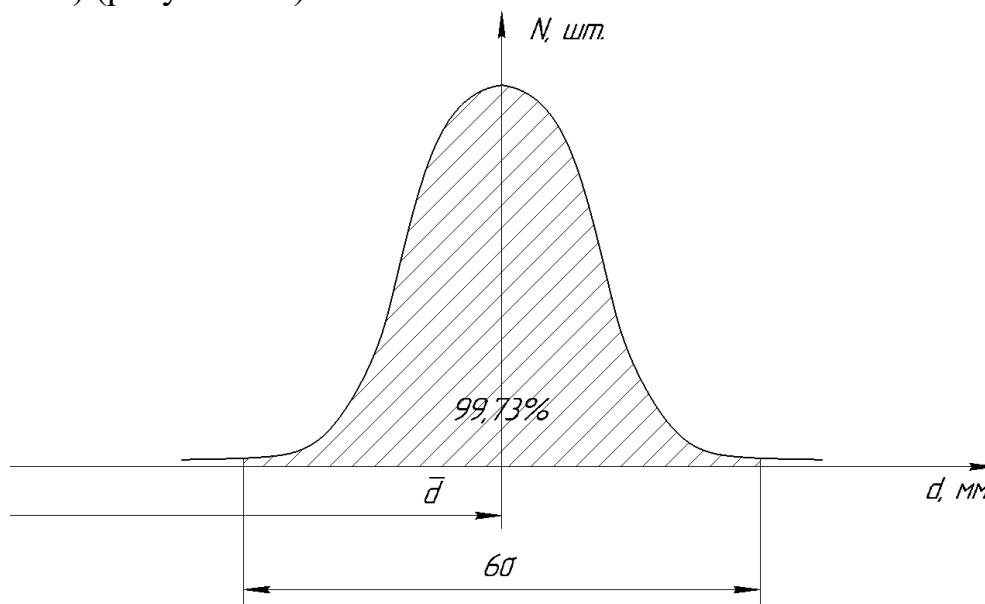
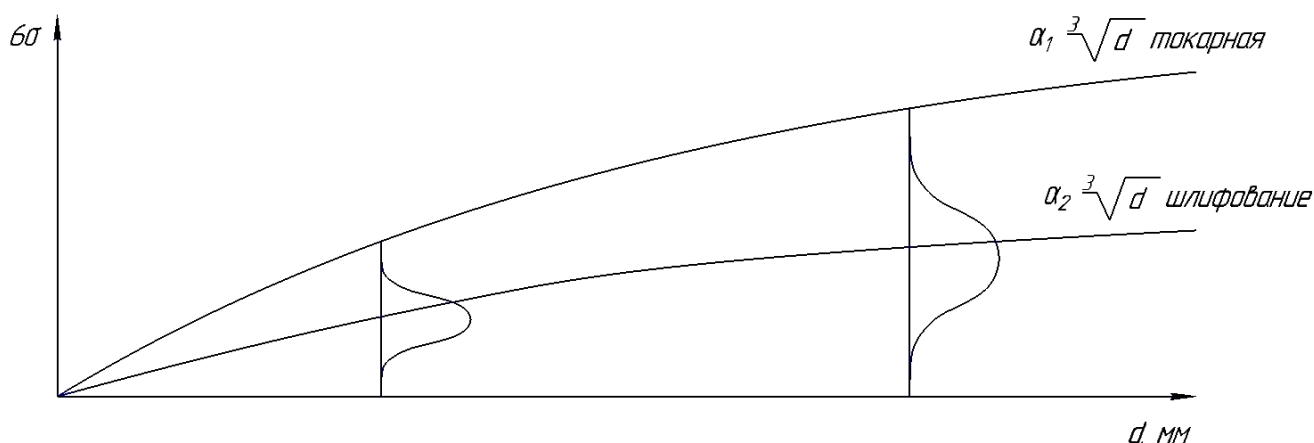


Рисунок 2.6 - Закон нормального распределения

Рассеивание размеров при обработке на настроенных станках – результат проявления случайных погрешностей при обработке. Процесс резания очень многофакторный, изменение факторов в каждой реализации дает разброс размеров. Предугадать (рассчитать) значение размеров невозможно, можно лишь оценить рассеивание.



**Рисунок 2.7 - Зависимость рассеяния от диаметров при точении и шлифовании (Ø1 – 500 мм)**

Зависимость единицы допуска от диаметра должна иметь тот же вид, что и погрешность обработки:

$$\Delta = 6\sigma \approx \alpha \sqrt[3]{d}, \text{к} \quad (2.2)$$

где  $\alpha$  - коэффициент.

**Таблица 2.2 – Единица допуска в ЕСДП**

| d, мм          | Единица допуска, мкм           |
|----------------|--------------------------------|
| до 500         | $i = 0,45\sqrt[3]{d} + 0,001d$ |
| от 500 до 3150 | $I = 0,04d + 2,1$              |

Здесь  $d = \sqrt{d_{\min} \cdot d_{\max}}$ , т.е. среднее геометрическое крайних размеров каждого интервала размеров.

Размерность  $[d]$  = мм,  $[i, I]$  = мкм.

Зная  $i$  ( $I$ ) допуск определяется по формуле:

$$T = a \cdot i, \quad (2.3)$$

где  $a$  – коэффициент, равный числу единиц допуска данного качества точности, не зависящий от номинального диаметра.

### **3. Интервалы нормальных диаметров.**

В системе ЕСДП допуски установлены в трех диапазонах размеров:

- 1) до 500 мм → 13 основных интервалов;
- 2) св. 500 мм до 3150 мм → 8 основных интервалов;
- 3) св. 3150 мм до 10000 мм → 5 основных интервалов.

Для построения рядов допусков каждый из диапазонов в свою очередь разделен на несколько интервалов. Величины допусков приняты одинаковыми для размеров, входящих в интервал.

В расчетные формулы для определения допусков и отклонений подставляют среднее геометрическое диаметра крайних размеров каждого интервала:

$$D = \sqrt{D_{\min} \cdot D_{\max}}, \quad (2.4)$$

где  $D_{\min}$  - нижняя граница интервала;

$D_{\max}$  - верхняя граница интервала.

Размеры по интервалам распределены таким образом, чтобы допуски, подсчитанные по крайним значениям (в каждом интервале  $D_{\min} \dots D_{\max}$ ), отличались от допусков, подсчитанных по среднему геометрическому ( $D$ ) размеру, не более, чем на 5–8 %.

#### 4. Квалитеты.

Для нормирования уровней точности в системах ISO и ЕСДП вводятся квалитеты.

Под **квалитетом** понимается совокупность допусков, изменяющихся в зависимости от номинального размера и соответствующих одинаковой степени точности, определяемой числом единиц допуска  $a$ .

1) В диапазоне до 500 мм – 19 квалитетов: 0,1; 0; 1; 2; ...17.

2) В диапазоне от 500 мм до 3150 мм – 18 квалитетов.

Для каждого квалитета можно определить допуск по формуле:

$$T = a \cdot i, \quad (2.5)$$

где  $T$  – допуск;

$i$  – единица допуска;

$a$  – число единиц допуска, в зависимости от номера квалитета – геометрическая прогрессия.

Построены закономерные ряды полей допусков с одинаковой относительной точностью для различных размеров. Число единиц допуска (коэффициент  $a$ ) в зависимости от номера квалитета – геометрическая прогрессия 5-го ряда с знаменателем  $\varphi = 1,6$  (таблица 2.3).

**Таблица 2.3 – Число единиц допуска по квалитетам**

| Квалитет | 5 | 6  | 7  | 8  | 9  | 10 | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16   | 17   |
|----------|---|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| $a$      | 7 | 10 | 16 | 25 | 40 | 64 | 100 | 160 | 250 | 400 | 640 | 1000 | 1600 |

Квалитеты 6–11 – наиболее применимые. Через пять квалитетов число  $a$  (и допуск) – на порядок больше. Можно построить квалитеты грубее 17:

$$IT18 = 10 \cdot IT13. \quad (2.6)$$

Допуски квалитетов обозначаются: IT0,1; IT0; IT1; ...IT17.

Пример: IT6 означает «ISO Tolerance 6», т.е. «Допуск ИСО» 6-го квалитета.

Примерные области применения квалитетов:

1) 0,1; 0; 1 – концевые меры длины.

2) 2; 3; 4 – калибры, особенно точные изделия.

- 3) 5...13 – размеры сопрягаемых деталей (в посадках).  
 4) 14...17 – неответственные размеры (большие допуски).

### **5. Нормальная температура.**

Стандартные допуски и отклонения относятся к деталям, размеры которых определены при нормальной температуре 20°C. Во всех странах – это наиболее близкая к температуре рабочих помещений машино и приборостроительных заводов. Допустимые отклонения температур даны в ГОСТ 8.050.

При измерении необходимо стремиться, чтобы температура измерительного средства и детали в момент контроля была одинаковой. Для этого их совместно выдерживают в одинаковых условиях – например, на чугунной плите.

При несовпадении температуры измерений с нормальной и коэффициентов линейного расширения материала детали и измерительного средства вводится температурная поправка:

$$\Delta l = l(\alpha_1 \Delta t_1 - \alpha_2 \Delta t_2), \quad (2.7)$$

где  $l$  – измеренный размер;

$\alpha_1, \alpha_2$  – коэффициенты линейного расширения материалов детали и измерительного средства.

Отклонение температур детали и измерителя от 20°C соответственно:

$$\Delta t_1 = t_1 - 20^\circ, \quad (2.8)$$

$$\Delta t_2 = t_2 - 20^\circ, \quad (2.9)$$

где  $t_1$  – температура детали;

$t_2$  – температура измерительного средства.

При полном выравнивании температур, но не равных 20°C, величина погрешности составит:

$$\Delta l \cong l \cdot \Delta t (\alpha_1 - \alpha_2), \quad (2.10)$$

где  $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t$ .

Для деталей сложной формы формула (2.10) носит приближенный характер, т.к. размеры этих деталей при нагреве изменяются нелинейно. Путь к точности – термokonстантные цехи с кондиционированием воздуха.

### **6. Основные отклонения ЕСДП.**

Для образования посадок с различными зазорами и натягами предусмотрено по 27 вариантов основных отклонений валов и отверстий.

**Основное отклонение** – ближайшее к нулевой линии отклонение, определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии.

Основные отклонения обозначаются буквами латинского алфавита: прописными – отверстия, строчными – валы.

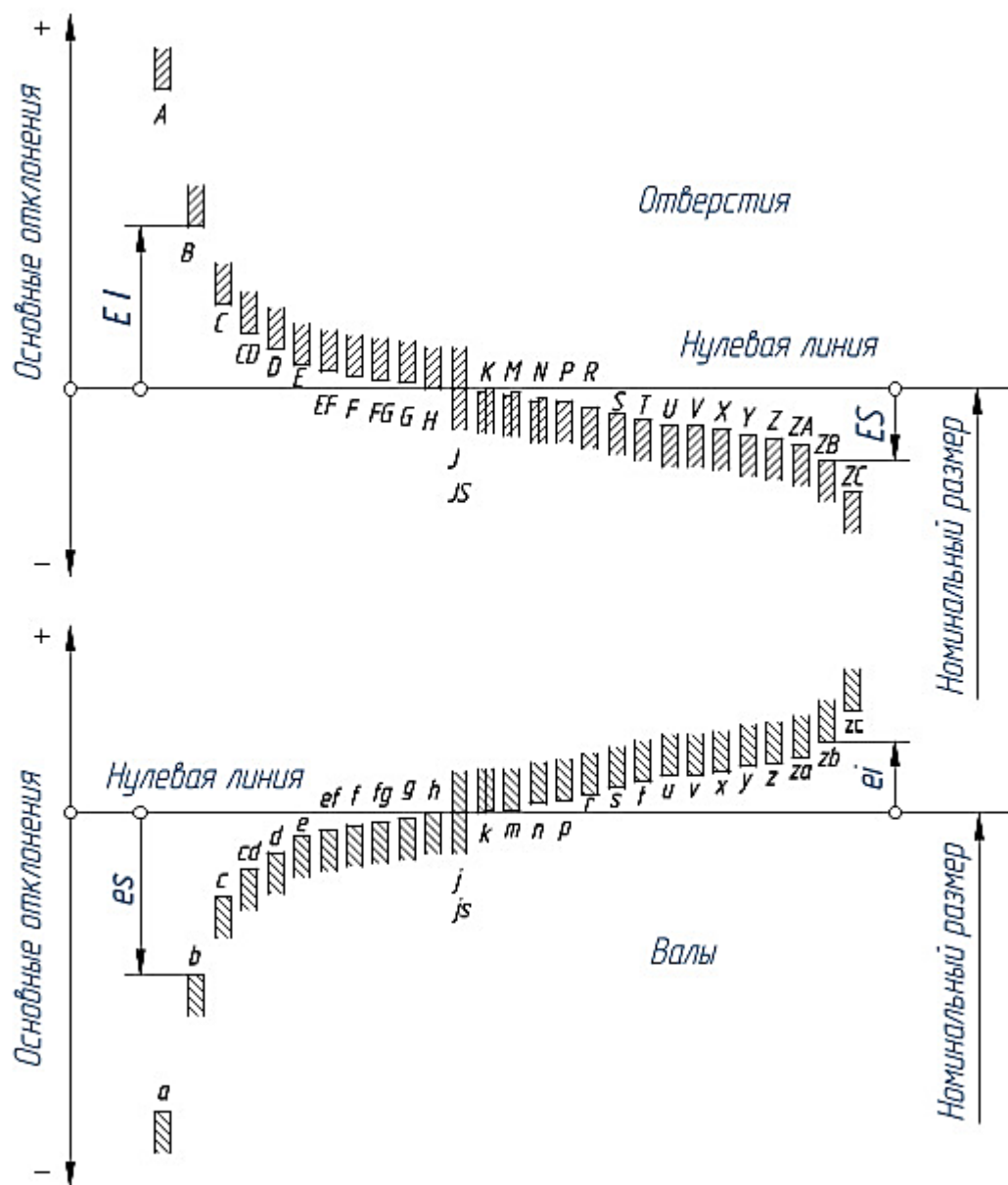


Рисунок 2.8 – Основные отклонения ЕСДП

Имеется 27 основных отклонений для отверстий: A, B, C, CD, D, E, EF, F, FG,...,JS,..., Z, ZA, ZB, ZC.

Имеется 27 основных отклонений для валов: a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g,...,js,..., z, za, zb, zc.

Основные отклонения A–H (a–h) – применяют для образования полей допусков посадок с зазорами.

Основные отклонения J–N (j–n) – применяют для образования полей допусков переходных посадок и посадок с натягом.

Основные отклонения P–ZC (p–zc) – применяют для образования полей допусков посадок с натягом.

Промежуточные основные отклонения обозначаются двумя буквами соседних основных отклонений – cd, ef.

Основное отверстие ( $EI = 0$ ) обозначается H, основной вал ( $es = 0$ ) – h.

Буквами js, JS обозначается симметричное поле допуска относительно нулевой линии. Числовые значения верхнего и нижнего отклонений одинаковы и определяются квалитетом:  $es (ei) = \pm IT/2$ .

Буквами j, J обозначаются приближенно симметричные поля допусков.

Каждой буквой обозначается ряд основных отклонений, величина которых изменяется только в зависимости от номинального диаметра. Величина основного отклонения не зависит от квалитета.

Исключение – основные отклонения отверстий J, K, M, N и валов j и k, которые при одинаковых номинальных размерах в разных квалитетах имеют различные значения. На схемах иногда изображены ступенчатыми.

Специальное правило – применяется при  $D > 3$  мм для отверстий J, K, M, N с допусками до IT8, а также для отверстий от P до ZC с допусками до IT7:

$$ES = -ei + \Delta, \quad (2.11)$$

где  $\Delta = IT_n - IT_{n-1}$ .

В таблицах ГОСТ 25347 поправка уже внесена. Величина и знак основных отклонений валов также берутся по таблицам ГОСТ 25347.

Для тех же буквенных обозначений основное отклонение отверстий определяется по общему правилу:

$EI = -es \dots$  для A – H;

$ES = -ei \dots$  для J – ZC.

Поля допусков образуются сочетанием одного из основных отклонений с допуском по одному из квалитетов. Обозначение поля допуска: буква основного отклонения и цифра – номер квалитета. Например:

- вал h6, d11;
- отверстие H6, D11.

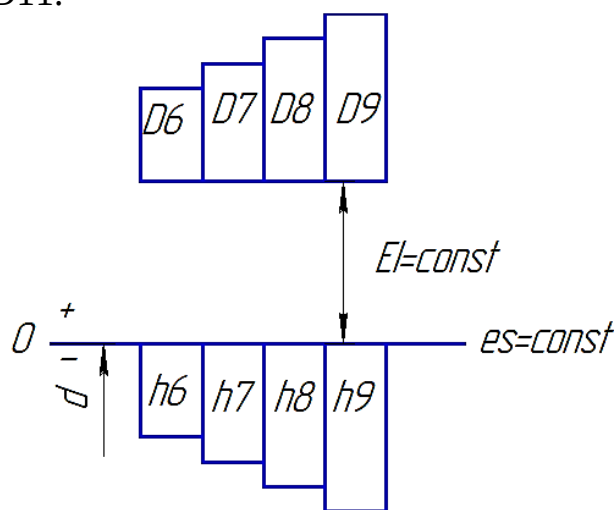


Рисунок 2.9 – Образование полей допусков по основному отклонению и квалитету

Поле допуска располагается от основного отклонения в направлении от нулевой линии (выше нулевой линии - в «+», ниже - в «-»).

Второе предельное отклонение определяется по основному отклонению и допуску принятого качества.

Если основное отклонение верхнее, то нижнее равно:

$$ei = es - IT, \quad (2.12)$$

$$EI = ES - IT. \quad (2.13)$$

Если основное отклонение нижнее, то верхнее равно:

$$es = ei + IT, \quad (2.14)$$

$$ES = EI + IT. \quad (2.15)$$

Подставлять значения  $ei$ ,  $es$ ,  $EI$ ,  $ES$  в формулы (2.12) ... (2.15) необходимо с учетом знаков.

Сочетание любых основных отклонений с любыми качествами дает свыше 1000 полей допусков для валов и отверстий. Применение такого количества полей допусков неэкономично, так как невозможна унификация изделий, размерных режущих инструментов и калибров.

Поэтому в ЕСДП отобраны и рекомендованы к применению поля допусков основного набора – 80 для валов, 12 для отверстий. Среди них еще отобраны поля допусков предпочтительного применения. Они, как показала практика, обеспечивают до 90–95% посадок общего применения. Эти поля выделены в таблицах ГОСТ жирным шрифтом – для размеров 1 – 500 мм: 10 отверстий и 16 валов.

При больших размерах (свыше 500 мм) изготовление изделий носит индивидуальный характер. Жесткие калибры и размерный инструмент применяют редко. Поэтому предпочтительные поля допусков для размеров свыше 500 мм не установлены, так как это не дает того экономического эффекта, который достигается при размерах до 500 мм.

Применение предпочтительных полей допусков создает условие для унификации и централизации производства стандартного режущего и мерительного инструмента на специализированных предприятиях. Стоимость продукции при этом в 3–5 раз ниже, чем стоимость продукции инструментальных цехов машиностроительных заводов. Номенклатура нормального инструмента, выпускаемого централизованно, определяется только рядами полей допусков основного набора.

Посадки можно получить, сочетая любые поля допусков из рекомендованных к применению. Однако в ЕСДП установлены посадки только двух групп:

1) **система отверстия** – посадки с основным отверстием H ( $EI = 0$ );

2) **система вала** – посадки с основным валом h ( $es = 0$ ).

В каждой группе установлены посадки с зазорами, переходные и с натягом. Например:  $\varnothing 80F7/h6$  и  $\varnothing 80H7/f6$ .

Во всех диапазонах размеров выделены рекомендуемые посадки. В диапазоне 1–500 мм – 69 в системе отверстия и 61 в системе вала. Предпочтительные посадки для первоочередного применения – 17 в системе отверстия и 10 в системе вала. Например: H7/f7, H7/n6.

Посадки, полученные сочетанием основного вала или отверстия с неосновным отверстием или валом одного квалитета, называют основными. Например: H7/f7, H7/h7.

Если берутся поля допусков разных квалитетов (H7/n6) – получают комбинированную посадку.

Сочетание полей допусков валов и отверстий, взятых из разных систем, ГОСТ не рекомендует. Например: F6/f7. Одно из полей допусков должно быть основным – H или h. Однако бывают исключения по конструктивным соображениям.

По экономическим соображениям система отверстия для посадок предпочтительнее. В ГОСТ 25347 предпочтительных посадок в системе отверстия больше (17 в системе отверстия и 10 в системе вала).

В рекомендуемых и предпочтительных посадках квалитет отверстия, как правило, на 1 больше (грубее) квалитета вала. Это обходится дешевле при изготовлении изделий.

## 2.2 Обозначение предельных отклонений размеров и посадок на чертежах

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах:

- 1) буквенным обозначением полей допусков;
- 2) числовыми значениями;
- 3) буквенными обозначениями полей допусков с одновременным указанием числовых величин.

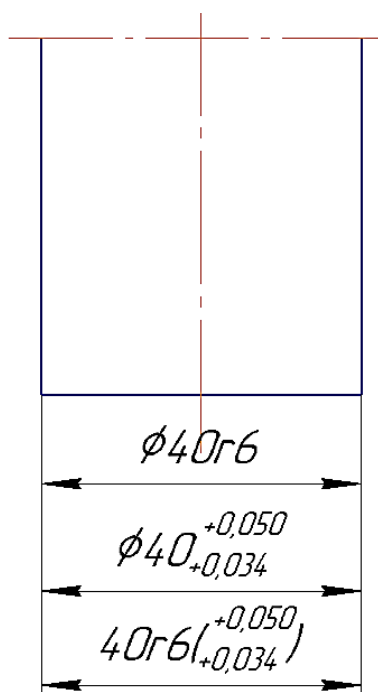


Рисунок 2.11 – Обозначения предельных отклонений линейных размеров на чертежах

Посадки и предельные отклонения деталей, изображенных на чертеже в собранном виде указывают:

- 1) дробью, в числителе буквенное обозначение допуска отверстия, в знаменателе вала;
- 2) дробью, где в числителе буквенное и справа в скобках числовое значение отклонений размеров отверстия, в знаменателе аналогично вала;
- 3) дробью, где в числителе предельные отклонения отверстия, в знаменателе – вала.

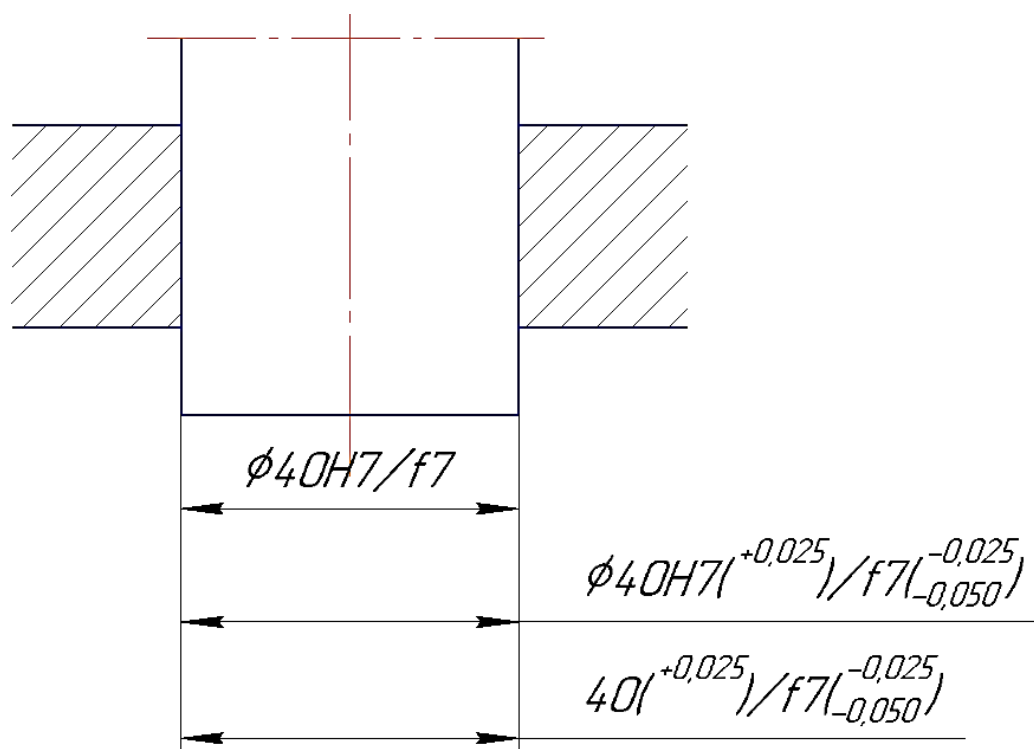


Рисунок 2.12 – Изображение на чертежи посадки с предельными отклонениями деталей

Для участков поверхности с одинаковым номинальным размером, но разными предельными отклонениями границу между ними наносят сплошной тонкой линией, а номинальный размер с отклонениями наносят для каждого участка отдельно.

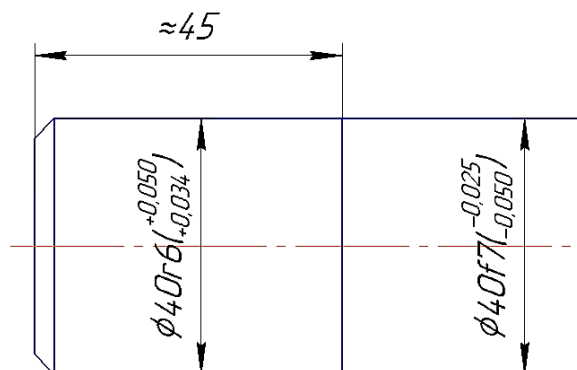


Рисунок 2.13 – Участок поверхности с одинаковым номинальным размером, но разными предельными отклонениями

## **2.3 Выбор системы посадок, качества и вида посадок**

### **2.3.1 Выбор системы посадок**

В машиностроении преимущественно применяются посадки в системе отверстия, как более экономичные.

Посадки системы вала применяются:

- при соединении с одним валом нескольких отверстий – при одном номинальном  $d$ , но разных посадках;
- для соединения подшипников качения с корпусами;
- для соединения отверстий с валами, изготовленными из холодноотянутых калиброванных прутков;
- по конструктивным соображениям – при невозможности сборки в системе отверстия.

### **2.3.2 Выбор качества (точности изготовления)**

При выборе качества руководствуются рядом общих положений.

1. Техничко-экономические факторы. С уменьшением допуска повышается качество, но резко усложняется и увеличивается стоимость изготовления изделий. Следует назначать такую точность, которая при наименьших затратах обеспечит заданную работоспособность машины.

2. Технологические возможности достижением намеченной точности. Каждый метод обработки (станок) характеризуется экономически целесообразной точностью. Точность оборудования зависит от его состояния (износа) и организации техпроцесса. Например:

– Обтачивание полуступенчатое: экономическая точность IT12–IT14; достижимая – IT6 – IT7.

– Шлифование круглое чистовое: экономическая точность – IT6 – IT7.

3. Средний уровень точности, обеспечивающий работоспособность продукции. Например, в сельскохозяйственном машиностроении большинство сопряжений выполняют по IT8, IT9.

4. Возможность проверки намеченной точности размеров. Достижимая точность измерительных средств должна соответствовать точности продукции.

5. Наличие посадок и их виды.

В диапазоне от 1 – 500 мм посадки:

- с зазором установлены в IT4– IT12 качестве;
- переходные в IT4– IT7 качестве;
- с натягом в IT5– IT8 качестве.

При выборе качества используют опыт проектирования и эксплуатации аналогичных изделий.

Ответственные соединения машин и приборов выполняют: отверстие по IT7, валы – IT6.

При менее высоких требованиях для упрощения технологии применяют IT8. В соединениях, допускающих большие зазоры и для обеспечения сборки IT9–IT12. Допуски несопрягаемых (свободных) размеров IT11–IT17.

### 2.3.3 Выбор посадок

Основными характеристиками посадок служат значения наименьших зазоров и натягов и их допусков:  $S_{min}$ ,  $N_{min}$ ,  $TS$ ,  $TN$ .

В настоящее время для подбора посадок применяют два метода: метод подобия и расчетный метод.

В методе подобия используются рекомендации по применению отдельных посадок на основе опыта проектирования и эксплуатации машины, приборов и их узлов. Характеризуется отсутствием точных критериев и требует большого опыта проектирования.

Расчетный метод дает более обоснованные результаты. Однако нет общего метода расчета всех посадок – слишком велико разнообразие характера соединений. Разработаны методы расчета натягов в неподвижных посадках, соединениях подшипников качения с валами, для вычисления зазоров в подшипниках скольжения.

## 2.4 Характеристика и выбор посадок с зазором

Посадки с зазором применяют:

- 1) в неподвижных соединениях для облегчения сборки при невысокой точности центрирования;
- 2) в регулируемых соединениях;
- 3) для обеспечения смазки трущихся поверхностей (подшипники скольжения) и компенсации тепловых деформаций;
- 4) для сборки деталей с антикоррозийными покрытиями.

Характеристика посадок с зазором.

– Посадки H/h ( $S_{min} = 0$ ) (первоочередного применения H7/h6, H8/h7, H8/h8, H11/h11) обеспечивают высокую точность центрирования и поступательного перемещения деталей при регулировке положения, могут заменять переходные посадки. Применение – неподвижные соединения с дополнительным креплением при частых разборках. В подвижных соединениях – для точного центрирования при медленных перемещениях.

– Посадки H/g; G/h – «движения» (первоочередного применения H7/g6). Используют для точных подвижных соединений – подшипники скольжения, шпиндели точных станков, центрифуг.

– Посадки H/f; F/h – «ходовые» (H7/f7; F8/h6). Применение: подшипники скольжения, опоры поступательного перемещения, поршни в цилиндрах компрессоров. В неподвижных соединениях – легкая сборка при невысокой точности.

– Посадки H/e; E/h – «легкоходовые» - значительный гарантированный зазор (H7/e8; H8/e8; E9/h8). Обеспечивается свободное вращательное движение при значительных нагрузках и высоких скоростях. Применение: подшипники жидкостного трения валов больших электромашин, центробежных насосов и т.п.

– Подшипники H/d; D/h – «широкоходовые» (H8/d9, H9/d9, H11/d11). Характеризуется большим гарантированным зазором для компенсации значительных отклонений расположения, температурных деформаций. Применение: поршни в цилиндрах компрессоров, клапанные коробки в корпусах компрессоров, для удобства разборки которых при образовании нагара и высокой температуры необходим значительный зазор.

– Посадки H/a; H/b; H/c; A/h; B/h; C/h – с большими зазорами. Применяются в грубых квалитетах (IT11, IT12) для конструкций малой точности. Большие зазоры необходимы для компенсации отклонений расположения и т.д.: крышки подшипников, фланцевые соединения, валы в подшипниках сельскохозяйственных машин.

### 3 НОРМИРОВАНИЕ И КОНТРОЛЬ ОТКЛОНЕНИЙ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ, ВОЛНИСТОСТИ И ШЕРОХОВАТОСТИ

Геометрическими параметрами деталей, определяющими их взаимозаменяемость, являются размеры, форма, расположение поверхностей и осей, волнистость и шероховатость.

Принято различать номинальные и действительные размеры, форму, расположение поверхностей и осей.

**Номинальные** параметры задаются рабочим чертежом детали.

**Действительными** размерами, формой и расположением поверхностей и осей считаются параметры деталей, полученные в результате обработки и определенные с помощью средств измерения.

Качество машины тем выше, чем меньше погрешности изготовления деталей, т.е. выше их точность.

**Точность** – это степень приближения действительных параметров детали к номинальным.

Различают два вида точности:

- нормированная точность – характеризуется допустимыми отклонениями от расчетных значений параметров. Задается конструктором;

- действительная точность – характеризуется действительными отклонениями, определенными при измерении. Выдерживается технологом.

- На практике всегда приходится иметь дело с **погрешностью** – отступление действительных размеров детали от номинальных.

Наиболее часто достижению заданной точности препятствуют следующие причины:

- 1) погрешности оборудования (в размерных технологических цепях, температурные факторы, деформации отдельных частей);

- 2) погрешности приспособлений (например трехкулачковый самоцентрирующийся патрон);

- 3) погрешности инструмента и оснастки (неабсолютная точность его формы, размерный износ);

- 4) погрешность однородности материала и припуска (внутреннее напряжение);

- 5) погрешность измерительного инструмента (несовершенство измерительных средств);

- 6) погрешность рабочего (несовершенство органов чувств при считывании показаний и квалификация).

Изобразим практически отклонения размеров формы, расположения поверхностей и осей на примере втулки (рисунок 3.1).

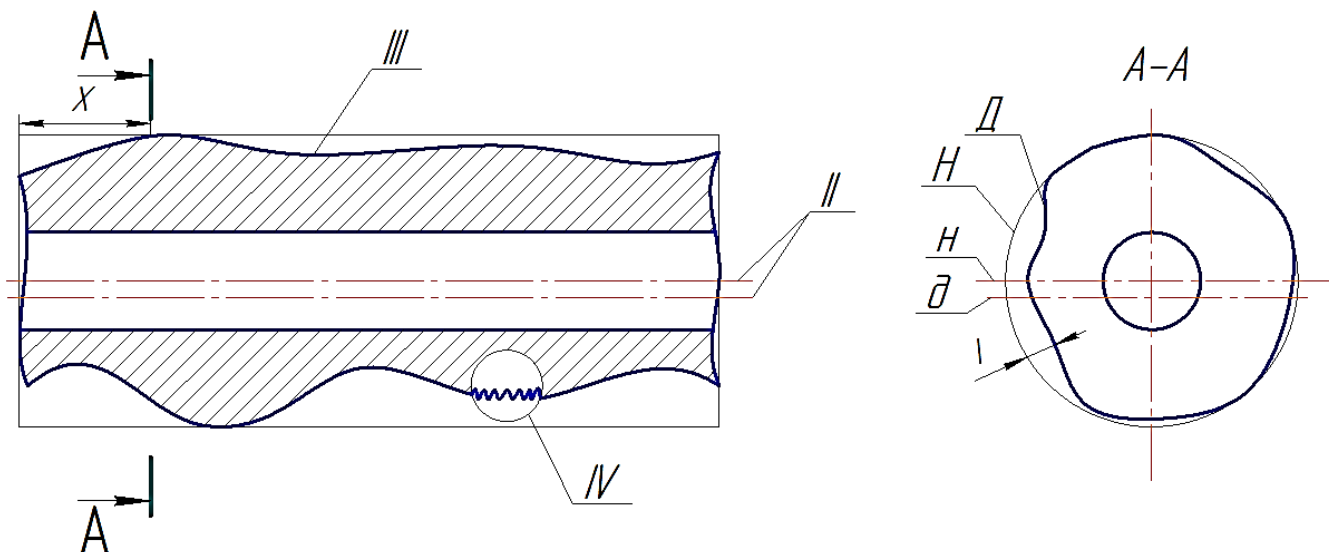


Рисунок 3.1 – Отклонение размеров формы, расположения поверхностей и осей втулки

Точность геометрических параметров характеризуется:

1. Точностью размера – отклонение 0-го порядка.

$$\Delta r = r - r_0 = f(x, \phi), \quad (3.1)$$

где  $r$  – текущий размер (радиус);

$r_0$  – номинальный размер.

2. Точность формы – отклонение 1-го порядка.
3. Точность взаимного расположения поверхностей и осей – отклонение 2-го порядка.
4. Волнистостью поверхности – отклонении 3-го порядка.
5. Шероховатость поверхности – отклонение 4-го порядка.

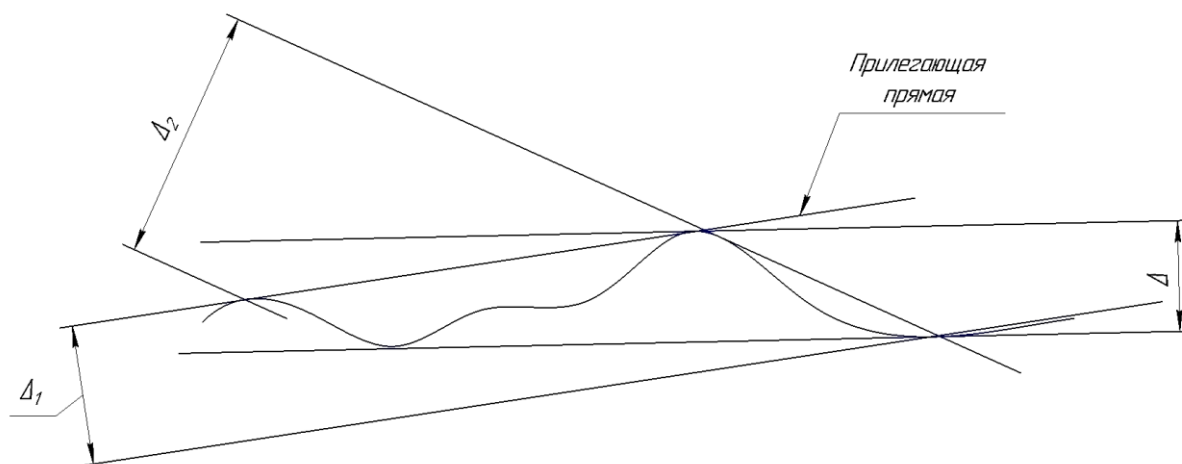
### 3.1 Отклонение и допуски формы

Оценивается в соответствии с ГОСТ 24642. В основу ГОСТа положен **принцип прилегающих поверхностей и профилей**.

Основными видами прилегающих поверхностей и профилей являются прилегающая плоскость и прилегающий цилиндр.

**Прилегающая плоскость** – плоскость, соприкасающаяся с действительной поверхностью и располагающаяся вне материала детали так, что наибольшее расстояние от прилегающей плоскости до действительной поверхности является минимальным (в пределах длины  $L$ ).

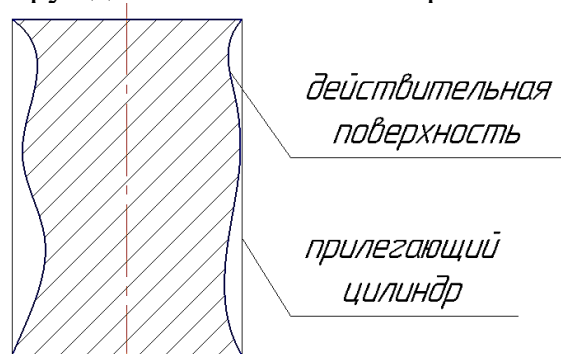
Частным случаем прилегающей плоскости является прилегающая прямая.



$\Delta$  – отклонение реального расположения элемента от прилегающего элемента

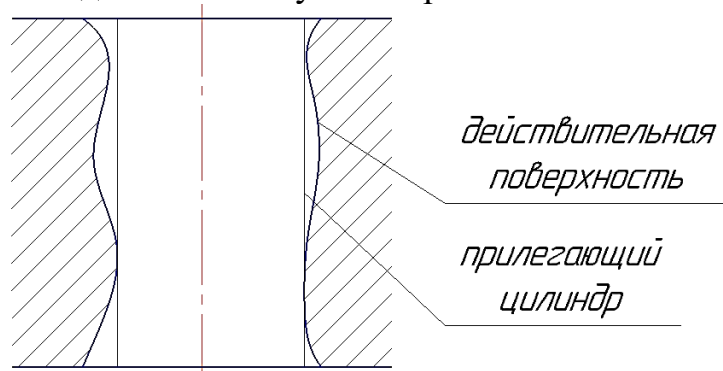
**Рисунок 3.2 – Прилегающая прямая**

**Прилегающий цилиндр для вала** – цилиндр номинального возможного диаметра, описанный вокруг действительной поверхности детали.



**Рисунок 3.3 – Прилегающий цилиндр для вала**

**Прилегающий цилиндр для отверстия** – цилиндр наибольшего возможного диаметра, вписанный в действительную поверхность.



**Рисунок 3.4 – Прилегающий цилиндр для отверстия**

**За величину отклонения формы** принимают наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающей поверхности.

Отклонения формы могут быть комплексными (общими) или дифференцированными (частными).

### 3.1.1 Отклонения формы цилиндрических деталей

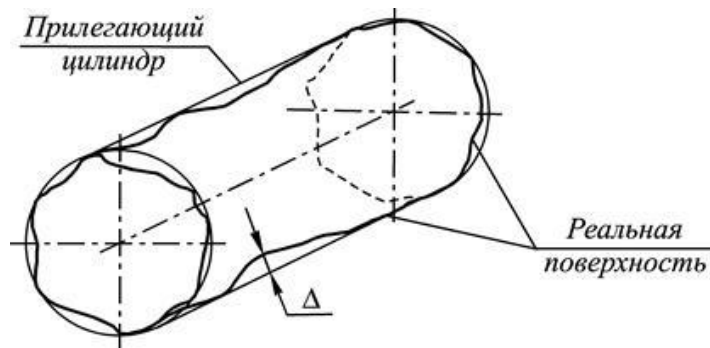


Рисунок 3.5 – Отклонение от цилиндричности

Комплексный показатель – **отклонение от цилиндричности**, наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающего цилиндра.

Включает в себя все виды отклонений формы от прямого круглого цилиндра, что не всегда удобно для анализа.

Рассмотрим поперечное и продольное сечения цилиндра.

#### 3.1.1.1 Поперечное сечение

Комплексный показатель – **отклонение от круглости**.

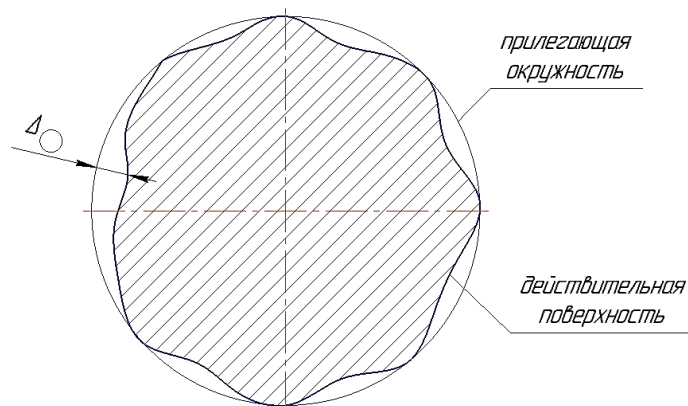
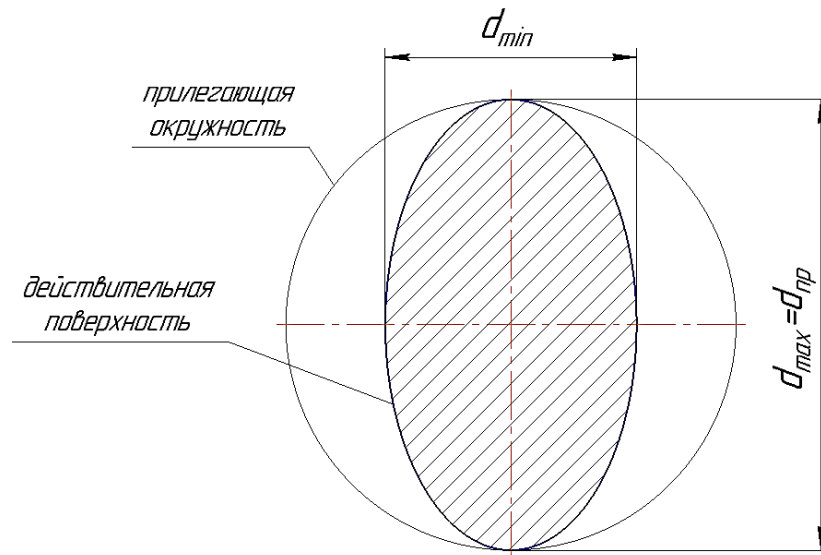


Рисунок 3.6 – Отклонение от круглости

**Отклонение от круглости** – наибольшее расстояние между действительной поверхностью и прилегающей окружностью.

К дифференцированным отклонениям от круглости относят овальность и огранку.

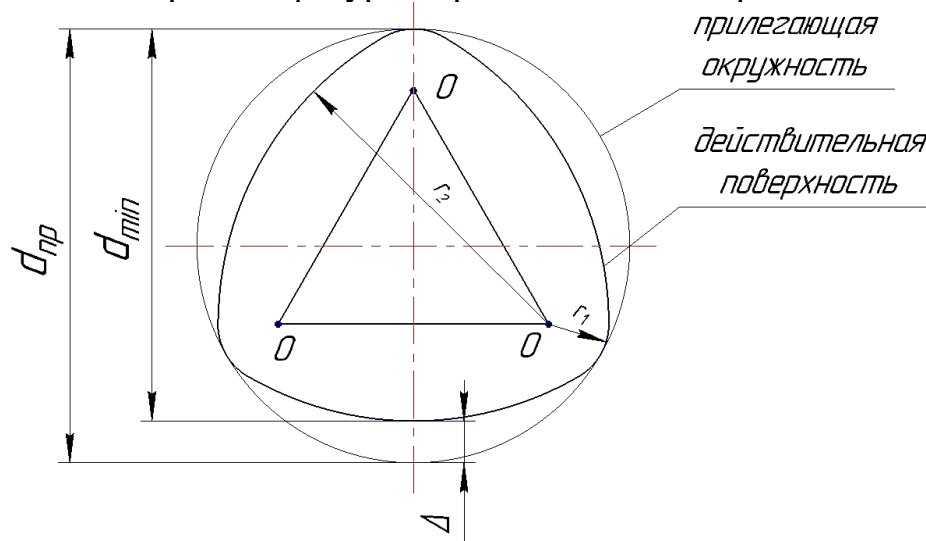
**Овальность** – отклонение от круглости, когда наибольший и наименьший диаметры взаимно перпендикулярны.



**Рисунок 3.7 - Овальность**

$$\Delta_{ов} = \frac{d_{пр} - d_{min}}{2} = \frac{d_{max} - d_{min}}{2}. \quad (3.2)$$

**Огранка** – многогранная фигура с криволинейными гранями.



$O$  – мгновенные центры вращения детали при обработке;  $r_1 + r_2 = const$

**Рисунок 3.8 - Огранка**

$$\Delta_{огр.} = d_{пр} - d_{min}. \quad (3.3)$$

Огранка – типичный дефект технологической операции бесцентровое шлифование. При нечетном числе граней размер детали в любом сечении  $d = d_{min} = const$ .

### 3.1.1.2 Продольное сечение цилиндра

Комплексный показатель - *отклонение профиля продольного сечения*.

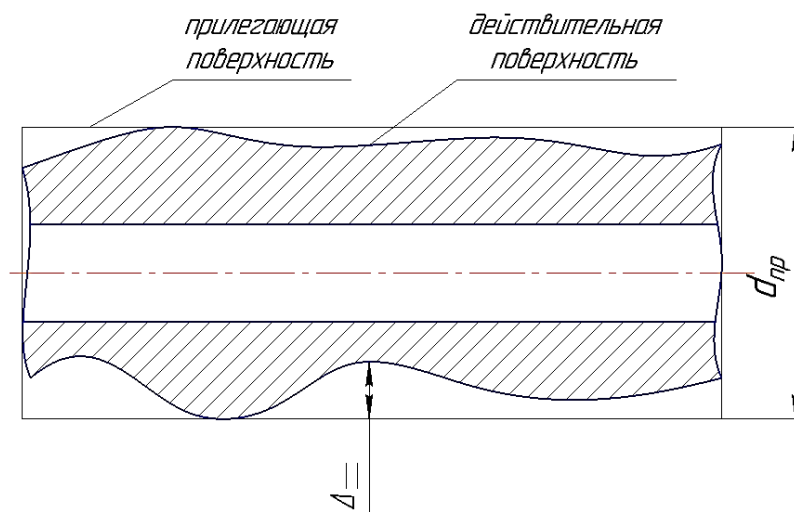


Рисунок 3.9 – Отклонение профиля продольного сечения

Дифференцированные отклонения формы получаются за счет отклонения и искривления образующей.

**Бочкообразность** – отклонения профиля продольного сечения при которой образующие непрямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине. Причина возникновения – жесткость вала выше жесткости передней и задней бабок токарного станка.

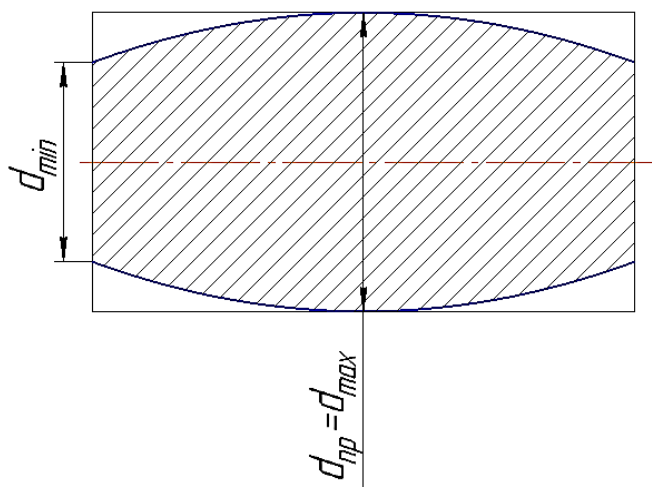


Рисунок 3.10 - Бочкообразность

$$\Delta \delta = \frac{d_{нр} - d_{min}}{2} = \frac{d_{max} - d_{min}}{2}. \quad (3.4)$$

**Седлообразность** – отклонения профиля продольного сечения при которой образующие непрямолинейны и диаметры уменьшаются от краев к середине. Причина возникновения – жесткость вала ниже жесткости передней и задней бабок токарного станка.

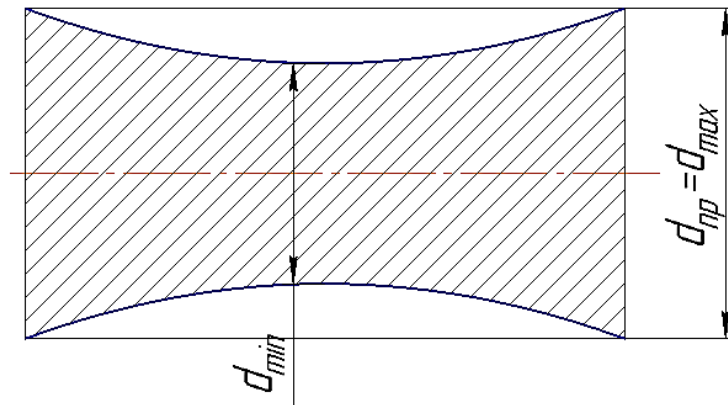


Рисунок 3.11 - Седлообразность

$$\Delta c = \frac{d_{пр} - d_{min}}{2} = \frac{d_{max} - d_{min}}{2}. \quad (3.5)$$

**Отклонение от прямолинейности оси (или линии)** в пространстве – эквидистантный изгиб образующих и оси цилиндра.

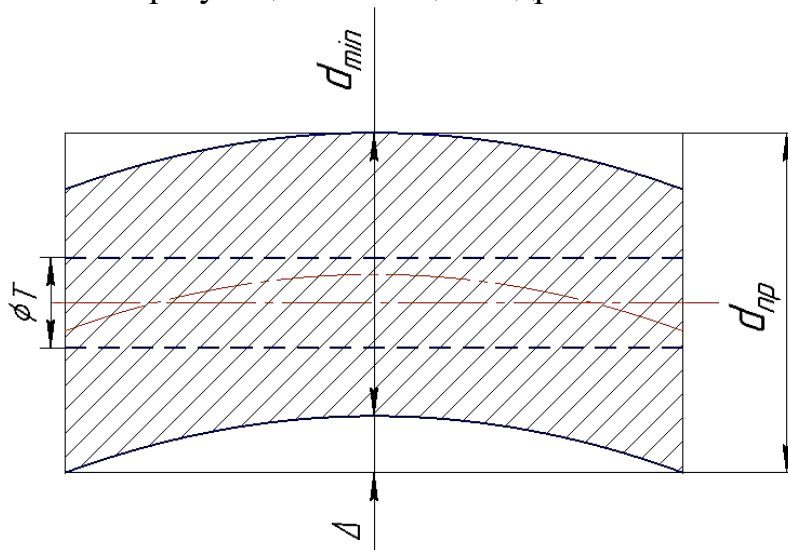


Рисунок 3.12 – Отклонение от прямолинейности оси

$$\Delta = d_{пр} - d_{min}. \quad (3.6)$$

Причина возникновения - неравномерно распределенные остаточные напряжения материала, например, после термообработки.

Поле допуска отклонения оси от прямолинейности  $T$  – цилиндр  $\emptyset T$  на рисунке 3.12.

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

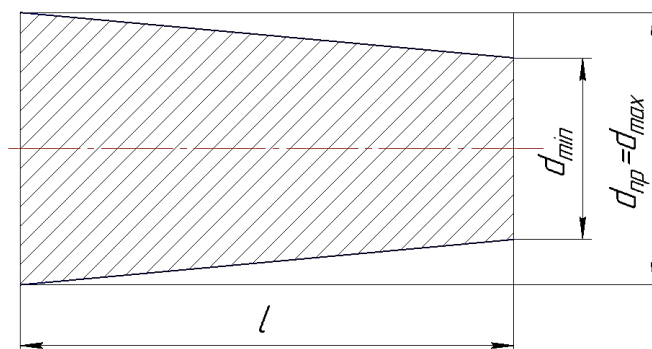


Рисунок 3.13 - Конусообразность

Абсолютная конусность:

$$\Delta\kappa = \frac{d_{np} - d_{min}}{2}. \quad (3.7)$$

Относительная конусность (на единицу длины):

$$\kappa = \frac{\Delta\kappa}{l}, \quad (3.8)$$

Причина возникновения – износ резца, смещение центров (не параллельность оси центров направляющим) при токарной обработке.

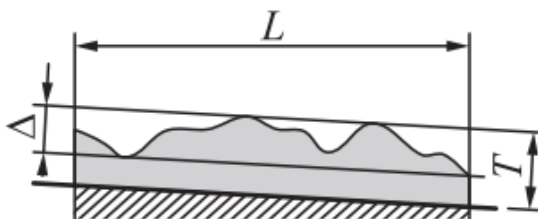
### 3.1.2 Отклонения формы плоских деталей

К комплексным показателям относятся отклонения от плоскостности и прямолинейности.

**Отклонение от плоскостности** – наибольшее расстояние от точек действительной поверхности до прилегающей плоскости.

В любом сечении отклонение профиля регламентируется отклонением от прямолинейности.

**Отклонение от прямолинейности** – наибольшее расстояние от точек действительного профиля до прилегающей прямой (рисунок 3.14).



$T$  – поле допуска отклонения от прямолинейности

Рисунок 3.14 – Отклонение от прямолинейности ( $\Delta$ )

Дифференцированные показатели номинально плоских и номинально прямолинейных поверхностей называются выпуклость и вогнутость.

**Выпуклость** характеризуется тем, что удаление точек реальной поверхности (или реального профиля) от прилегающей плоскости (прямой) увеличивается от середины к краям (рисунок 3.15). При обратном характере удаления точек имеет место **вогнутость**.

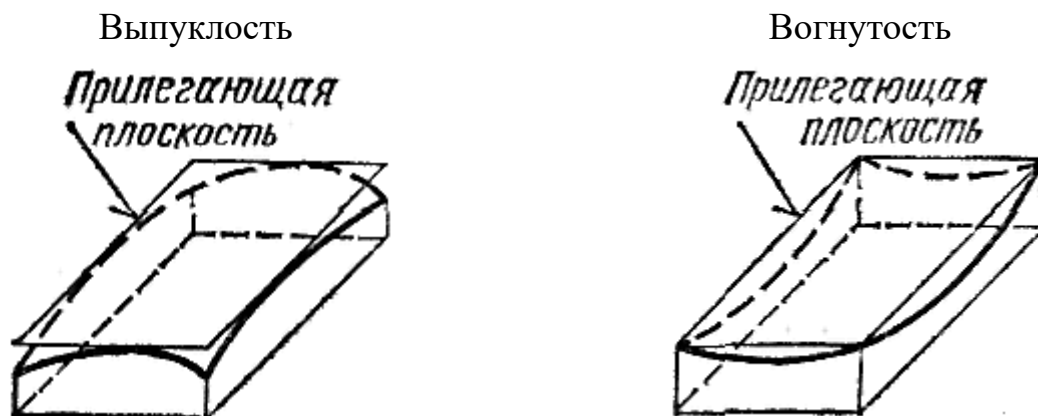


Рисунок 3.15 – Дифференцированные показатели отклонений формы плоских деталей

### 3.1.3 Числовые значения отклонений формы

По ГОСТ 24643 установлено шестнадцать степеней точности формы: 1...16, 1-ая - самая точная. Допуски от степени к степени увеличиваются в 1,6 раза.

Выбор степени точности зависит от уровня относительной геометрической точности формы:

А – нормальная,  $T_{\text{формы}} \leq 60\% T_{\text{размера}}$ ;

В – повышенная,  $T_{\text{формы}} \leq 40\% T_{\text{размера}}$ ;

С – высокая,  $T_{\text{формы}} \leq 25\% T_{\text{размера}}$ .

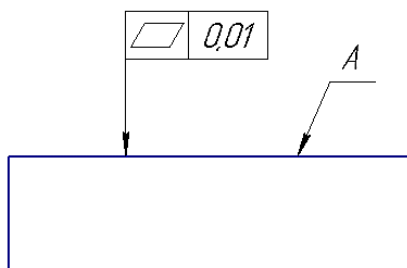
Если на рабочем чертеже детали нет особых указаний, то уровень относительной геометрической точности – А (нормальный). Все допуски формы укладываются в допуск размера.

Уровни В и С назначаются в особых случаях, по функциональным или технологическим причинам – смотреть ГОСТ 24642.

Таблица 3.1 - Обозначение на чертежах допусков формы по ГОСТ 2.308

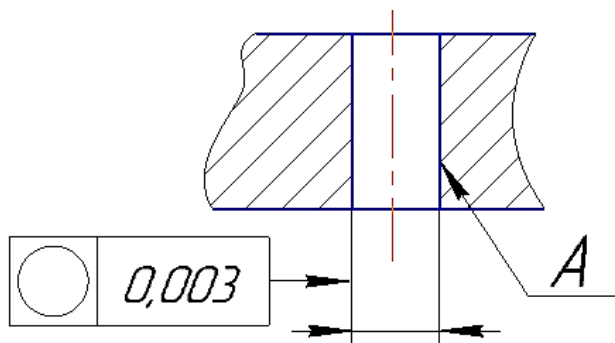
| Вид допуска                            | Условное обозначение |
|----------------------------------------|----------------------|
| Отклонение от прямолинейности          | —                    |
| Отклонение от плоскостности            | ▭                    |
| Отклонение от круглости                | ○                    |
| Отклонение от цилиндричности           | ⌀                    |
| Отклонение профиля продольного сечения | ≡                    |

Указание допусков формы на чертеже (предпочтительная форма) приведено на рисунках 3.16 и 3.17.



**Рисунок 3.16 – Указание на чертежах допусков формы плоских деталей**

При недостатке места на чертеже поверхность обозначается (A) и в технических требованиях записывается: «Допуск плоскостности поверхности A 0,01 мм».



**Рисунок 3.17 - Указание на чертежах допусков формы цилиндрических деталей**

Текстовый вариант указания: «Допуск круглости поверхности A 0,003 мм». Если допуск относится к поверхности или ее профилю, а не к оси элемента, то стрелку располагают на некотором расстоянии от размерной линии (рисунок 3.17).

### **3.1.4 Методы контроля отклонения формы**

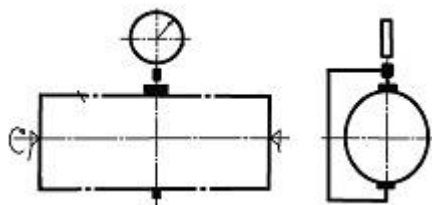
Измерения отклонений от плоскостности поверхностей деталей включают сравнение реального элемента (поверхности, профиля) с номинальным элементом, который называют исходной плоскостью или прямой, и оценку расхождений между ними.

В качестве исходной плоскости (прямой) применяют рабочие поверхности поверочной плиты, лекальной линейки, поверхность свободно налитой жидкости, луч света и др. [1].

Контроль отклонение от плоскостности заключается в контроле прямолинейности в нескольких направлениях и пересчете.

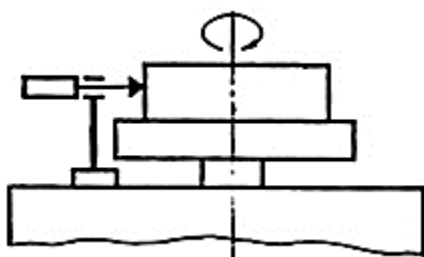
Контроль плоскостности шаброванных поверхностей выполняют с помощью поверочных плит по методу пятен «на краску». Направляющие станков нормальной точности на квадрате 25×25 мм – 12-25 пятен, станки особо высокой точности – более 30 пятен.

Отклонение формы цилиндрических поверхностей. Контроль цилиндричности выполняется накладным или станковым двухточечным средством измерения - путем измерения колебания диаметров поверхности (приближенный контроль – входят погрешности центровых гнезд, направляющих) (рисунок 3.19).



**Рисунок 3.19 – Измерение отклонения от цилиндричности**

Контроль круглости – на кругломерах, методом «образцового вращения» (рисунок 3.20).

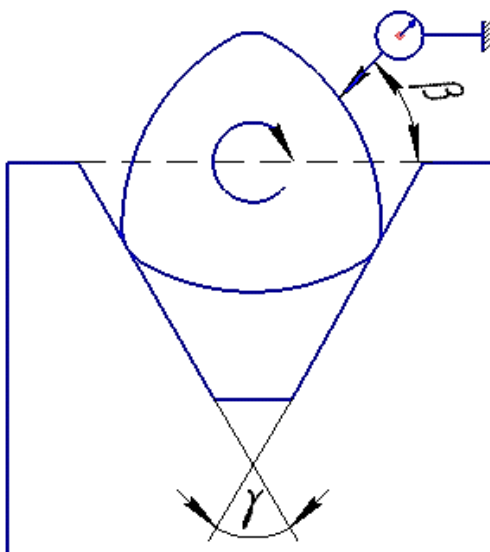


**Рисунок 3.20 – Схема измерения отклонения от круглости на кругломере**

Реальный профиль сравнивается с траекторией точного вращения шпинделя кругломера.

Контроль овальности (погрешности формы с четным числом граней) – двухконтактным прибором (приближенный способ).

Контроль огранки с нечетным числом граней – трехконтактным способом – в призме.



**Рисунок 3.21 – Измерение отклонения от круглости по трехточечной схеме в призме**

Отклонение от круглости определяется из размаха показаний индикатора пересчетом, с учетом числа граней, и углов  $\gamma$  и  $\beta$ .

Контроль отклонения от прямолинейности оси выполняется на ножевых опорах (рисунок 3.22), на поверочной плите или двух призмах.

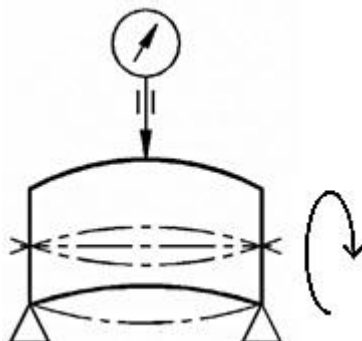


Рисунок 3.22 – Измерения отклонения от прямолинейности оси

Для измерения конусообразности, бочкообразности и седлообразности достаточно измерить диаметры по краям и в середине продольного сечения.

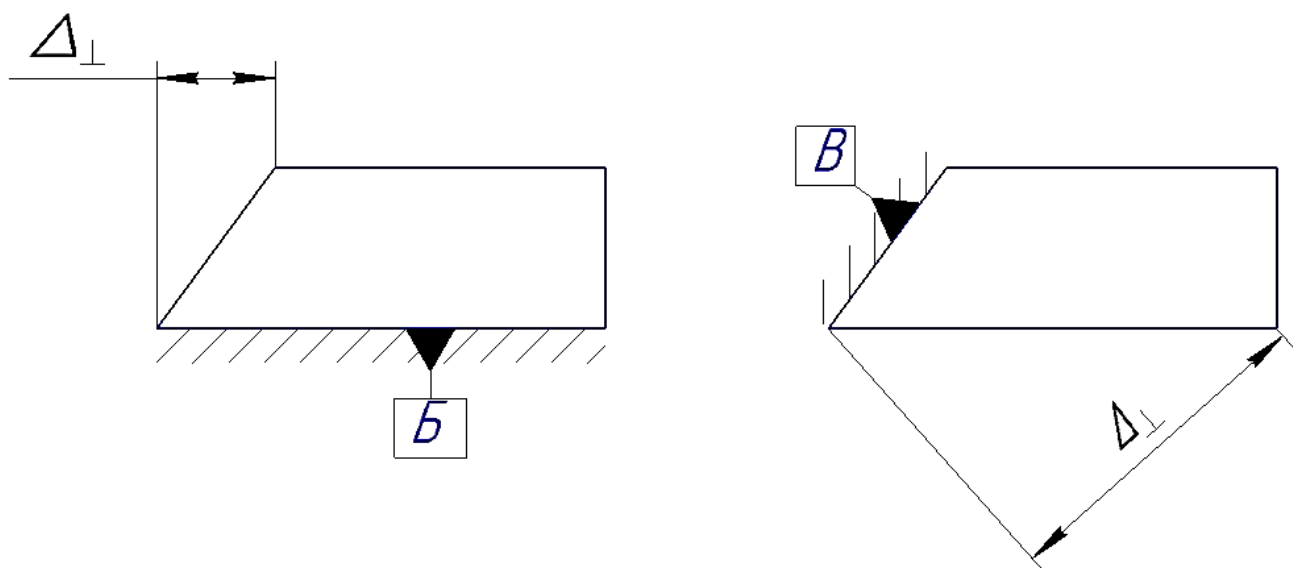
### 3.2 Нормирование точности расположения деталей

**Отклонением расположения поверхностности** или профиля называют отклонением реального расположения элемента от его номинального расположения, заданного чертежами.

Когда оценивают отклонение расположения, то отклонение формы исключаются из рассмотрения, а реальные поверхности заменяются примыкающими. При этом за оси, плоскости симметрии и центры реальных поверхностей принимают оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

При нормировании точности взаимного расположения поверхностей и осей этих элементов в рассмотрении всегда будет не менее двух поверхностей. Одна из них выбирается в качестве базовой, остальные поверхности за нормируемые (рисунок 3.23).

Как видно из рисунка, получаются разные отклонения от перпендикулярности. Существует следующее правило: за базовую поверхность выбирают такую, которая определяет положение детали или узла в механизме, машине (т.е. конструкторскую базу).

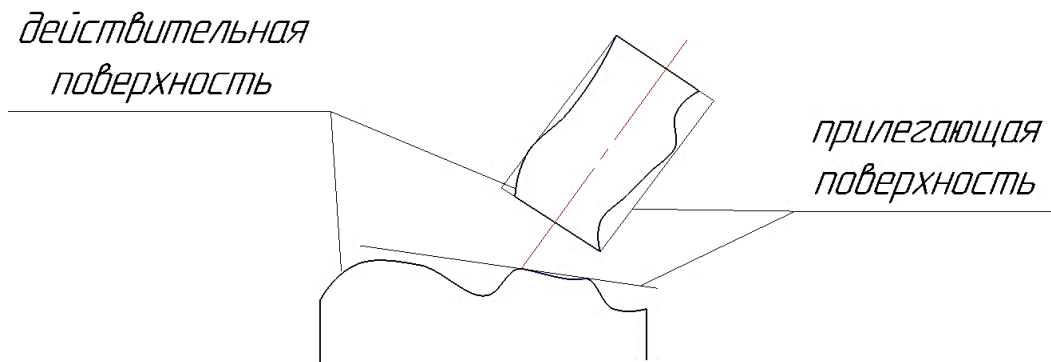


**Рисунок 3.23 – Варианты базовой поверхности**

Нормирование отклонений расположения наиболее важно для корпусных деталей (составляют 4% объема производства и 40% стоимости; валы и втулки 70% объема и 45% стоимости).

Особенности нормирования отклонений расположения:

- выполняется для одной детали (либо нескольких, но относительно неподвижных);
- необходимо обеспечивать собираемость деталей, а также точности взаимного расположения в узле;
- участвуют две поверхности: базовая и нормируемая. В качестве базы выбирается более протяженная поверхность. Она должна определять положение в механизме – «конструкторскую базу»;
- отклонение формы из рассмотрения «исключаются»: реальные поверхности заменяются прилегающими. За отклонение расположения принимают отклонений расположения осей, плоскостей симметрии и центров, прилегающих (идеальных) поверхностей.



**Рисунок 3.24 – Схема замены действительных поверхностей прилегающими при измерении отклонений расположения**

Необходимо учитывать при контроле и нормировании или назначать суммарные отклонения формы.

Устанавливаются семь параметров нормирования требований точности расположения и их обозначение на чертежах (таблица 3.2).

**Таблица 3.2 – Допуски расположения**

| Вид допуска               | Знак |
|---------------------------|------|
| Допуск параллельности     |      |
| Допуск перпендикулярности |      |
| Допуск угла наклона       |      |
| Допуск соосности          |      |
| Допуск симметричности     |      |
| Позиционный допуск        |      |
| Допуск пересечения осей   |      |

**Таблица 3.3 – Суммарные допуски формы и расположения**

| Вид допуска                          | 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    |      |

Комбинация прилегающих поверхностей дают варианты взаимного расположения (таблица 3.4).

**Таблица 3.4 – Комбинации прилегающих поверхностей**

|           | Плоскость | Цилиндр          |
|-----------|-----------|------------------|
| Плоскость |           | – торцевое       |
| Цилиндр   | нет       | <br>– радиальное |

### 3.2.1 Виды допусков расположения поверхностей и осей

**1. Отклонение от параллельности плоскостей** – это разность между наибольшим и наименьшим расстоянием между прилегающими плоскостями (в пределе нормируемого участка).

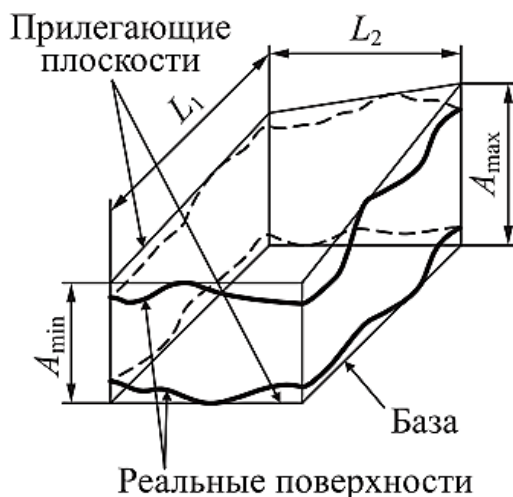
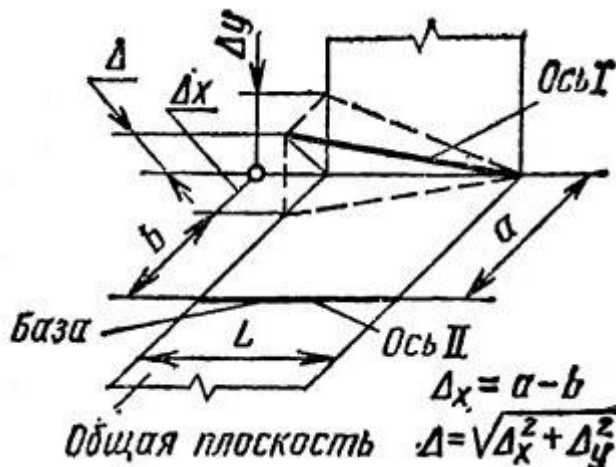


Рисунок 3.25 – Отклонение от параллельности плоскостей

$$\Delta = A_{\max} - A_{\min}.$$

**Поле допуска параллельности плоскостей** – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, лежащими на расстоянии поля допуска ( $T$ ) и параллельными базе.

**Отклонение от параллельности осей в пространстве** – это геометрическая сумма отклонений от параллельности проекций осей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Одна из них является общей плоскостью осей (т.е. она проходит через одну из осей (базу) и точку другой оси).



$\Delta X$  – отклонение от параллельности осей в общей плоскости;  $\Delta Y$  – перекос осей или отклонение от параллельности проекций осей на плоскость

Рисунок 3.26 – Отклонение от параллельности и перекос осей

**Поле допуска ( $T$ ) параллельности осей в пространстве** - область в пространстве, ограниченная прямоугольным параллелепипедом со сторонами  $T_x$  (допуск параллельности осей в общей плоскости) и  $T_y$  (допуск перекоса осей), а грани параллельности и перпендикулярности общей плоскости.

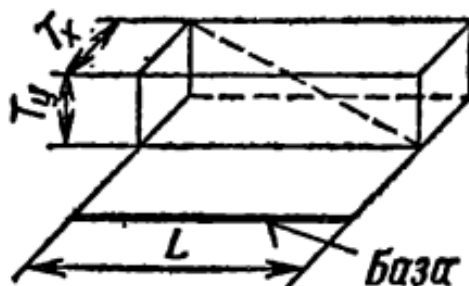


Рисунок 3.27 – Поле допуска параллельности осей

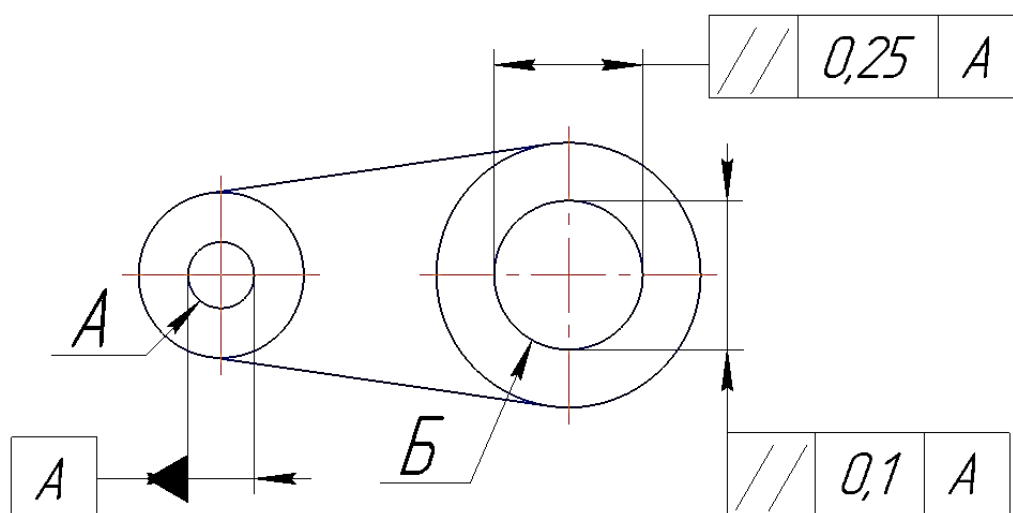


Рисунок 3.28 – Пример нормирования параллельности осей

Вариант записи в технических требованиях: «Допуск параллельности оси отверстия  $B$  относительно оси отверстия  $A$  0,25 мм, допуск перекоса осей 0,1 мм».

Перед числовым значением допуска помещают:

- символ  $\varnothing$  или  $R$  для кругового или цилиндрического поля допуска в диаметральном или радиусном выражении;
- $T$ , если допуски симметричности, пересечения осей, формы заданного профиля, формы заданной поверхности и позиционного допуска указаны в диаметральном (удвоенном) выражении;
- $T/2$ , если допуски симметричности, пересечения осей, формы заданного профиля, формы заданной поверхности и позиционного допуска указаны в радиальном выражении;
- слово «Сфера», символы  $\varnothing$  или  $R$  для сферического поля допуска.

## 2. Отклонение от перпендикулярности.

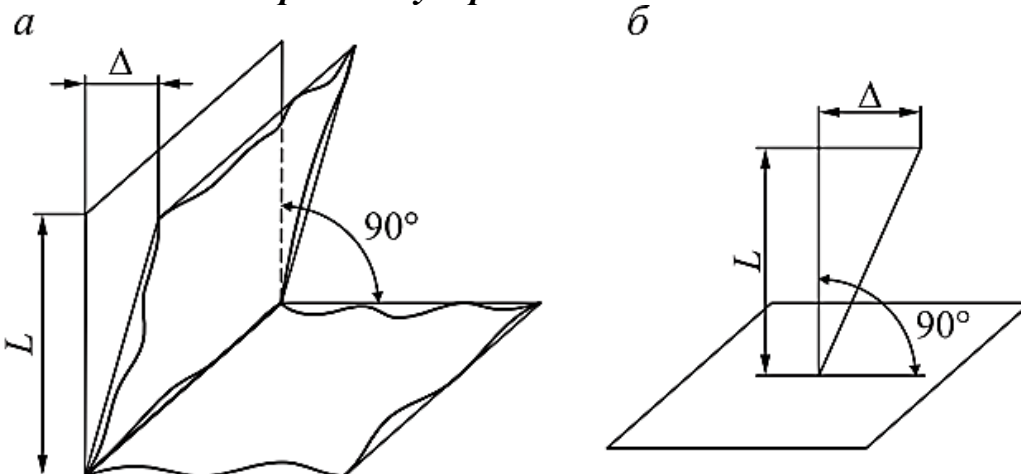


Рисунок 3.29 – Отклонения от перпендикулярности плоскостей (а), прямой и плоскости (б)

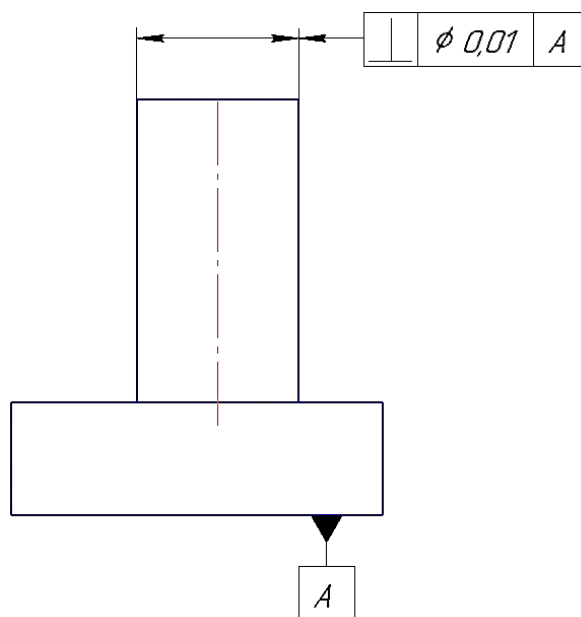


Рисунок 3.30 – Отклонения от перпендикулярности плоскости и оси цилиндра

Знак  $\phi 0,01=2 \cdot \Delta_{\perp}$  говорит о том, что направление отклонения в горизонтальной плоскости не регламентировано.

**3. Отклонение от соосности относительно общей оси** – наибольшее расстояние ( $\Delta_1, \Delta_2 \dots$ ) между осью рассматриваемой поверхности вращения и общей осью двух или нескольких поверхностей вращения (на длине нормируемого участка  $L$ ) (рисунок 3.31).

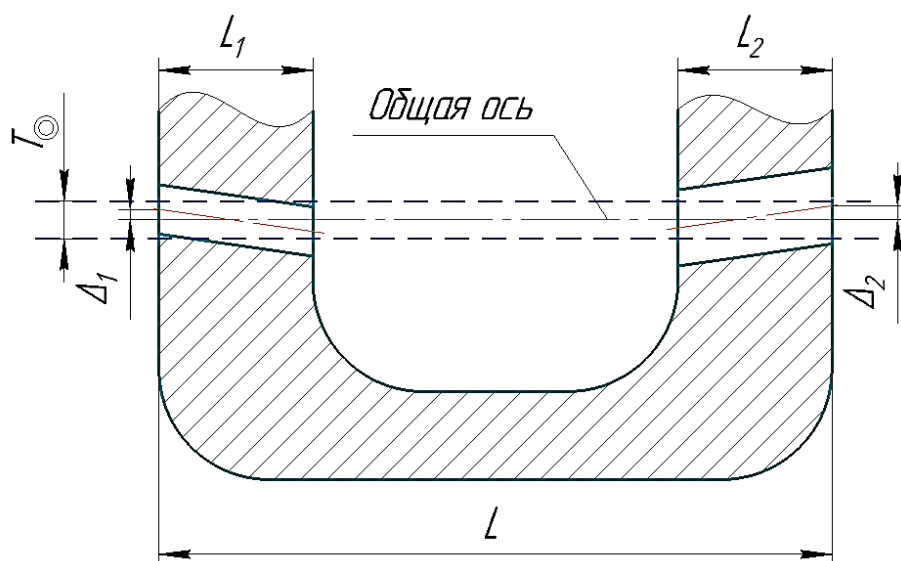


Рисунок 3.31 – Отклонения от соосности относительно общей оси

**Поле допуска соосности** - область в пространстве, ограниченная цилиндром, ось которого совпадает с базовой осью, а диаметр равен допуску соосности в диаметральном выражении.

Допуск соосности  $T$  задается либо в диаметральном выражении: например,  $\varnothing 0,2$ , равном целому допуску соосности; либо в радиусном  $R0,1$ , равном половине допуска соосности.

**4. Отклонение от симметричности относительно базовой плоскости** – это наибольшее расстояние  $\Delta$  между плоскостью симметрии рассматриваемой поверхности и базовой плоскостью симметрии в пределах нормируемого участка (рисунок 3.32).

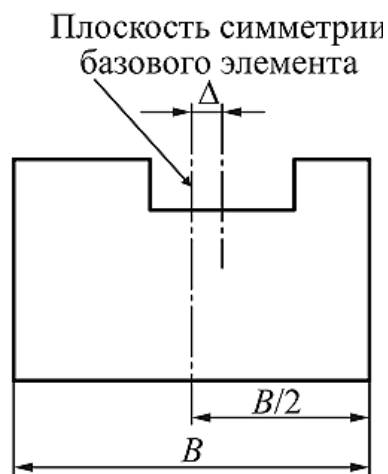


Рисунок 3.32 – Отклонение от симметричности относительно базовой оси

**5. Отклонение от пересечения осей, которые номинально должны пересекаться** – это наименьшее расстояние  $\Delta$  между рассматриваемой и базовой осями (рисунок 3.33).

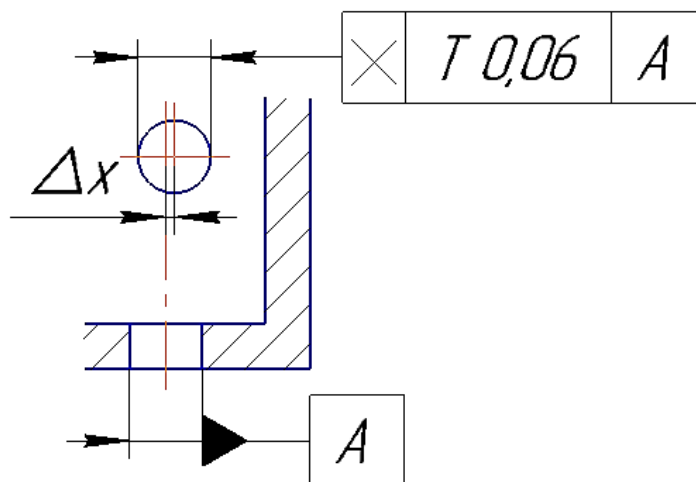


Рисунок 3.33 –Отклонение от пересечение осей

На рисунке знак  $T$  означает диаметральный допуск.

**6. Позиционное отклонение** – наибольшее отклонение  $\Delta$  реального элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) от его номинального расположения (в пределах нормируемого участка).

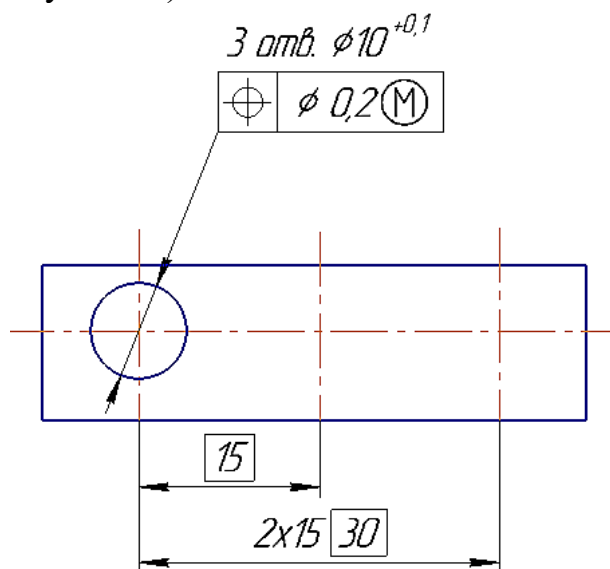


Рисунок 3.34 – Позиционный допуск

Позиционный допуск осей отверстий  $\varnothing 0,2$  мм. Допуск зависимый, обозначен  $\textcircled{M}$ . Допускается его превышение на величину отклонения деталей от проходного предела.  $T_{\oplus} = 0,2 + 0,1 = 0,3$  мм.

**Отклонение наклона** – отклонение угла между плоскостью и базовой плоскостью или базовой осью от номинального угла, выраженное в линейных единицах  $\Delta$  на длину нормируемого участка.

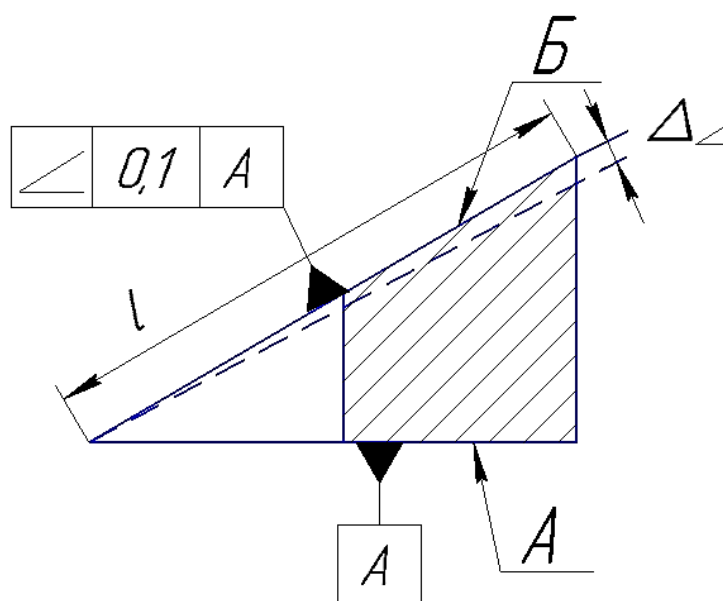
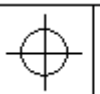


Рисунок 3.35 – Отклонение и допуск наклона

Вариант записи в технических требованиях: «Допуск наклона поверхности *B* относительно поверхности *A* 0,1 мм». Нормируется на длине *l*.

Допуски соосности, симметричности, пересечения осей и позиционные можно задавать в чертежах в радиальном (*R*) и диаметральном ( $\varnothing$  или *T*) выражениях. Различие – наличие дополнительного знака перед числовым значением (предпочтение – в диаметральном).

Таблица 3.5 – Способы задания допусков

| Вид допуска                            | В радиальном выражении                                                                             | В диаметральном выражении                                                                               |
|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Допуск соосности                       |  <i>R 0,1</i>   |  $\varnothing 0,2$ |
| Допуск симметричности                  |  <i>T/2 0,1</i> |  <i>T 0,2</i>      |
| Позиционный допуск                     |  <i>R 0,1</i>   |  $\varnothing 0,2$ |
| Позиционный допуск плоскости симметрии |  <i>T/2 0,1</i> |  <i>T 0,2</i>      |
| Допуск пересечения осей                |  <i>T/2 0,1</i> |  <i>T 0,2</i>      |

### 3.3 Зависимый и независимый допуски расположения (формы)

Независимым называется допуск расположения, числовое значение которого постоянно для всех деталей и не зависит от реального (действительного) размера рассматриваемых поверхностей.

Зависимым называется переменный допуск расположения (формы) (при этом на чертеже указывается его минимальное значение), который допускается превышать на величину отклонения действительного размера детали от проходного предела ( $d_{\max}$ ,  $D_{\min}$ ). Обозначение зависимого допуска расположения представлено на рисунке 3.35.

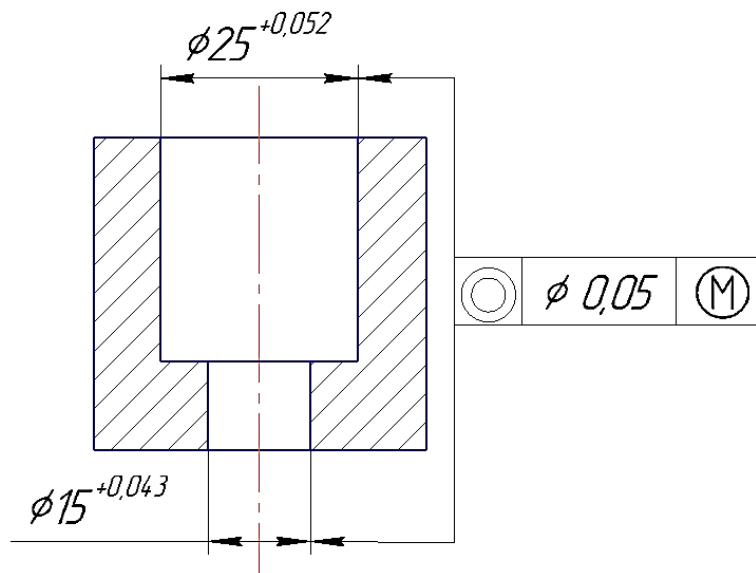


Рисунок 3.35 – Зависимый допуск соосности

Допустимое отклонение 0,05 мм является наименьшим и относится к деталям, имеющим наименьшие предельные размеры по проходному пределу. Если при изготовлении деталей размеры получатся по максимальным значениям ( $\varnothing 25,052$  и  $\varnothing 15,043$ ), то суммарный зазор в сопряжении с контрдеталью увеличивается в сравнении с минимальным значением на  $(0,043+0,052)=0,095$  мм. Увеличение допуска на отклонение от соосности равняется половине увеличенного зазора, т. е.  $0,095/2=0,0475$  мм. Допустимое отклонение от соосности составит  $(0,05+0,0475)\approx 0,1$  мм, при этом собираемость деталей обеспечивается.

### 3.4 Суммарные отклонения и допуски формы и расположения поверхностей

К суммарным отклонениям формы и расположения поверхностей относятся все виды биений.

**Радиальное биение** поверхности вращения относительно базовой оси – результат совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонение его центра относительно базовой оси:

$$\Delta_{\text{рад}} = \Delta_{\bigcirc} + \Delta_{\odot}$$

Численные значения радиального биения определяются как разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении перпендикулярном этой оси.

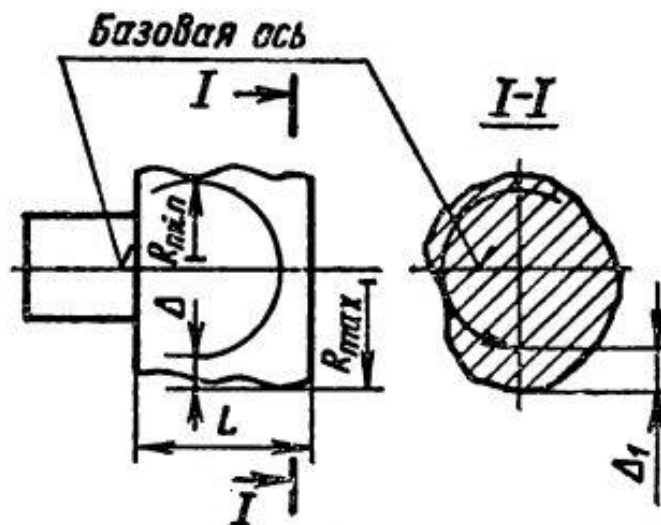


Рисунок 3.36 – Радиальное биение

Если мы определяем разность между  $R_{max}$  и  $R_{min}$  в пределах всего нормируемого участка, то говорят о **полном радиальном биении** – результате проявления совместных отклонений от цилиндричности поверхности и отклонения от ее

соосности относительно базовой оси:

$$\Delta_{\nearrow} = \Delta_{\text{цил}} + \Delta_{\odot}.$$

**Торцовое биение** – разность  $\Delta$  наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси (рисунок 3.37).

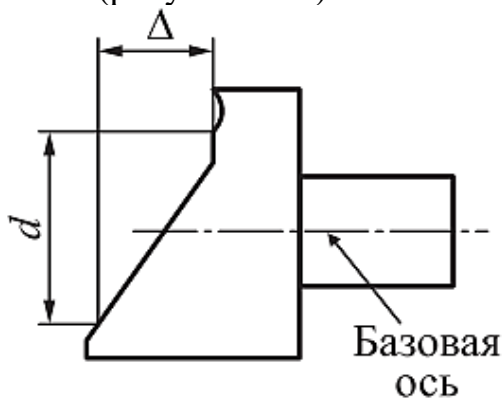


Рисунок 3.37 – Торцовое биение

Торцовое биение является результатом совместного проявления отклонения от плоскостности торцевой поверхности и отклонения от ее перпендикулярности

относительно базовой оси:

$$\Delta_{\nearrow \text{торц}} = \Delta_{\square} + \Delta_{\perp}.$$

### 3.5 Числовые значения отклонений расположения поверхностей

Аналогично допускам формы по ГОСТ 24643 для отклонений расположения поверхности установлено шестнадцать степеней точности: 1...16, первая - самая точная. Допуски от степени к степени увеличиваются в 1,6 раза.

В зависимости от соотношения между допуском размера и допусками расположения устанавливают 3 уровня относительной геометрической точности:

А – нормальная:  $T_{\text{расположения}} \approx 60\% T_{\text{размера}}$ ;

В – повышенная:  $T_{\text{расположения}} \approx 40\% T_{\text{размера}}$ ;

С – высокая:  $T_{\text{расположения}} \approx 25\% T_{\text{размера}}$ .

Если на чертеже нет особых указаний, то уровень относительной геометрической точности – А (нормальный).

### 3.6 Волнистость поверхности (3 порядок отклонений)

**Волнистость** – совокупность периодических повторяющихся неровностей поверхности, шаг которых  $S_w \geq 40 \cdot W_z$  высоты. Определяется в сечении, перпендикулярном к поверхности.

Стандарта на волнистость нет. Есть рекомендации ISO, согласно которым предусмотрено два параметра:  $S_w$  - шаг волнистости,  $W_z$  – высота волнистости.

Например, при шлифовании высота  $W_z=(5...15)\text{мкм}$ , шаг  $S_w=(0,15...16)\text{мм}$ .

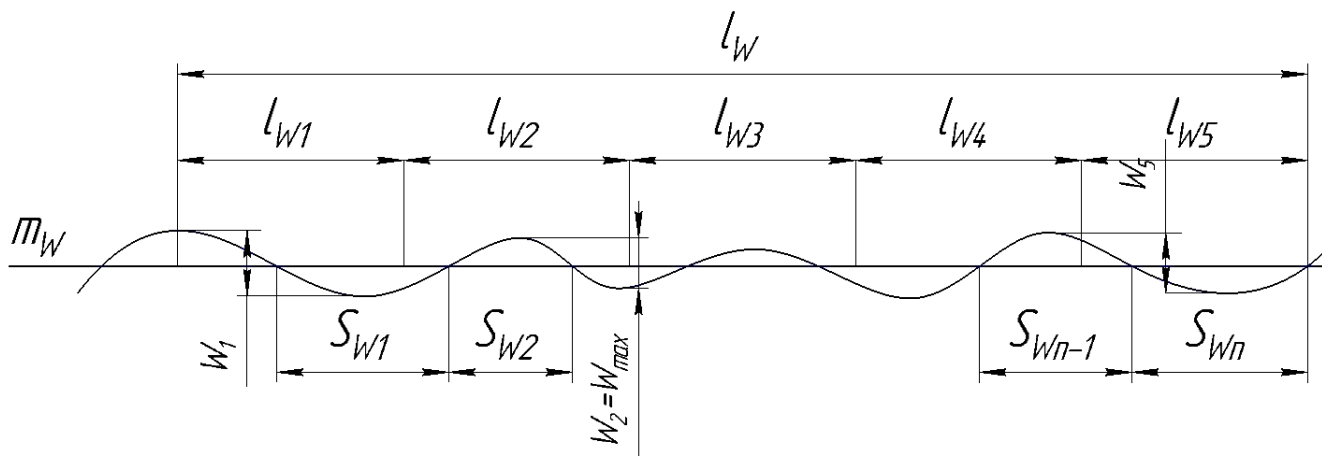
Форма волны обычно синусоидальная, главная причина - вибрация системы станка при резании.

Волнистость рассматривается как часть отклонения формы и, если нет дополнительных указаний, ограничивается допуском формы.

Количественная оценка волнистости по рекомендации ISO производится по отклонениям на длине участка измерения:

$$L_{w \geq 5} \cdot S_w, \quad (3.11)$$

где:  $S_w$  – наибольший шаг волнистости.



$m_w$  – средняя линия профиля волнистости, имеет форму номинального профиля

**Рисунок 3.38 – Профиль поверхности (к определению параметров волнистости)**

Рекомендуемые параметры волнистости.

**1. Высота волнистости  $W_z$**  – среднее арифметическое высоты по 5 одинаковым участкам  $l_{w1}, l_{w2}, \dots, l_{w5}$ .

$$W_z = 1/5(W_1 + W_2 + \dots + W_5), \quad (3.12)$$

где:  $W_1, W_2, \dots$  - высота неровностей на участках  $l_{w1}, l_{w2}, \dots$ .

**2. Наибольшая высота волнистости  $W_{max}$**  – расстояние между наивысшей точками одной волны в пределах отдельных участков  $l_{wi}$ .

**3. Средний шаг волнистости** – среднее значение длин волн  $S_w$  по средней линии:

$$S_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} S_{wi}, \quad (3.13)$$

где:  $S_{wi}$  -  $i$ -ый шаг неровностей;

$n$  - число шагов профиля на длине  $L_w$ .

Нормирование волнистости по параметру  $W_z$  предусматривает 12 предельных значений от 0,1 до 200 мкм.

Контролируют волнистость универсальными приборами (индикатор, проектор), приборами для контроля отклонений формы – кругломерами, приборами для контроля шероховатости – профилометрами, специальными приборами – волномерами.

### 3.7 Шероховатость поверхностности (отклонение 4 порядка)

Определяется пластической деформацией поверхностного слоя при стружкообразовании, копированием профиля инструмента, вырыванием частиц.

Зависит в значительной степени от геометрии режущего инструмента и режимов обработки.

Шероховатость представляет собой совокупность микронеровностей с относительно малыми шагами:

1)  $\frac{S}{W} < 40$  – шероховатость (4 порядок);

2)  $1000 \geq \frac{S}{W} \geq 40$  – волнистость (3 порядок);

3)  $\frac{S}{W} > 1000$  – отклонение формы (1 порядок).

Шероховатость является следом инструмента на обрабатываемой поверхностности.

Обычно шероховатость определяется в поперечном направлении (относительно движения резания), в пределах ограниченного участка базовой длины  $l$ . ГОСТ 2789 устанавливает следующие значения базовой длины: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Шаг других видов неровностей (волнистость и др.) должен быть больше базовой длины, но в пределах базовой длины  $l$  должно быть не менее 5 шагов шероховатости.

Базой для отсчета отклонений является средняя линия  $m$ , имеющая форму номинального профиля. Она проведена так, что в пределах базовой длины  $l$  среднее квадратичное отклонение профиля (сумма квадратов  $y_i^2$ ) минимально (или равны площади полуволн выше и ниже  $m$ ).

$$\int_0^l y_i^2 dx = \min, \quad (3.14)$$

где:  $y_i$  - отклонение от средней линии (рисунок 3.40).

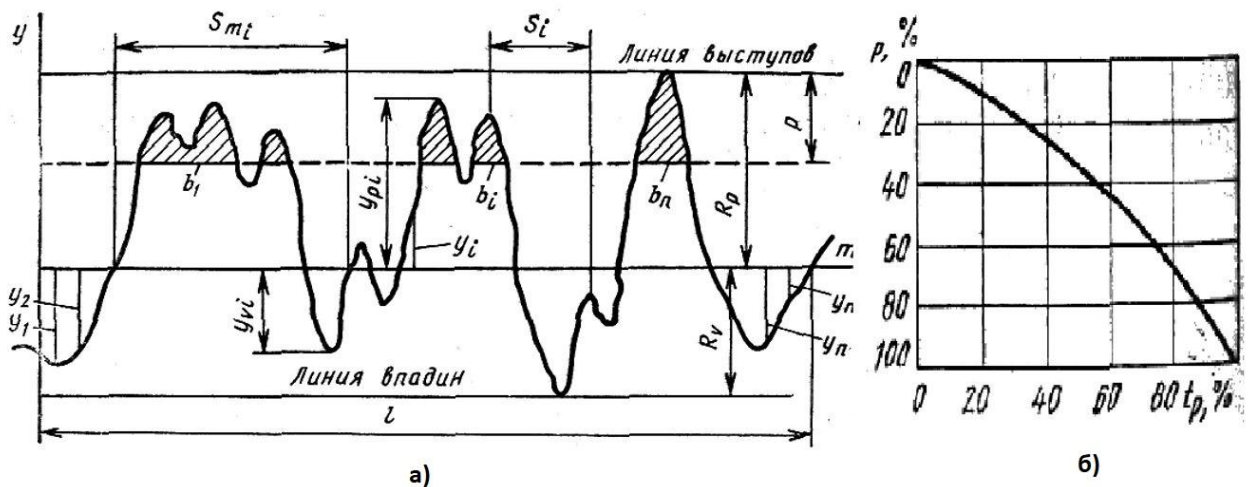


Рисунок 3.40 – Профиль поверхности (а) и график относительной опорной длины профиля (б)

Количественная оценка шероховатости производится по 6 параметрам:

**1.  $R_z$  – высота неровностей профиля по 10 точкам** (по 5 наивысшим выступам  $H_{i \max}$  и по 5 наинизшим впадинам  $H_{i \min}$ ):

$$R_z = \frac{1}{5} \left[ \sum_{i=1}^5 |H_{i \max}| + \sum_{i=1}^5 |H_{i \min}| \right], \quad (3.15)$$

где:  $H_{i \max}$  и  $H_{i \min}$  - соответственно высота  $i$ -го выступа и глубина  $i$ -ой впадины на базовой длине (по десяти наиболее удаленным точкам профиля).

**2.  $R_a$  – среднее арифметическое отклонение профиля.**

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \approx \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (3.16)$$

**3.  $R_{\max}$  – наибольшая высота неровностей профиля** – расстояние между линией выступов и линией впадин. Линия выступов и линия впадин проведены

через наивысшую и наименьшую точки профиля (в пределах  $l$ ) параллельно базовой линии  $m$ .

$$R_{\max} = H_{\max} + H_{\min}, \quad (3.17)$$

До 1975 года по ГОСТ 2789-59 существовало 14 классов шероховатости. В ГОСТ 2789-73 даны ряды (без разбивки на классы):

- $R_a$  от 100 мкм до 0,008 мкм;
- $R_z, R_{\max}$  от 1600 мкм до 0,025 мкм.

**4.  $S_m$  – средний шаг неровностей профиля (по средней линии)** – среднее значение шагов неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины:

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}, \quad (3.18)$$

где  $S_{mi}$  –  $i$ -й шаг неровностей – отрезок средней линии профиля, который отсекают два одноименных (левых и правых) участка профиля;

$n$  – число шагов профиля на базовой длине.

**5.  $S$  – средний шаг местных выступов профиля** определяется как среднее значение шагов между местными выступами профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad (3.19)$$

где:  $S_i$  –  $i$ -й шаг местных выступов профиля – отрезок средней линии между проекциями на нее наивысших точек соседних местных выступов профиля;

$n$  – число шагов местных выступов профиля на базовой длине.

Для  $S_m, S$  – установлен ряд значений: 12,5...0,002 мм.

**6.  $t_p$  – относительная опорная длина профиля** – представляет собой отношение опорной длины профиля к базовой длине:

$$t_p = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^n b_i, \quad (3.21)$$

где:  $\sum_{i=1}^n b_i$  – опорная длина профиля – суммарная длина отрезков профиля, отсекаемых в материале на базовой длине линией, эквидистантной средней линии  $m$ .

Уровень сечения профиля  $p$  выражается в процентах от  $R_{\max}$  и выбирается из ряда: 5, 10, 12, 20, ..., 90.

Относительная опорная длина профиля  $t_p$  задается в процентах от базовой длины  $l$  и выбирается из ряда: 10, 15, 20, 25, 30, 40, ..., 90.

$t_p = f(p)$  – показывает, как будет меняться износостойкость, контактная жесткость поверхности по мере ее износа.

Чем  $t_p$  выше, тем лучше нагрузочные характеристики поверхности, но выше трудоемкость изготовления. Например:  $t_{50} = 25\%$  – чистовое точение;  $t_{50} = 40\%$  – хонингование (зеркала цилиндра).

По ГОСТ 2.309 параметры шероховатости поверхности могут задаваться 3 путями:

1. Одной цифрой – предельным значением:  $R_a 12,5$ ;  $R_z 0,08$ ;  $S_0 0,032$ ;  $t_{50} 70$ .
2. Параметр задается диапазоном изменения:  
 $R_z 0,080$   
 $0,032$  (в две строки);  
 $t_{50} 40$   
 $20$  (при износе 50% относительная опорная длина от 20 до 40%).
3. Задается номинальным значением и предельными отклонениями:  
 $R_z 80_{-10\%}$        $t_{50} 70_{\pm 40\%}$        $S_m 0,63^{+20\%}$

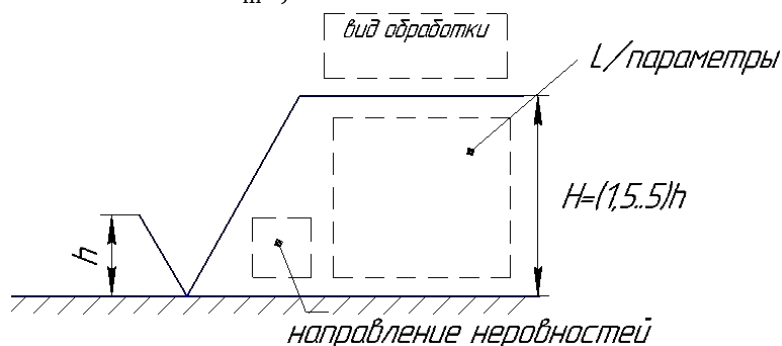
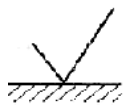
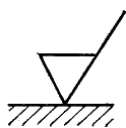


Рисунок 3.41 – Знак, применяемый для обозначения шероховатости на чертеже  
 Варианты начертания знака:



— любой способ получения поверхности, чертежом не регламентируется;



— способ получения поверхности со снятием слоя материала (стружки);



— способ получения поверхности без снятия стружки (литье,ковка, штамповка и т.д.).

Если нормируется несколько параметров, то указываются по порядку  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$ ,  $S$ ,  $S_m$ ,  $t_p$ . Например рисунок 3.42.

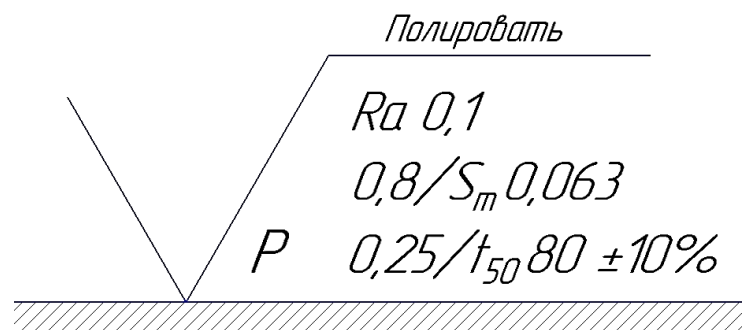
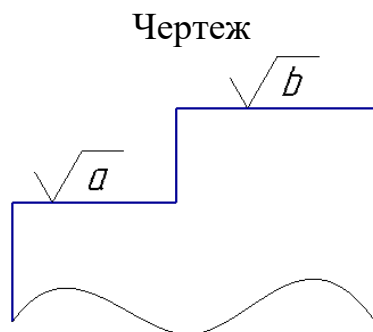


Рисунок 3.42 – Пример обозначения шероховатости на чертеже

Таблица 6.2 – Типы направлений неровностей и их обозначения

| Направление неровностей | Схематическое изображение | Обозначение направления рисок |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Параллельное            |                           |                               |
| Перпендикулярное        |                           |                               |
| Перекрещивающееся       |                           |                               |
| Произвольное            |                           |                               |
| Кругообразное           |                           |                               |
| Радиальное              |                           |                               |
| Точечное                |                           |                               |

Чтобы не занимать чертеж применяется упрощенное обозначение и запись в технических требованиях (рисунок 3.43).



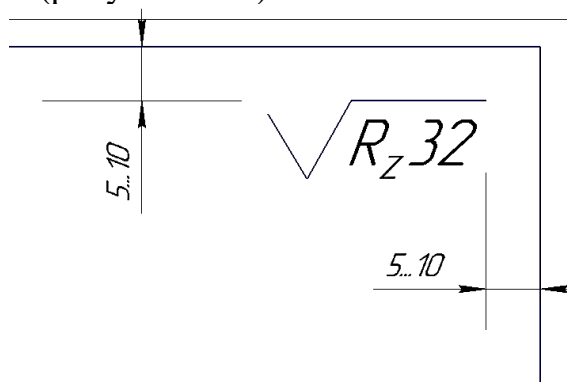
Технические требования

$$\sqrt{b} = \sqrt{R_{t_{25}} \frac{Ra_8}{20} \pm 10\%}$$

$$\sqrt{a} = \sqrt{M \frac{0,8}{Ra_{0,4}}}$$

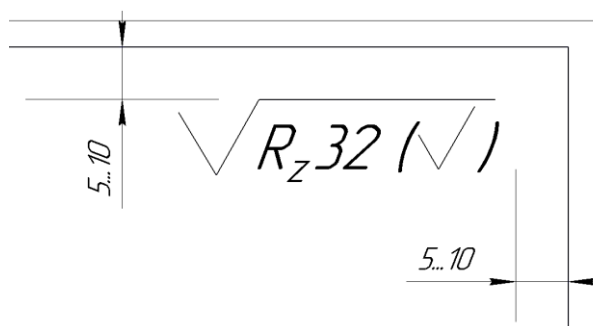
**Рисунок 3.43 – Упрощенное обозначение шероховатости с разъяснением в технических требованиях чертежа**

При указании одинаковой шероховатости для всех поверхностей детали обозначение шероховатости помещают в правом верхнем углу чертежа и на изображении не наносят (рисунок 3.44).



**Рисунок 3.44 – Обозначение одинаковой шероховатости для всех поверхностей**

При оказании одинаковой шероховатости для части поверхности детали знак видоизменяется:



**Рисунок 3.45 – Обозначение одинаковой шероховатости для части поверхностей деталей**

### **Нормирование параметров шероховатости.**

Для сопрягаемых поверхностей шероховатость  $R_z$  не более  $1/3 \dots 1/4$  допуска размера:  $R_z \leq (1/3 \dots 1/4) \cdot Td$ .

Наименьший коэффициент трения получается, когда направление шероховатости «перекрещивающееся» с направлением движения.

В зависимости от условий эксплуатации нормируются следующие параметры:

— изнашивание:  $R_a$  ( $R_z$ ),  $t_p$  и направление неровностей;

- контактные напряжения:  $R_a$  ( $R_z$ ),  $t_p$ ;
- посадка с натягом:  $R_a$  ( $R_z$ );
- переменные нагрузки:  $R_{max}$ ,  $S_m(S)$ ;
- герметичные соединения:  $R_a$  ( $R_z$ ),  $t_p$ .

Конкретно значение параметров шероховатости устанавливают исходя из функционального назначения поверхности детали по [1,4].

**Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения поверхностей и осей на качество деталей машин.**

Отклонение расположения могут сделать невозможной собираемость сборочных единиц.

Отклонение формы уменьшают контактную жесткость и ведут к изменению характера посадок.

В подвижных посадках зазор получается неодинаковый или равный нулю. При этом имеет место вырывание частиц, увеличение зазора, жидкостное трение заменяется полужидкостным.

В неподвижных посадках гарантированный натяг не получается равномерным и не обеспечивает передачу крутящего момента.

Отклонение формы делают невозможной герметизацию.

Грубообработанные поверхности быстрее корродируют.

Неровности являются концентраторами напряжений, снижают усталостную прочность деталей.

Рекомендуется назначать оптимальную шероховатость, которая получается после приработки и обеспечивает минимальный износ. Сохраняется неизменной при длительной эксплуатации.

## 4 ОБЩИЕ ДОПУСКИ РАЗЕРОВ, ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Размеры, которые определяют общую форму деталей, относятся к несопрягаемым поверхностям и не влияют существенно на работоспособность деталей, иногда называют свободными, точность их низкая. Их не указывают индивидуально, а оговаривают записью в технических требованиях как общие допуски размеров, формы и расположения.

Допуски и предельные отклонения таких линейных размеров, кроме фасок и радиусов закруглений, назначаются по квалитетам 12...17 ГОСТ 25347 и ГОСТ 25348, а также специальным классом точности, приведенным в ГОСТ 30893.1:

- 1) «точный» ( $\approx 12$  кв.)  $t_1 - f$ ;
- 2) «средний» ( $\approx 14$  кв.)  $t_2 - m$ ;
- 3) «грубый» ( $\approx 16$  кв.)  $t_3 - c$ ;
- 4) «очень грубый» ( $\approx 17$  кв.)  $t_4 - v$ .

**Общий допуск размера** – допуск линейного или углового размера, указываемый на чертеже или в других технических документах общей записью в тех случаях, когда предельные отклонения (допуски) не указаны индивидуально у соответствующих номинальных размеров.

В отличие от допусков по квалитетам, общие допуски назначаются не в «тело детали», а имеют симметричные отклонения, а также более широкие интервалы размеров.

Для несопрягаемых размеров металлических деталей, обработанных резанием, рекомендован 14 квалитет и «средний» класс точности –  $m$ .

Общие допуски размеров указываются общей записью на поле чертежа в технических требованиях: «Общие допуски ГОСТ 30893.1- $m$ ».

Во второй части ГОСТ 30893.2-2002 приведены допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально: общие допуски формы и расположения для прямолинейности, плоскостности, симметричности, пересечения осей, радиального и торцевого биения.

**Общий допуск формы и расположения** – 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.

Прочие виды отклонений косвенно ограничиваются допусками на линейные и угловые размеры или другими допусками формы и расположения, в том числе и общими. Устанавливаются по трем классам точности Н, К, L, Н – самый точный.

Указание общих допусков на чертежах:

- 1) «Общие допуски ГОСТ 30893.2 –  $mL$ », где  $m$  – общий допуск размеров;  $L$  – общий допуск формы и расположения.
- 2) «ГОСТ 30893.2 –  $mL$ ».
- 3) Если отдельно: «ГОСТ 30893.1 –  $m$ » и «ГОСТ 30893.2 –  $L$ ».

4) Допускается при переработке технической документации: «Общие допуски ГОСТ 30893.1: H14, h14;  $\pm t_2/2$ ». Не рекомендуется применять при новом проектировании.

## 5 ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Подшипники качения изготавливают на специализированных заводах в количестве сотен млн. штук в год. 15 тысяч типов размеров от 2 мм до 3 м, от долей граммов до 6 т. Производство носит массовый характер. Обеспечивается полная взаимозаменяемость по присоединительным размерам  $D$ ,  $d$ ,  $B$  (рисунок 5.1).

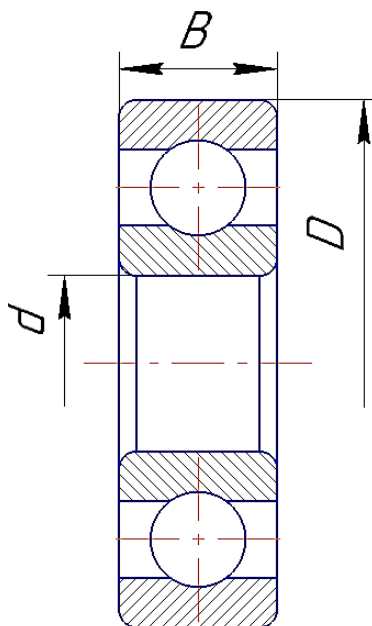


Рисунок 5.1 – Присоединительные размеры подшипника качения

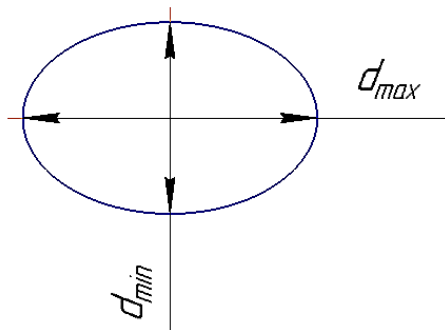
Высокие требования к точности изготовления и сборки подшипников качения установлены ГОСТ 25256. Основными из них являются:

- точность размеров и формы присоединительных поверхностей  $d$  и  $D$ , ширины колец  $B$ ;
- точность размеров и формы тел качения, а также дорожек качения;
- радиальное и осевое биение дорожек качения;
- биение торцов колец относительно посадочных поверхностей;
- шероховатость и качество поверхностного слоя посадочных и торцевых поверхностей колец, дорожек качения.

ГОСТ 520 устанавливает 6 классов точности шариковых радиальных и радиально-упорных, роликовых радиальных подшипников: нормальный (0); 6; 5; 4; Т; 2 в порядке возрастания точности. Подшипники 7 и 8 классов точности изготавливают по заказу при пониженных требованиях к точности вращения деталей.

Обычно в машиностроении применяют подшипники 0-го класса точности, при повышенных требованиях – 6-го класса. Остальные – приборостроение и станкостроение.

**Особенности определения годности подшипников.** Установлены предельные значения посадочных диаметров и предельные значения среднего диаметра  $d_m$ .



**Рисунок 5.2 – Предельные диаметры кольца подшипника**

**Средний диаметр  $d_m$**  равняется среднему арифметическому наибольшего  $d_{max}$  и наименьшего  $d_{min}$  значений диаметра, измеренного в двух крайних сечениях кольца:

$$d_m = \frac{(d_{max} + d_{min})}{2}. \quad (5.1)$$

**Пример:** контролируется подшипник с номинальным размером  $d = 100$  мм, класс точности – 0.

$$d_{max} = 100,004 \text{ мм}$$

$$d_{min} = 99,998 \text{ мм}$$

$$\text{Тогда: } d_m = \frac{(100,004 + 99,998)}{2} = 100,001 \text{ мм}.$$

По ГОСТ 520 находим:  $d = 100^{+0,005}_{-0,025}$  мм,  $d_m = 100_{-0,02}$  мм.

Подшипник **не годен** по среднему диаметру.

### 5.1 Допуски и посадки подшипников качения

Соединение подшипников с валами, корпусами осуществляется в соответствии с ГОСТ 520.

Стандарт учитывает требования, возникшие при эксплуатации:

- не вводит специальных посадок;
- одно из двух колец подшипника качения должно плотно прилегать, а другое с зазором.

Система допусков и посадок на подшипники качения основана на системе допусков и посадок на гладкие цилиндрические соединения, но имеет ряд особенностей:

1. Предельные отклонения на размеры подшипника  $D$  и  $d$  зависят только от размеров и класса точности подшипника и не зависят от характера сопряжения с валами и отверстиями по ГОСТ 520.

2. Для соединения подшипников качения с деталями механизмов приняты по наружному кольцу система вала, по внутреннему – система отверстия.

3. Поля допусков наружного и внутреннего диаметров подшипников качения расположены ниже нулевой линии. Т.е. поле допуска внутреннего диаметра  $d$ , по сравнению с полем допуска основного отверстия, перевернуто относительно нулевой линии (рисунок 5.3).

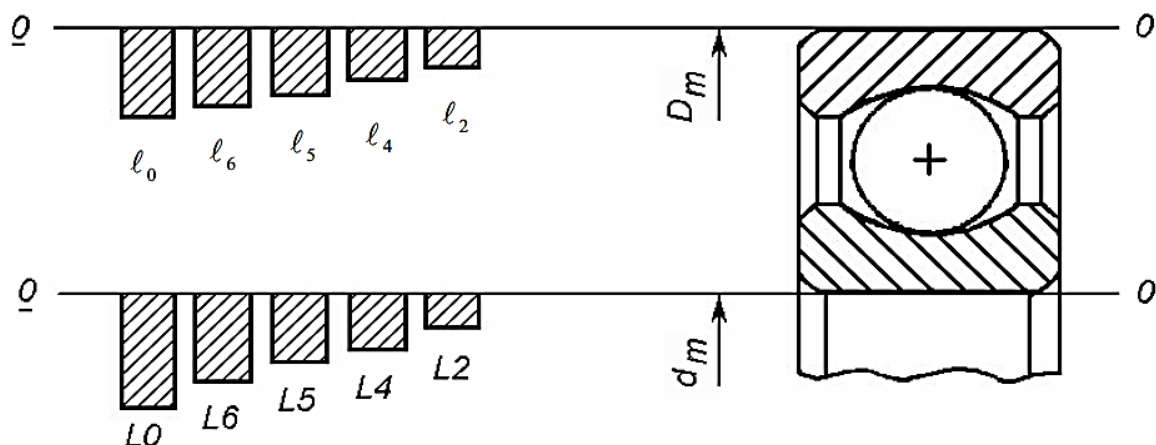


Рисунок 5.3 – Схема расположения полей допусков на средние наружный диаметр и диаметр отверстия подшипников по классам точности

4. Поля допусков присоединительных размеров сопрягаемых с подшипниками деталей в сочетании с полями допусков образуют специальные посадки:

- более точные, т.к. посадочные поверхности валов и корпусов обработаны по IT3 – IT11, а подшипники качения по IT2 – IT5.
- поля допусков переходных посадок  $n$ ,  $m$ ,  $k$ , – при соединении с  $d$  дают посадки с небольшим гарантированным натягом.

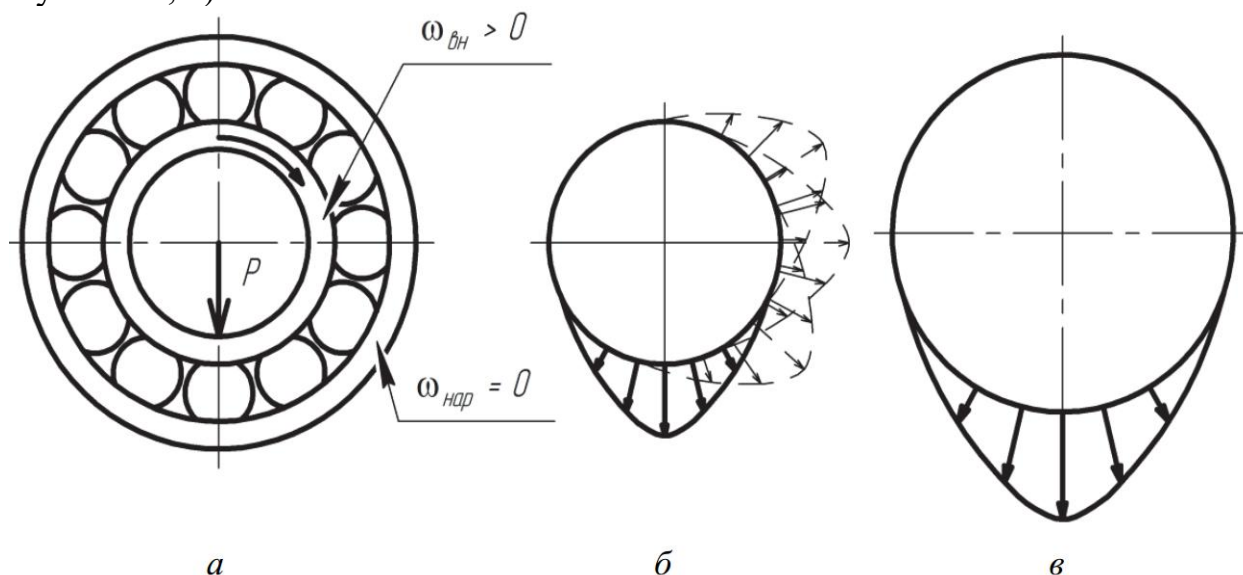
## 5.2 Выбор посадок подшипников качения на вал и в корпус

Исходными данными являются:

- тип и размер подшипника;
- условие эксплуатации;
- вид нагружения.

Различают три вида нагружения колец подшипников: местный, циркуляционный и колебательный. При местном виде нагружения кольцо воспринимает постоянную по величине и направлению радиальную нагрузку одним и тем же ограниченным участком дорожки качения, т.е. кольцо неподвижно относительно нагрузки. При циркуляционном виде нагружения на кольцо действует радиальная нагрузка последовательно на всех участках дорожки качения, т.е. кольцо вращается относительно нагрузки. При колебательном виде нагружения кольцо воспринимает равнодействующую двух радиальных нагрузок ограниченным участком дорожек качения, причем одна из составляющих постоянная по направлению, а вторая (меньшая по величине) изменяет направления.

Например, если вращается внутреннее кольцо подшипника вместе с валом относительно постоянной по направлению радиальной нагрузки, а внешнее кольцо неподвижно (рисунок 5.4, а), то внутреннее кольцо испытывает циркуляционный вид нагружения (эпюра нагружения (рисунок 5.4, б)), а наружное – местный (рисунок 5.4, в).



**Рисунок 5.4 – Схема нагружения подшипника (а), эпюры циркуляционно нагруженного кольца (б) и местно нагруженного кольца (в)**

Если к постоянной по направлению нагрузке добавляется вращающаяся составляющая  $P_{вр}$  (рисунок 5.5, а), то в этом случае внутреннее кольцо испытывает циркуляционное нагружение (рисунок 5.5, б), а наружное – колебательное (рисунок 5.5, в). Кольца, испытывающие циркуляционный вид нагружения, должны иметь неподвижное соединение. Кольца, испытывающие местный или колебательный виды нагружения, должны иметь соединения с зазором или натягом. Неподвижная посадка обеспечивает равномерный износ циркуляционно нагруженного кольца. Зазор уместно нагруженного кольца позволяет ему под действием толчков проворачиваться по посадочной поверхности, в результате чего у кольца попеременно нагружаются разные участки и износ становится более равномерным.

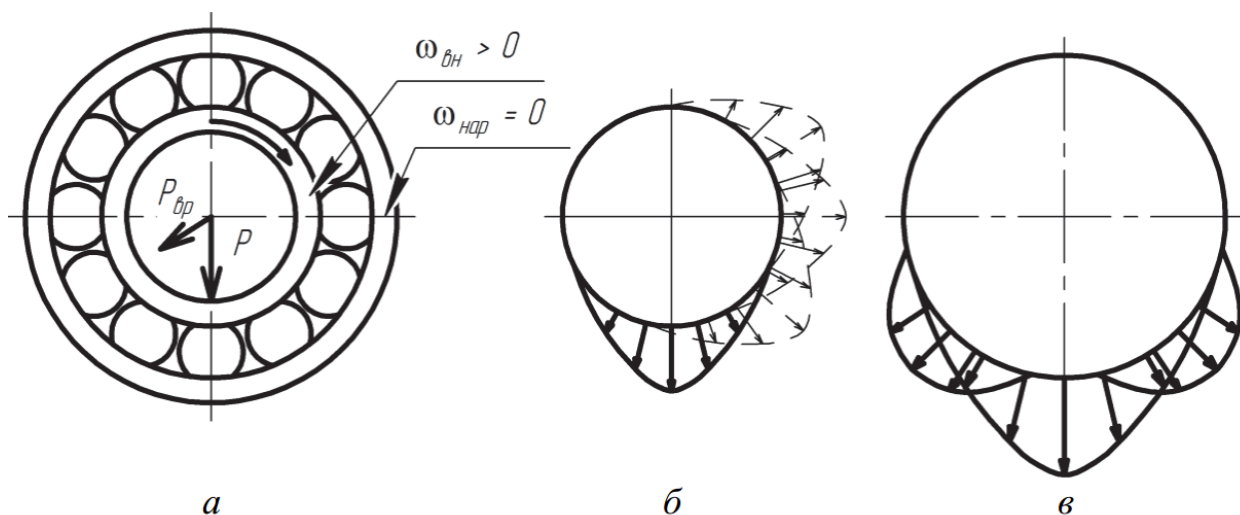


Рисунок 5.5 – Схема нагружения подшипника (а), эпюры циркуляционно нагруженного кольца и колебательно нагруженного кольца (в)

Требования к посадочным поверхностям валов и отверстий:  $\Delta_o \leq 1/4IT$ ;  $Ra = 0,4 \dots 1,6$  мкм.

Монтажное требование – обеспечить оптимальный радиальный посадочный зазор  $Gr$ . При монтаже выбирается осевой зазор  $C$ , который обеспечивает подвижность и сборку – разборку подшипника.

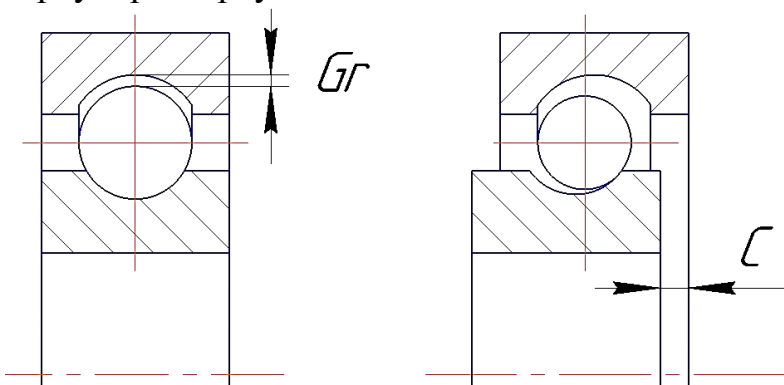
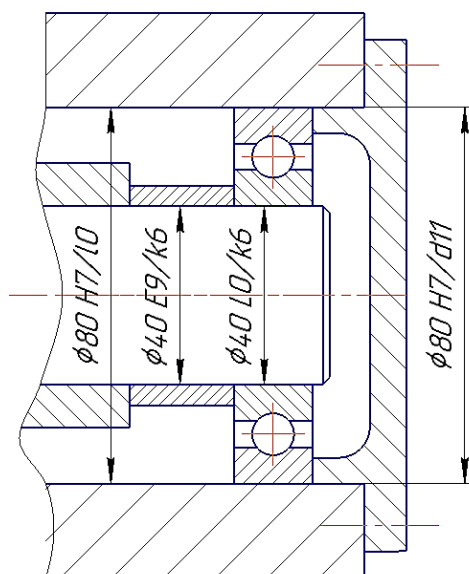


Рисунок 5.6 – Монтажный и осевой зазоры подшипника

$$c = 0,4 \sqrt{Gr \cdot d_m}. \quad (5.2)$$

Большой зазор ведет к биению и неравномерной нагрузке тел качения, недостаточный зазор приводит к заклиниванию при нагреве.



**Рисунок 5.6 - Обозначение посадок подшипников качения на чертежах**

## 6 РАЗМЕРНЫЕ ЦЕПИ, МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

Качество машин и приборов зависит от точности расположения деталей узлов и механизмов, образующих изделие. При расчете точности взаимного расположения учитывают взаимосвязь многих размеров деталей в изделии. Пример сборочной размерной цепи показан на рисунке 6.1, пример поддетальной размерной цепи на рисунке 6.2.

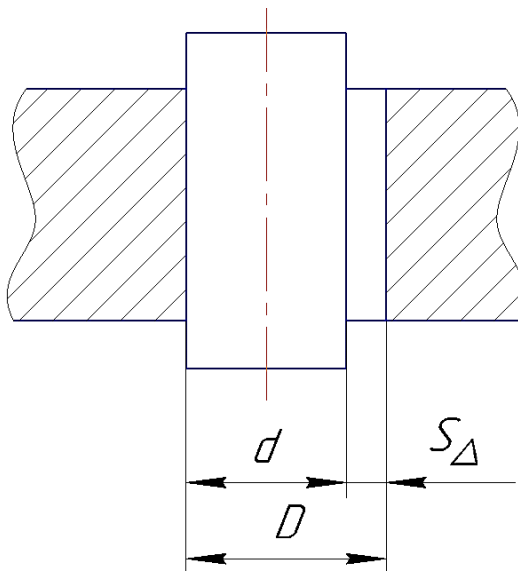


Рисунок 6.1 – Сборочная размерная цепь

Связь размеров деталей узла: зазор  $S_{\Delta}$  зависит от  $d$  и  $D$ .

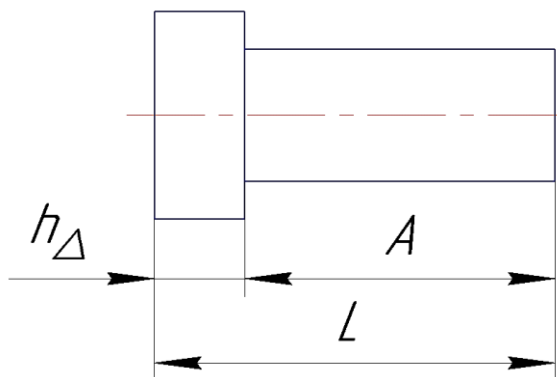


Рисунок 6.2 – Связь размеров единой детали

Связь размеров одной детали: высота буртика  $h_{\Delta}$  зависит от длины  $L$  вала и длины шейки  $A$ .

Взаимосвязь между предельными размерами и допусками собираемых деталей и узлов устанавливается с помощью размерных цепей. Термины, определения и методы расчета линейных и угловых цепей приведены в руководящем документе РД 50-635-87 «Методические указания. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей».

**Размерной цепью** называется совокупность размеров, образующих замкнутый контур и определяющих точность взаимного расположения осей и поверхностей одной или нескольких деталей.

**Звено размерной цепи** – один из размеров, составляющих размерную цепь.

Размерные цепи обозначают прописными буквами русского алфавита: А, Б, В и т.д. Звенья обозначаются буквами и порядковыми цифровыми индексами:  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Звенья угловых цепей – строчными буквами греческого алфавита, кроме  $\alpha, \beta, \varepsilon, \xi, \lambda, \omega$ .

**Виды звеньев размерных цепей.**

**Замыкающее звено  $A_\Delta$**  получается последним в процессе изготовления, сборки или измерения. На рабочих чертежах деталей его иногда указывают размером со знаком «\*», а в технических условиях записывают: «\* Размер для справки».

**Исходное звено** – звено размерной цепи, номинальные и предельные отклонения которого определяют функционирование механизма. Они должны обеспечиваться при решении размерной цепи (величины зазоров, натягов, перемещений деталей). В процессе сборки исходное звено, как правило становится замыкающим. Исходное звено может быть положительным, отрицательным или равняться нулю.

**Составляющее звено** – звено, изменение которого вызывает изменение замыкающего звена. Делятся на увеличивающие и уменьшающие.

**Увеличивающее звено  $\overrightarrow{A_j}$**  – звено, с увеличением которого замыкающее звено увеличивается.

**Уменьшающее звено  $\overleftarrow{A_j}$**  – звено, с увеличением которого уменьшается замыкающее звено.

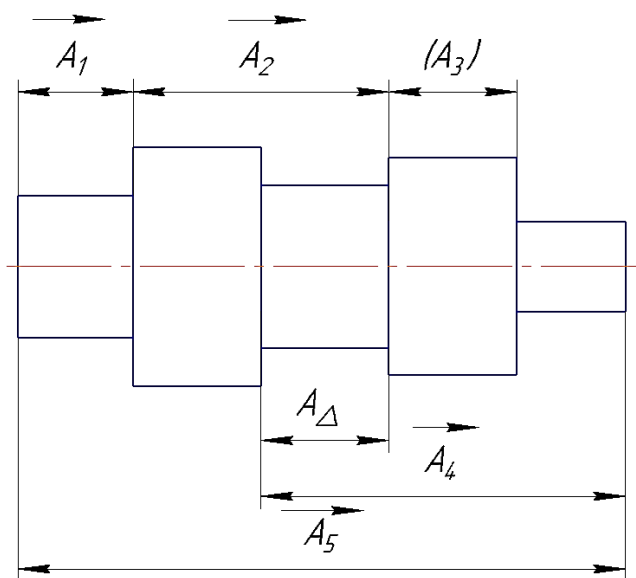


Рисунок 6.3 – Составляющие звенья размерной цепи

Звено  $A_3$  не влияет на размер  $A_\Delta$ , так как не входит в размерную цепь. Основное свойство размерной цепи ее замкнутость:  $A_\Delta = \vec{A}_1 + \vec{A}_2 + \vec{A}_4 - \vec{A}_5$ .

Классификация размерных цепей.

1. По взаимному расположению звеньев:

- плоские размерные цепи – звенья лежат в параллельных плоскостях (одной);
- пространственные размерные цепи – звенья расположены в непараллельных плоскостях.

2. По виду звеньев:

- линейные размерные цепи – размерная цепь, звенья которой линейные размеры.
- угловые размерные цепи – размерная цепь, звенья которой линейные размеры.

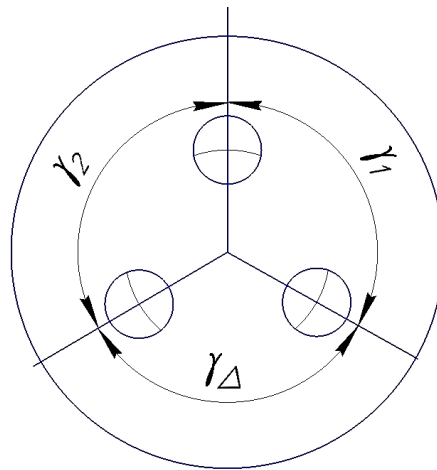


Рисунок 6.4 – Угловая размерная цепь

3. По назначению:

- конструкторские – обеспечивают точность при конструировании;
- технологические – точность при изготовлении (связь размеров детали и технологической системы);
- измерительные – решают задачу обеспечения точности при измерении.

Наиболее широко распространены плоские цепи с параллельными звеньями. На их примере познакомимся с методикой расчета размерных цепей.

Параметры звеньев размерных цепей.

Составляющие и замыкающие (исходные) звенья характеризуются:

- номинальными размерами  $A_{jn}, A_{\Delta n}$ ;
- размерами действительными  $A_{jo}, A_{\Delta o}$ ;
- предельными наибольшим  $A_j^{\max}, A_{\Delta}^{\max}$ , наименьшими  $A_j^{\min}, A_{\Delta}^{\min}$ ;
- отклонениями верхним  $ES(A_j), ES(A_{\Delta})$ , нижним  $EJ(A_j), EJ(A_{\Delta})$ , средним  $Ec(A_j), Ec(A_{\Delta})$ ;
- допусками  $TA_j, TA_{\Delta}$ .

Величины допусков линейных размеров берутся равными допускам цилиндрических деталей. Интервалы диаметров принимают за интервалы линейных размеров.

### Типы задач в теории размерных цепей.

Расчет и анализ размерных цепей является обязательным этапом при конструировании машины. Он обеспечивает взаимозаменяемость, способствует повышению качества и снижению трудоемкости ее изготовления.

Сущность **решения размерной цепи** – установить допуски и отклонения всех размеров исходя из конструкции и технологии. При этом встречаются задачи двух типов:

1) Технологическая (или обратная) – определить номинальный размер  $A_{\Delta}$  и его предельные отклонения по заданным номинальным размерам  $A_j$  и их предельным отклонениям (проверочный расчет допусков чертежа, технологическая задача).

2) Конструкторская (прямая) задача – назначить предельные размеры составляющих звеньев (части их) по заданным предельным размерам замыкающего звена (задача проектного расчета размерной цепи).

Основное требование к решению – технологическая выполняемость назначенных допусков.

Методы расчета размерных цепей.

1) На максимум-минимум (обеспечивает полную взаимозаменяемость).

2) Вероятностный метод.

3) Групповой взаимозаменяемости.

4) Метод регулирования.

5) Метод пригонки.

Методы 2–5 обеспечивают неполную (частичную) взаимозаменяемость.

### 6.1 Расчет размерных цепей методом максимума-минимума

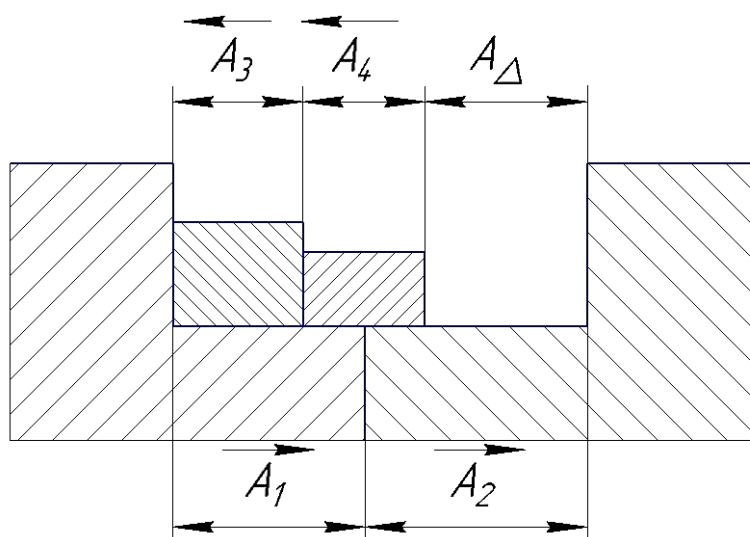


Рисунок 6.5 – Пример сборочной размерной цепи

На рисунке 6.5:  $A_{\Delta}$  – замыкающий размер,  $\overrightarrow{A_1}, \overrightarrow{A_2}$  – увеличивающие,  $\overleftarrow{A_3}, \overleftarrow{A_4}$  – уменьшающие.

Цепь замкнута, следовательно сумма номинальных размеров по одной ветви графика должна быть равной сумме номинальных размеров по другой ветви:  $A_{\Delta} + \overleftarrow{A_4} + \overleftarrow{A_3} = \overrightarrow{A_1} + \overrightarrow{A_2}$ ; отсюда  $A_{\Delta} = \overrightarrow{A_1} + \overrightarrow{A_2} - \overleftarrow{A_4} - \overleftarrow{A_3}$ . В общем виде номинальный размер замыкающего звена:

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A_j} - \sum_{j=n+1}^{n+p} \overleftarrow{A_j}, \quad (6.1)$$

где  $n$  – число увеличивающих размеров;

$p$  – число уменьшающих звеньев;

$m$  – всего звеньев.  $n+p = m-1$ .

Размерную цепь можно считать по предельным размерам или предельным отклонениям.

$A_{\Delta}^{\max}$  можно получить, если звенья 3 и 4 взять по наибольшему предельному размеру, а звенья 1 и 2 по наименьшему:

$$A_{\Delta}^{\max} = \overrightarrow{A_1}^{\max} + \overrightarrow{A_2}^{\max} - \overleftarrow{A_4}^{\min} - \overleftarrow{A_3}^{\min}; \quad (6.2)$$

$$A_{\Delta}^{\min} = \overrightarrow{A_1}^{\min} + \overrightarrow{A_2}^{\min} - \overleftarrow{A_4}^{\max} - \overleftarrow{A_3}^{\max}. \quad (6.3)$$

В общем виде можно записать:

$$A_{\Delta}^{\max} = \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A_j}^{\max} - \sum_{j=n+1}^{n+p} \overleftarrow{A_j}^{\min}, \quad (6.4)$$

$$A_{\Delta}^{\min} = \sum_{j=1}^n \overrightarrow{A_j}^{\min} - \sum_{j=n+1}^{n+p} \overleftarrow{A_j}^{\max}. \quad (6.5)$$

Допуск замыкающего звена получим, вычитая из выражения (6.4) выражение (6.5). Получим:

$$TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j, \quad (6.6)$$

**Допуск замыкающего звена равен сумме допусков составляющих звеньев.** Определим верхнее отклонения замыкающего звена, для этого из выражения (6.2) вычитаем (6.1):

$$ES(A_{\Delta}) = \sum_{j=1}^n ES(\overrightarrow{A_j}) - \sum_{j=n+1}^{n+p} EI(\overleftarrow{A_j}). \quad (6.7)$$

Определим нижнее отклонения замыкающего звена, для этого из выражения (6.5) вычитаем (6.1):

$$EI(A_{\Delta}) = \sum_{j=1}^n EI(\bar{A}_j) - \sum_{j=n+1}^{n+p} ES(\bar{A}_j). \quad (6.8)$$

Технологические (обратные) задачи относительно параметров  $A_{\Delta}$  решаются с помощью приведенных уравнений: 6.1, 6.4...6.8.

В большинстве случаев при конструировании заданы размеры замыкающего звена, а необходимо определить допуски и размеры составляющих звеньев. В этом случае приведенных шести уравнений недостаточно, надо дополнительно задаться какими-то условиями.

Существует два способа решения прямой задачи.

1. Способ равных допусков составляющих звеньев:  $TA_1 = TA_2 = TA_3 = TA_4 = \dots = TA_j$ .

По (6.1):  $TA_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j = T_c A_j (m-1)$ , отсюда:

$$T_c A_j = \frac{TA_{\Delta}}{m-1}.$$

По найденному значению  $T_c A_j$  принимают ближайший стандартный допуск.

Применяется, если размеры звеньев находятся в одном интервале. Достоинством является простота метода.

2. Способ допусков одного качества составляющих звеньев.

На все размеры цепи, кроме  $A_{\Delta}$ , назначают допуски одного качества, на отверстия (охватываемые) с основным отклонением  $H$ , на валы (охватываемые)  $h$ .

Номер качества определяют по числу единиц допуска  $a$ . По условию:  $a_1 = a_2 = a_3 = \dots = a_j = a$ . Тогда:

$$TA_{\Delta} = a \sum_{j=1}^{m-1} i_j = a \sum_{j=1}^{m-1} (0,45\sqrt[3]{D} + 0,001 \cdot D).$$

Определим число единиц допуска  $a$ :

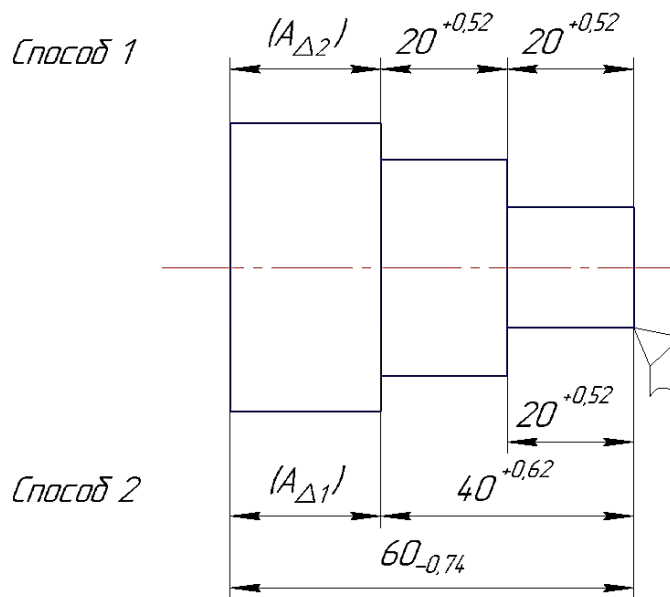
$$a = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} i_j} = \frac{TA_{\Delta}}{\sum_{j=1}^{m-1} (0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D)}.$$

Если  $a$  получится «между двумя» качествами, то часть деталей назначают по одному качеству, часть по второму, затем выполняется проверка. Величина допуска при этом способе зависит от номинального размера. Способ более универсален по сравнению со способом равных допусков.

Расчет на максимум-минимум обеспечивает полную взаимозаменяемость. Однако при большом числе звеньев допуски составляющих размеров могут получиться «жесткими» (технологически трудно выполнимыми).

При установлении технологически выполнимых допусков может оказаться, что  $TA_{\Delta} < \sum_{j=1}^{m-1} TA_j$ . В этом случае приходится решать размерные цепи методами неполной взаимозаменяемости.

**Способы простановки размеров.** Для трёх ступенчатого валика приведены два способа простановки размеров, соответствующих двум последовательностям обработки. Допуски составляющих размеров назначены по IT9.



**Рисунок 6.6 – Способы простановки размеров**

Способ 1 – «цепочкой». В этом случае:

$$TA_{\Delta 1} = 0,52 + 0,52 + 0,74 = 1,78 \text{ мм}$$

Способ 2 – «лесенкой», от одной базы:

$$TA_{\Delta 2} = 0,62 + 0,74 = 1,36 \text{ мм}$$

Выводы:

- стремится к кратчайшей размерной цепи;
- замыкающие размеры получаются автоматически и на чертежах не обозначаются (или \*для справки);
- устанавливать исходное звено составляющим, а замыкающим ставить наименее ответственный размер.

## 6.2 Решение размерных цепей теоретико-вероятностным методом

При изготовлении партии деталей неизбежно происходит рассеивание их размеров. Оно выявляется при измерениях. Как машины-орудия (станки), так и измерительные машины повинны в возникновении погрешности.

Погрешности звеньев считают распределенными по одному из законов. Например, для нормального закона распределения (Гаусса) принимают

технологический допуск:  $TA_j = 6\sigma_j$ ;  $TA_\Delta = 6\sigma_\Delta$ . При этом возможный брак составляет 0,27%.

Закон распределения характеризует коэффициент (для  $j$ -го звена):

$$\lambda_j = \left( \frac{\sigma_j}{0,5TA_j} \right)^2,$$

где  $\sigma_j$  - среднее квадратическое отклонение  $j$ -го звена.

Для закона Гаусса:

$$\lambda_j = \frac{1}{9}.$$

Для закона Симпсона:

$$\lambda_j = \frac{1}{6}.$$

Для закона равной вероятности:

$$\lambda_j = \frac{1}{3}.$$

Из теории вероятности свойство дисперсии суммы случайных величин:

$$D \sum A_j = \sum_{j=1}^m D_j(A_j),$$

где  $D$  – дисперсия,

$$D = \sigma^2.$$

Выражая допуски  $TA$  через дисперсию  $D$  получаем:

$$TA_\Delta = t \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \lambda_j (TA_j)^2}. \quad (6.9)$$

При введении  $\lambda_i$  в формулу перед знаком радикала ставиться  $t$  – коэффициент риска, характеризующий вероятность появления брака (таблица 6.1).

**Таблица 6.1 – Вероятность появления брака при распределении погрешностей по нормальному закону**

| в процентах              |      |     |      |      |      |
|--------------------------|------|-----|------|------|------|
| Коэффициент<br>$t$       | 3    | 2,6 | 2,34 | 2,06 | 1,88 |
| Вероятность<br>брака $P$ | 0,27 | 1   | 2    | 4    | 6    |

Для прямой задачи, решаемой способом равных допусков формула 6.9 принимает вид:

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \lambda (T_c A_j)^2 (m-1)} = t T_c A_j \sqrt{\lambda (m-1)}.$$

Отсюда:

$$T_c A_j = \frac{TA_{\Delta}}{t \sqrt{\lambda (m-1)}}. \quad (6.10)$$

Для способа допусков одного качества:  $a_1 = a_2 = a_3 = \dots = a_{m-1} = a_c$ ;  $i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D$ ;  $TA_j = a_c i_j$ .

Допуск замыкающего звена:

$$TA_{\Delta} = t \sqrt{\sum_{j=1}^{m-1} \lambda (a_c i_j)^2},$$

откуда:

$$a_c = \frac{TA_{\Delta}}{t \sqrt{\lambda \sum_{j=1}^{m-1} i_j^2}}.$$

По  $a_c$  устанавливаем качество и назначаем отклонения звеньев: охватывающих –  $H$ , охватываемых –  $h$ .

Если допуск  $A_{\Delta}$  симметричный (JS, js), то на  $A_j$  также назначаем симметричные отклонения (JS, js).

При вероятностном методе формулы 6.7 и 6.8 для расчета предельных отклонений  $A_{\Delta}$  (на максимум-минимум) удовлетворятся не будут – так как рассчитаны на маловероятные наихудшие случаи сочетания погрешностей.

Для определения предельных отклонений  $A_{\Delta}$  сначала рассчитывают координату середины поля допуска  $A_j$  (среднее отклонение):

$$E_c A_j = \frac{ES(A_j) + EJ(A_j)}{2}.$$

Для средних отклонений выполняется соотношение:

$$E_c A_{\Delta} = \sum_{j=1}^n E_c \overrightarrow{A_j} - \sum_{j=n+1}^{n+p} E_c \overleftarrow{A_j}.$$

Тогда для замыкающего звена:

$$ES(A_{\Delta}) = E_c A_{\Delta} + \frac{TA_{\Delta}}{2},$$

$$EJ(A_{\Delta}) = E_c A_{\Delta} - \frac{TA_{\Delta}}{2}.$$

## Проверка расчета размерной цепи.

### 1. Метод максимума-минимума:

$$TA_{\Delta} \geq \sum_{j=1}^{n-1} TA_j. \quad (6.11)$$

### 2. Вероятностный метод:

$$TA_{\Delta} \geq t \sqrt{\lambda \sum_{j=1}^{m-1} (TA_j)^2}. \quad (6.12)$$

Задавшись вероятным браком  $P = 0,27\%$  (3 детали, сборки из 1000) и  $t = 3$ , можно увеличить допуски составляющих звеньев примерно в 2 раза (грубее на 1–2 качества).

## 6.3 Расчет допусков размерных цепей методом групповой взаимозаменяемости (селективная сборка)

Применяется в том случае, если полная взаимозаменяемость элементов технически не достижима, либо экономически не целесообразна.

Детали изготавливаются по широким (технологичным) допускам, затем собираются с более узкими групповыми допусками.

Для сборки деталей берутся из одноименных групп. При этом внутригрупповая взаимозаменяемость – полная.

Схемы сортировки при селективной сборке посадок с натягом и зазором приведены на рисунках 6.7 и 6.8.

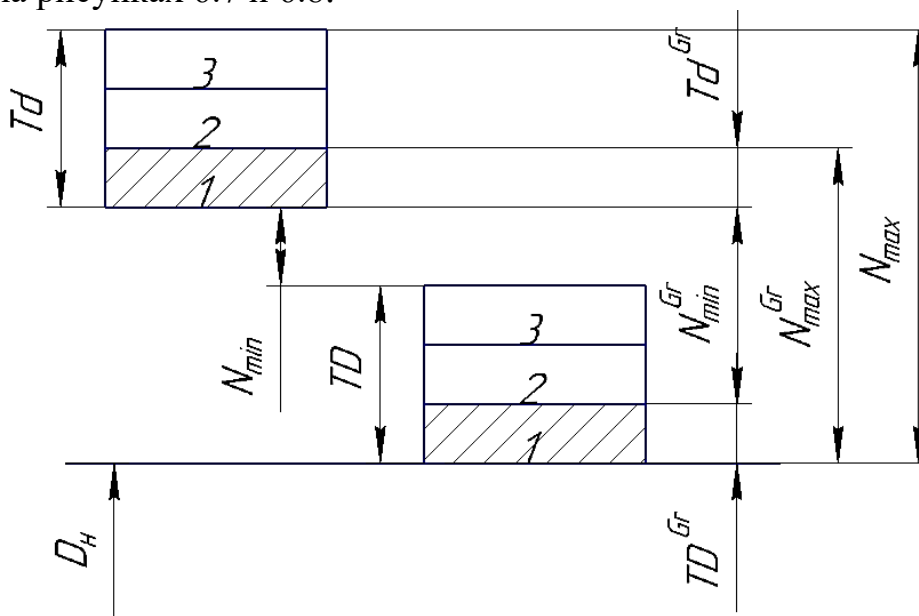
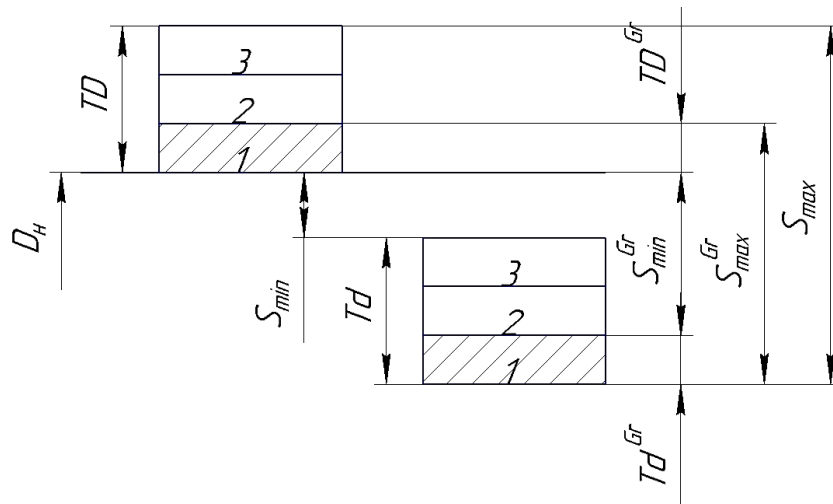


Рисунок 6.7 – Схема сортировки при селективной сборке посадки с натягом



**Рисунок 6.8 - Схема сортировки при селективной сборке посадки с зазором**

Наибольшие зазоры и натяги уменьшаются, а наименьшие увеличиваются, приближаясь к средним  $S$  и  $N$  данной посадки. Стабильность и долговечность соединения увеличивается.

Для определения числа групп сортировки  $n$  задаются максимальным групповым натягом  $N_{\max}^{Gr}$  (зазором  $S_{\max}^{Gr}$ ), либо минимальным групповым натягом  $N_{\min}^{Gr}$  (зазором  $S_{\min}^{Gr}$ ), либо групповым допуском  $Td^{Gr}$  ( $TD^{Gr}$ ).

Особенно целесообразно применять метод при  $TD = Td$ . Тогда  $S^{Gr}(N^{Gr})$  постоянен во всех группах.

Селективная сборка широко применяются для сборки подшипников качения, точных резьб с натягом и др.

Взаимозаменяемость внутри сборочной единицы – внутренняя (по группам – полная).

$$TA_{\Delta}^{Gr} = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j^{Gr}.$$

Обычно  $A_{\Delta} = N$ .

$$TA_{\Delta} = Td + TD,$$

$$TN = Td + TD,$$

$$TN^{Gr} = \frac{Td}{n} + \frac{TD}{n}.$$

Откуда:

$$n = \frac{TN}{TN^{Gr}}.$$

где  $n$  – число групп сортировки (коэффициент увеличения точности сборки).

Обычно  $n = 4...5$ , но при сортировке тел качения подшипников  $n \geq 10$ .

Недостатки метода селективной сборки:

- необходимо применять сложные контрольно-измерительные и сортировочные приборы;
- увеличивается трудоемкость сборки (создание сортировочных групп);
- возможно незавершенное производство – разное число деталей в парных группах.

Применение селективной сборки окупается в массовом и крупносерийном производстве соединений высокой точности – за счет повышения качества. Для подшипников качения и резьбы с натягом – единственный экономически целесообразный метод.

#### **6.4 Метод пригонки**

Достижения точности размерной цепи с помощью пригонки (технологическая компенсация с доработкой отдельных деталей, которые выполняются с заранее предусмотренным припуском) требует достаточно высокой трудоемкости (сборка, определение необходимого размера для доработки детали, пригонка детали и повторная сборка узла). Достоинством этого решения является простота конструкции, в которую либо включают специально для этого введенные в цепь дорабатываемые детали простейшей формы, технологичные в сборке и пригонке, либо дополнительные детали вообще не включают в цепь, обходясь пригонкой наиболее технологичных деталей, находящихся в исходной конструкции детали.

#### **6.5 Метод регулирования (установки компенсатора)**

Точность замыкающего звена  $A_d$  достигается за счет преднамеренного изменения величины одного из составляющих звеньев, называемого *компенсатором*. Остальные размеры цепи можно выполнить по расширенным допускам.

Использование в размерной цепи специальных регулировочных устройств существенно сокращает трудоемкость и время получения сложного изделия по сравнению с применением технологической компенсации. К недостаткам решения следует отнести усложнение конструкции, как правило, сопровождающееся повышением ее трудоемкости, увеличением габаритов и массы. Дополнительными достоинствами регулировок в конструкции обычно является возможность компенсации износа деталей.

## 7 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ГЛАДКИХ КОНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ И УГЛОВ [1, 10]

В современном машиностроении достаточно часто поверхности деталей располагаются под некоторым углом друг к другу, отличным от прямого, при этом должна быть обеспечена требуемая точность. В этой связи возникает необходимость назначать угловые размеры с соответствующими допусками.

Основные нормы взаимозаменяемости в этой области регламентируются ГОСТ 8908, ГОСТ Р 53440 и ГОСТ 25548. На практике угловые элементы деталей условно разделяют на две группы:

- элементы с углами общего назначения (конструктивные наклонные поверхности с произвольными уклонами, скосы, фаски и др.);
- элементы со специальными углами, размеры которых связаны расчетными зависимостями с другими линейными, угловыми размерами (обуславливаются специфическими эксплуатационными или технологическими требованиями).

Для ограничения номенклатуры углов первой группы ГОСТ 8908 устанавливает три ряда нормальных углов, причем каждый последующий ряд не включает предыдущие.

Допуски углов призматических элементов с длиной меньшей стороны до 2500 мм, а также допуски углов конусов с длиной образующей или оси до 2500 мм нормированы ГОСТ 8908. Этим документом предусмотрены 17 степеней точности допусков углов  $AT$ , обозначаемых числами в порядке убывания точности: 1...17. Выбор конкретной из 17 степеней определяется функциональными требованиями к точности угловых размеров.

Стандарт предусматривает для каждой степени точности следующие виды допусков на угловые размеры:

- $AT_\alpha$  – «теоретический» допуск угла, выраженный в угловых единицах (в микроградусах, градусах, минутах, секундах);
- $AT_h$  – допуск угла, выраженный в единицах длины (в микрометрах) как отрезок на перпендикуляре к номинальному положению короткой стороны угла, на расстоянии  $L_1$  от вершины этого угла;
- $AT_D$  – допуск угла конуса, выраженный в единицах длины (в микрометрах) как разность наибольшего и наименьшего допустимых диаметров в заданном нормальном к оси сечении конуса на определенном осевом расстоянии  $L$  и отсчитываемый по перпендикуляру к оси конуса.

Допуски в угловых и линейных единицах связаны зависимостью:

$$AT = 10^{-3} \cdot AT_{\alpha} \cdot L_1,$$

где  $AT_h$  – допуск угла в единицах длины, мкм;

$AT_{\alpha}$  – допуск угла в угловых единицах, мкрад;

$L_1$  – длина стороны угла или длина образующей конуса, мм.

Для конусов, имеющих малые углы (при конусности  $C \leq 1:3$  или при значении угла конуса  $\alpha \leq 19^\circ$ ):  $AT_D \approx AT_h$ , в таком случае принимают  $L \approx L_1$  и назначают допуск  $AT_D$  (разность значений  $AT_D$  и  $AT_h$  составляет не более 2%).

Допуск  $AT_h$  назначают на конусы, имеющие конусность более 1:3 в зависимости от длины  $L_1$ . При больших значениях  $C$  и  $\alpha$ :

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

Следует обратить внимание, что в отличие от полей допусков гладких цилиндрических поверхностей, положение которых определяется основными отклонениями, расположение поля допуска в системе допусков угловых размеров специально не лимитируется.

На практике чаще других встречаются следующие варианты расположения допусков на угол:

- «внутри угла» ( $-AT$ );
- «снаружи угла» ( $+AT$ );
- симметрично относительно нулевой линии ( $\pm AT / 2$ ) (рисунок 7.1).

Встречаются и такие расположения полей допусков углов:

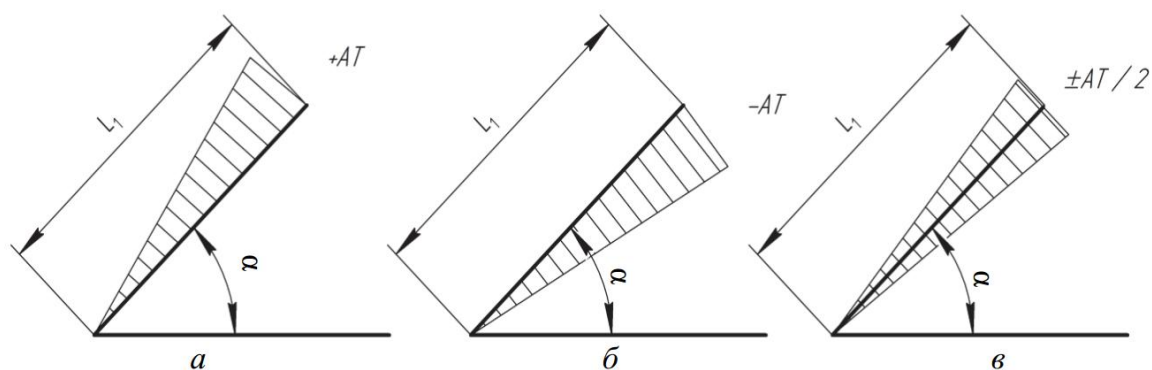
- одностороннее с двумя положительными отклонениями;
- одностороннее с двумя отрицательными отклонениями;
- асимметричное с отклонениями разных знаков.

Поля допусков углов конусов также могут располагаться любым выбранным образом. Допуски углов призматических элементов детали устанавливают в зависимости от номинальной длины меньшей стороны угла  $L_1$  (рисунок 7.1).

Для призматических деталей кроме нормальных углов ГОСТ 8908 допускает применять стандартные уклоны  $S$ . Уклон представляет собой отношение перепада высот ( $H-h$ ) к расстоянию  $L$  между местами их измерения:

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

Допуски углов конусов назначают в зависимости от длины конуса  $L$  вдоль оси (для конусов с конусностью не более 1:3), а в остальных случаях – от длины образующей  $L_1$ . Предпочтительным вариантом является назначение поля допуска с симметрично расположенными отклонениями.



*a* – «снаружи угла»; *б* – «внутри угла»; *в* – симметрично относительно нулевой линии

**Рисунок 7.1 – Схемы расположения полей допусков угловых размеров**

Термины и определения, относящиеся к поверхностям и элементам деталей, имеющим угловые элементы, установлены ГОСТ 25548.

**Конус** – обобщенный термин, под которым в зависимости от конкретных условий понимают коническую поверхность, коническую деталь или конический элемент детали.

В деталях конические поверхности часто стыкуются с соосными цилиндрическими поверхностями и имеют вид усеченного конуса с большим и меньшим основаниями.

Под **основаниями конуса** понимают круговые сечения, 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. Базовая плоскость может совпадать или не совпадать с основной.

Элементы конусов обозначаются следующим образом (рисунок 7.2).

Диаметры поперечных сечений конусов: большого основания –  $D$ ; малого –  $d$ ; заданного сечения (в котором задан допуск) –  $D_s$ , произвольно расположенного –  $d_x$ . Угол конуса обозначают  $\alpha$ , угол уклона конуса  $\alpha / 2$ .

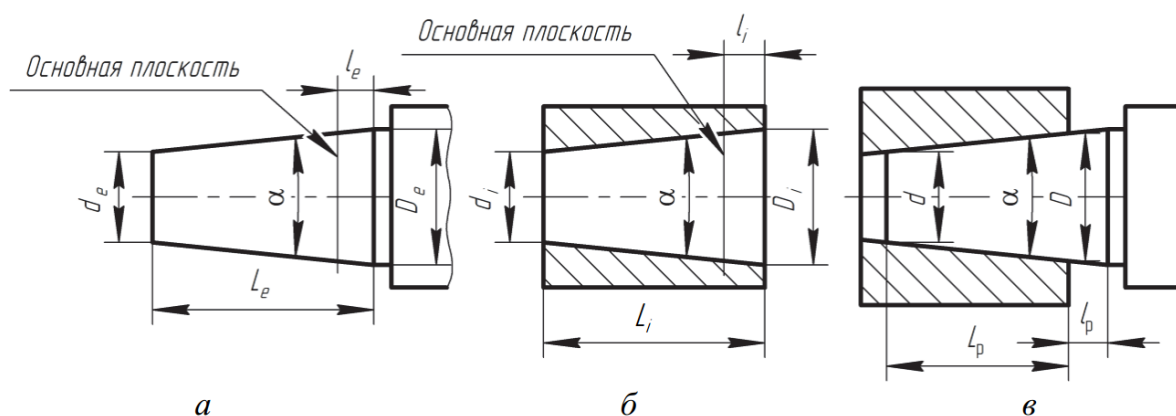


Рисунок 7.2 – Основные параметры наружного (а) и внутреннего (б) конуса, конического соединения (в)

Угол уклона конуса  $\alpha/2$  связан с размерами  $D$ ,  $d$  и  $L$  следующим соотношением:

$$C = (D - d) / L = 2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha / 2);$$

$$C / 2 = 0,5 \cdot (D - d) / L = \operatorname{tg}(\alpha / 2),$$

где  $C$  – конусность;

$C / 2$  – уклон  $i$ .

При необходимости различения параметров конических соединений, наружных и внутренних конусов в обозначениях параметров наружных конусов используют индексы  $e$ , параметров внутренних конусов индексы –  $i$ , а для параметров конических соединений –  $p$ .

Обозначение длины конуса –  $L$ , длины конического соединения –  $L_p$ , осевое расстояние от большего основания конуса до заданного сечения –  $L_s$ , до произвольно расположенного сечения –  $L_x$ . Расстояние между основной и базовой плоскостями конуса (базовое расстояние конуса) обозначают  $z_e$  или  $z_i$ , а базовое расстояние конического соединения –  $z_p$ .

Усеченный конус (наружный и внутренний) характеризуется диаметром большого основания  $D$ , диаметром малого основания  $d$ , длиной конуса  $L$  и углом конуса  $\alpha$ .

**Коническое соединение** – соединение наружного и внутреннего конусов, имеющих одинаковые номинальные углы, характеризуется большим диаметром  $D$ , малым диаметром  $d$ , длиной конического соединения  $L_p$ , базовым расстоянием  $z_p$  (расстояние между принятыми базами наружного и внутреннего конусов, образующих коническое сопряжение).

#### Система допусков и посадок конических деталей и соединений.

Стандарты устанавливают два способа нормирования допуска диаметра конуса.

Первый способ – назначение «углового допуска» АТ. При этом поле допуска имеет вид треугольника с постоянным значением угла, который нормируется одним из допусков угла АТ<sub>а</sub>, АТ'<sub>а</sub>, АТ<sub>н</sub> или (наиболее часто) АТ<sub>р</sub>.

Допуск ограничивает отклонения угла конуса и отклонения формы конуса. Дополнительно могут быть более жестко ограничены допуски формы (например, комплексом допусков круглости поперечного сечения конуса  $T_{FR}$  и прямолинейности его образующих  $T_{FL}$ ), если эти допуски недостаточно жестко ограничены допусками угла конуса.

Второй способ – назначение допуска диаметра  $IT_D$  ( $T_D$ ), одинакового в любом поперечном сечении конуса и определяющего два предельных конуса, между которыми должны находиться все точки поверхности реального конуса. При этом способе нормируют допуск только в заданном сечении конуса ( $T_{Ds}$ ). Допуски  $T_D$  или  $T_{Ds}$  должны соответствовать ГОСТ 25346. Для образования нужных посадок в конических соединениях деталей чаще применяют именно этот способ назначения допусков.

Для конических соединений ГОСТ 25307 предусматривает посадки с зазором, натягом, переходные.

В отличие от цилиндрических сопряжений с гарантированным зазором, где оси валов и отверстий не совпадают, конические сопряжения могут обеспечить самоцентрирование деталей с образованием нулевого зазора за счет осевого смещения охватываемой и охватывающей деталей.

Поскольку смещение охватываемой детали к меньшему или большему основанию конуса приводит к уменьшению или увеличению зазора, в конических соединениях часто применяют специальные устройства регулировки зазора (натяга) между сопрягаемыми деталями.

При наличии установленных стандартом переходных посадок фактически конические сопряжения могут быть реализованы либо как посадки с зазором, либо как посадки с натягом.

Посадки с натягом используют для получения неподвижных герметичных соединений, а также соединений, обеспечивающих передачу крутящего момента, например, хвостовикам стержневого режущего инструмента.

Так как сопрягаемые поверхности конические и диаметры сопрягаемых деталей вдоль оси переменные, для одной и той же конической пары вал – втулка может быть достигнут желаемый характер соединения за счет фиксации:

- взаимного положения наружного и внутреннего конусов в осевом направлении;
- заданной силы запрессовки (для посадок с натягом).

При назначении посадок для конических соединений следует использовать поля допусков со следующими основными отклонениями:

- для внутренних конусов – H; Js; N;
- для наружных конусов – d, e, f, g, h, js, k, m, n, p, r, s, t, u, x, z.

Для образования посадок рекомендуются поля допусков в квалитетах от 4-го до 9-го, причем рекомендуемые поля допусков отверстий – H4, H5, H6, H7, H8, H9, т. е. рекомендуемые посадки организуются в системе основного отверстия.

В посадках рекомендуется сочетать поля допусков диаметров наружного и внутреннего конусов одного качества, но в обоснованных случаях допуск диаметра конического отверстия можно назначать на один или два качества грубее.

Для получения посадок различного характера в соответствии с ГОСТ 25307 для наружных конусов можно использовать следующие основные отклонения:

- при формировании посадок с зазором – d, e, f, g, h;
- для переходных – js, k, m, n, p;
- для посадок с натягом – r, s, t, u, x, z.

Поля допусков в остальных качествах могут использоваться для таких изделий высокой точности, как конические калибры, эталонные меры и т. п. (качества от 1-го до 5-го), или несопрягаемых деталей низкой точности (качества от 10-го до 17-го).

### **Измерительный контроль угловых размеров.**

Для угловых измерений в машиностроении и приборостроении используют разные методы, реализуемые множеством средств измерений, различающихся по конструкции, точности, пределам измерений, производительности.

Измерения углов можно разделить на прямые (осуществляющиеся средствами измерений, градуированными в угловых единицах) и косвенные, осуществляемые с помощью средств линейных измерений и требующие последующего расчета искомых значений углов с использованием тригонометрических функций.

К простейшим средствам измерений углов относят угловые концевые меры. Угловые меры могут быть однозначными или многозначными. Они включают угольники (номинальный угол  $90^\circ$ ), призматические угловые концевые меры с одним или несколькими (три, четыре и более) рабочими углами, а также конические калибры. Угловые концевые меры, как и концевые меры длины, используют для измерительного контроля, а также для настройки приборов при измерении методом сравнения с мерой.

Многозначные штриховые угловые меры (транспортиры) имеют шкалу и все принадлежащие ей метрологические характеристики (цена деления, верхний и нижний пределы шкалы, диапазон шкалы).

Вторая группа средств измерения углов — гониометрические приборы (прямое измерение), с помощью которых измеряемый угол сравнивается с соответствующими значениями встроенной в прибор угломерной круговой или секторной шкалы. К таким приборам можно отнести транспортирные угломеры с нониусом, оптические угломеры, делительные головки, гониометры. Делительные головки (оптические и механические) применяют для угловых измерений и для делительных работ при разметке и обработке деталей.

Кроме того, ряд универсальных средств измерений имеет специальные угломерные устройства, например, измерительные головки ОГУ, которыми

комплектуют измерительные микроскопы, угломерные поворотные столы на больших измерительных микроскопах и больших проекторах и т.д.

Для измерений отклонения углов от горизонтали и (или) вертикали применяют различные уровни (брусковые, рамные, с цилиндрическими и сферическими ампулами), оптические квадранты и другие приборы.

При измерении угломером плоские или ножевые грани линейек угломера накладывают без просвета на стороны измеряемого угла детали. Одна из линейек связана с круговой или секторной угломерной шкалой, другая (поворотная) – с указателем или нониусом. При измерениях с помощью делительной головки, гониометра или измерительного микроскопа грани угла фиксируют с помощью вспомогательных оптических или иных устройств.

Сузь косвенных (тригонометрических) измерений углов заключается в том, что угол получают путем измерения линейных размеров контролируемой детали, рассчитывая его значение через тригонометрические функции. При этом для линейных измерений могут применяться любые универсальные средства, а также вспомогательные средства, разработанные специально для обеспечения измерений углов конусов и призматических деталей.

Косвенные измерения углов чаще всего основаны на использовании синусных или тангенсных схем, а объектом измерения являются угол специально выстроенного прямоугольного треугольника. Две стороны этого треугольника воспроизводятся и (или) измеряются средствами линейных измерений (например, можно измерить два катета на микроскопе или проекторе).

Из средств, предназначенных для реализации тригонометрических измерений, наиболее распространенными являются синусные линейки различных типов. Измеряемый объект помещают на синусную линейку с известным значением гипотенузы (базовое расстояние линейки) и измеряют катет искомого угла (рисунок 7.3).

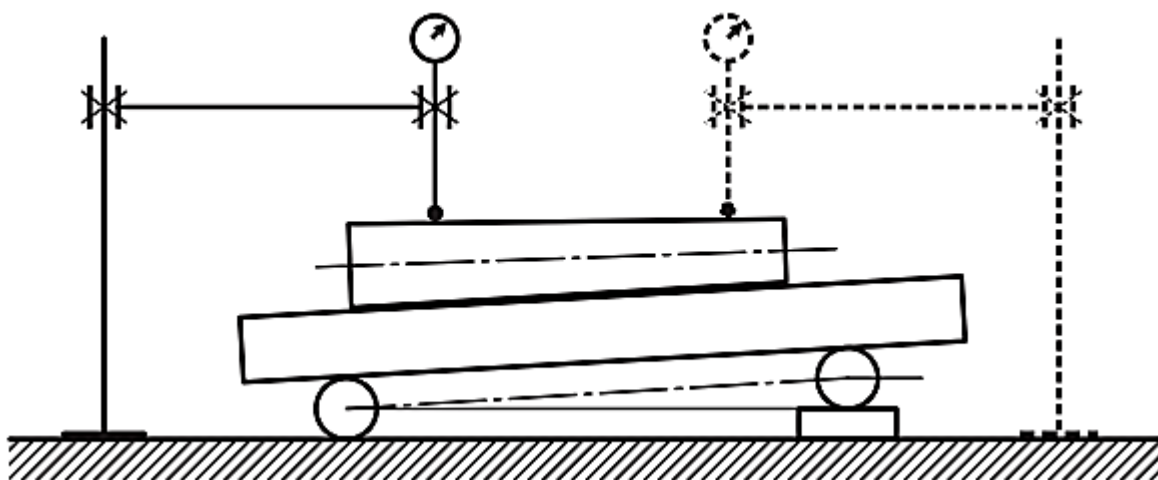


Рисунок 7.3 – Схема измерительного контроля угла конуса

Встречаются и более сложные реализации синусных и тангенсных схем измерений (конусомеры, устройства для измерений внутренних конусов с помощью шаров и др.).

При изготовлении различных деталей машин в качестве средств измерений применяют угловые шаблоны с углом, который должно иметь изделие, причем изделие подгоняют по шаблону без просвета. Касание измерительных поверхностей с изделием должно быть линейным, поэтому для контроля углов изделий, образованных плоскими гранями, шаблоны изготавливают с лекальным (закругленной малым радиусом) поверхностью одной или обеих сторон рабочего угла.

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 (кромки) изделий, а также для проверки перпендикулярности относительных перемещений деталей машин. Кроме того, угольники применяют при монтажных работах. Формы, размеры и технические условия стандартизованы ГОСТ 3749.

При измерении угла изделия методом сравнения с углом угольника оценивают просвет между ними. Отклонение угла изделия от угла угольника определяется отношением ширины просвета к длине стороны угольника. Поскольку длина угольника неизменна, просвет может служить мерой отклонений угла. Просвет можно наблюдать как у конца стороны угольника, так и у вершины угла. При контроле на просвет необходимо установить отсутствие просвета между измерительной поверхностью угольника и контролируемой поверхностью детали или его значение. При обычной освещенности порядка 100-150 лк невооруженный глаз обнаруживает просвет между плоской поверхностью и кромкой лекальной линейки примерно от 1,5-2 мкм. Погрешность оценки просвета тем больше, чем короче протяженность контактной линии изделия и угольника.

Важную роль играет и ширина поверхностей в направлении, перпендикулярном направлению образующей угла. При ширине контактирующих поверхностей 3—5 мм невидимые просветы могут достигать 4 мкм. Если же при этом контактирующие поверхности не доведенные, а шлифованные, невидимый просвет может доходить до 6 мкм.

Для более точной оценки просветов применяют так называемый образец просвета.

Просвет, ширину которого предстоит оценить, сравнивают на глаз с набором аттестованных просветов и по идентичности наблюдаемых 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 просветах до 5 мкм, а при больших просветах (до 10 мкм) – порядка 2-3 мкм. Для просвета

свыше 10 мкм этот метод неприменим. При просветах от 20 мкм и более можно пользоваться щупами.

Для контроля размеров наружных и внутренних конусов применяют конические калибры. Контроль изделий калибрами обычно 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-пробки имеются либо две ограничительные линии, либо срез уступом (его применяют и на калибре-втулке).

Угол конуса детали проверяют по прилеганию поверхности калибра к поверхности проверяемой детали. Для этого калибр тщательно очищают от пыли, масла и наносят на его коническую поверхность слой краски (например, берлинской лазури), равномерно распределяя ее по всей поверхности. Затем калибр-пробку осторожно вставляют или калибр-втулку 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 равномерно стираться по всей образующей калибра.

По доле стертой и оставшейся краски судят о годности детали по конусности. Погрешности этого метода измерения составляют примерно  $20''$ . Необходимо, чтобы на рабочих поверхностях и поверхностях контролируемых деталей отсутствовали забоины, царапины и другие подобные дефекты.

Для измерения внутренних конусов и клиновидных пазов применяют аттестованные шарики или ролики, синусные и тангенсные схемы, основанные на измерении или воспроизведении противолежащего 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.

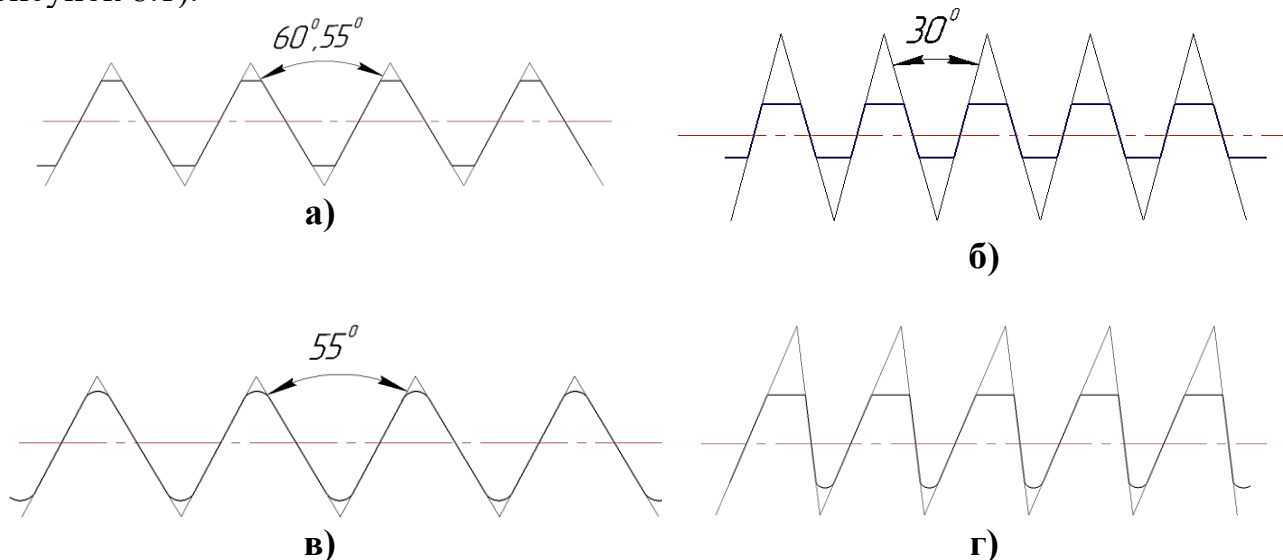
## 8 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

По статистике свыше 60% деталей машин имеют резьбовую поверхность.

Резьбовая поверхность образуется при винтовом перемещении плоского контура определенной формы по цилиндрической или конической поверхности.

### 8.1 Классификация резьб и эксплуатационные требования к ним

**По профилю** винтовой поверхности резьбы (контур осевого сечения) различают: треугольные, трапецеидальные, пилообразные упорные, круглые (рисунок 8.1).



а) треугольный; б) трапецеидальный, в) пилообразный упорный; г) круглый

Рисунок 8.1 – Формы профиля винтовой поверхности резьбы

**По форме поверхности** на которой образована резьба: цилиндрические, конические.

**По числу заходов** резьбы (ниток): однозаходные, многозаходные (2-х, 3-х и т.д.).

**По направлению** винтового движения: правые, левые.

По принятой **единице измерения** линейных размеров: метрические, дюймовые.

**По назначению** разделяют: общего, специального.

Резьбы общего назначения применяются в любых отраслях промышленности:

- крепежные – для получения разъемных неподвижных соединений;
- кинематические: трапецеидальная для точного перемещения пары винт-гайка;
- упорные – для преобразования вращательного движения в прямолинейное под нагрузкой;
- трубные и арматурные – для получения герметичных соединений.

Резьбы специального назначения применяются только в изделиях определенных отраслей промышленности (резьба цоколя электроламп, противогазной коробки и т.д.).

**Общее эксплуатационное требование к резьбам** – бесподгоначная свинчиваемость независимо изготовленных деталей, при сохранение эксплуатационных качеств.

## 8.2 Основные параметры резьбы

Номинальные значения параметров одинаковые для болта и гайки:  $d, d_1, d_2$  – наружные резьбы (болт);  $D, D_1, D_2$  – внутренние резьбы (гайка).

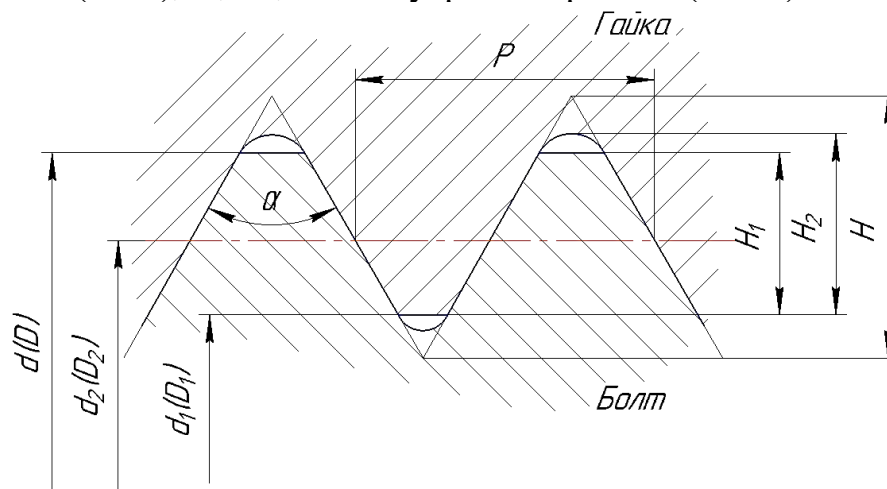


Рисунок 8.2 – Основные параметры резьбы

**Наружный диаметр резьбы  $d$  ( $D$ )** – номинальный размер резьбы. Диаметр цилиндра, описанного около болта и вписанного по диаметру впадин гайки.

**Внутренний диаметр резьбы  $d_1$  ( $D_1$ )** – диаметр цилиндра, соосного с резьбой, касающегося впадин болта и выступов гайки. Определяет опасное сечение болта.

**Средний диаметр резьбы  $d_2$  ( $D_2$ )** – диаметр соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль резьбы в точках, где ширина канавки равна половине номинального шага  $P/2$  (для многозаходной резьбы – половине номинального хода:  $P_n/2 \cdot n$ , где  $n$  – число заходов).

**Шаг резьбы  $P$**  – расстояние между двумя одноименными соседними сторонами профиля, измеренное в направлении, параллельном оси резьбы.

**Ход резьбы  $P_n$**  – величина относительного смещения гайки и болта за один оборот:  $P_n = n \cdot P$ , где  $n$  – число заходов. У однозаходной резьбы  $P_n = P$ .

**Угол профиля резьбы  $\alpha$**  – угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости. Контролируют  $\alpha/2$  – более точная характеристика. Для резьб с несимметричным профилем (рисунок 8.3):  $\beta + \gamma = \alpha$ ,  $\beta \neq \gamma \neq \frac{\alpha}{2}$ .

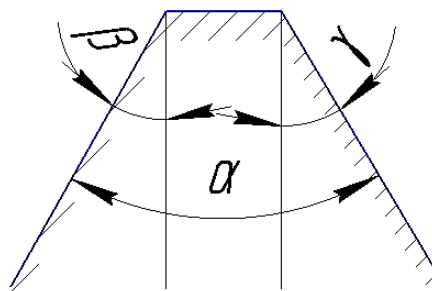


Рисунок 8.3 – Несимметричный профиль резьбы

**Высота исходного профиля  $H$**  – расстояние в направлении, перпендикулярном оси между вершинами остроугольного профиля, полученного при продолжении боковых сторон до их пересечения.

**Высота профиля резьбы  $H_2$**  – расстояние от вершины до впадины резьбы в направлении, перпендикулярном оси.

**Рабочая высота профиля  $H_1$**  – расстояние в направлении, перпендикулярном оси, на котором касаются болт и гайка.

**Угол подъема резьбы  $\psi$**  – угол между касательной к винтовой поверхности на среднем диаметре и плоскостью, перпендикулярной оси резьбы.

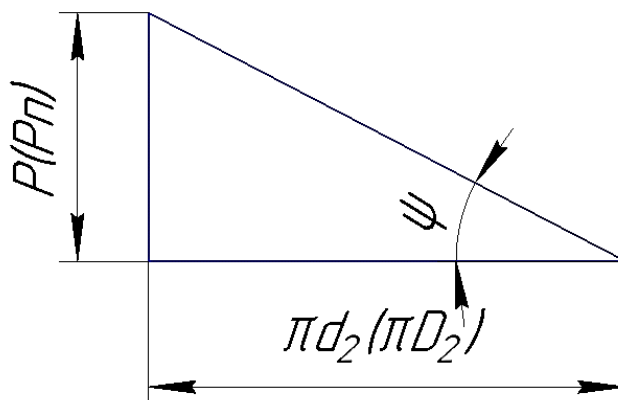


Рисунок 8.4 – Развертка витка резьбы

Для однозаходной резьбы:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{P}{\pi d_2 (\pi D_2)}.$$

Для многозаходной резьбы:

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{Pn}{\pi d_2 (\pi D_2)}.$$

**Длина свинчивания (высота гайки)  $l$**  – длина соприкосновения болта и гайки в осевом сечении.  $l = 0,8 \cdot d$  – **нормальная** длина свинчивания. Определена из условия равнопрочности резьбы болта на срез и его тела на разрыв.

### 8.3 Характеристика крепежных резьб

В мире используются крепежные резьбы 4-х типов:

- метрическая с профилем ISO,  $\alpha = 60^\circ$ . Получила наибольшее распространение;
- дюймовая Уитворта с  $\alpha = 55^\circ$ . Применяется в Англии, Канаде;
- дюймовая с  $\alpha = 60^\circ$ . Применяется в США;
- дюймовая унифицированная UST с  $\alpha = 60^\circ$ . Применяется в Англии, США, Канаде.

Профиль метрической резьбы ISO обладает наилучшими нагрузочными и технологическими характеристиками (удобство изготовления).

Основными параметрами метрической резьбы являются:  $d (D)$ ;  $d_2 (D_2)$ ;  $d_1 (D_1)$ ;  $P$ ;  $\alpha (\alpha/2)$ .

$P$  и  $\alpha (\alpha/2)$  определяют точность формы резьбовых поверхностей и, следовательно, равномерность нагружения.

$d$  и  $D_1$  определяют рабочую высоту профиля, следовательно, износостойкость и прочность на смятие.

Соотношение  $d_2$  и  $D_2$  определяет характер сопряжения резьбовой пары по боковым сторонам (зазор и натяг).

**Форма впадины резьбы** влияет на статическую и усталостную прочность винта. Применяется плоскосрезанная 1 и закругленная 2 (рисунок 8.5).

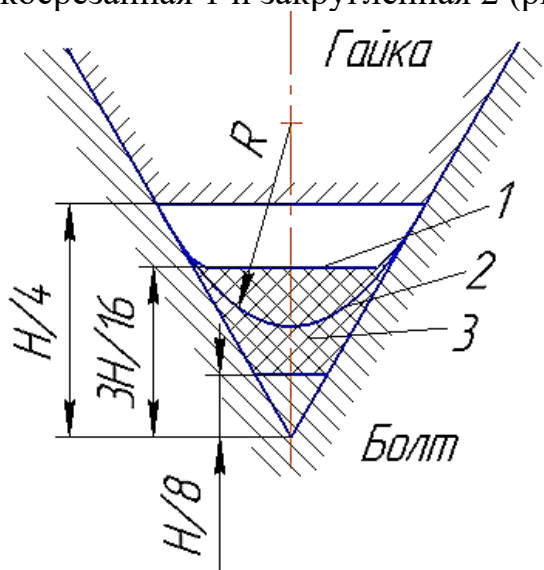


Рисунок 8.5 – Формы впадины резьбы болта

Впадина, очерченная радиусом  $R = \frac{H}{4}$  обеспечивает наибольшую циклическую долговечность, а имеющие плоскую впадину дают наименьшую циклическую долговечность.

В зона 3 с перекрестной штриховкой располагается контур впадины, если ее форма не оговорена.

Метрические резьбы бывают с **крупным и мелкими шагами**. Для резьб с крупным шагом постоянно соотношение шага и наружного диаметра:  $d \approx 6 \cdot P^{1,3}$ .

Крупный шаг предпочтительнее, так как высота профиля больше и он прочнее.

Мелкие шаги применяются в случае переменной нагрузки (несамоотвинчивающиеся), при соединении тонкостенных деталей и ограниченной длине свинчивания.

Крупные шаги **не указывают** в обозначении резьбы.

#### 8.4 Обеспечения взаимозаменяемости цилиндрических резьб

##### 1. Предельные контуры резьбы.

Для обеспечения свинчиваемости парных резьб необходимо, чтобы на длине свинчивания  $l$  действительные размеры винта и гайки не выходили за предельные контуры резьбы (рисунок 8.6).

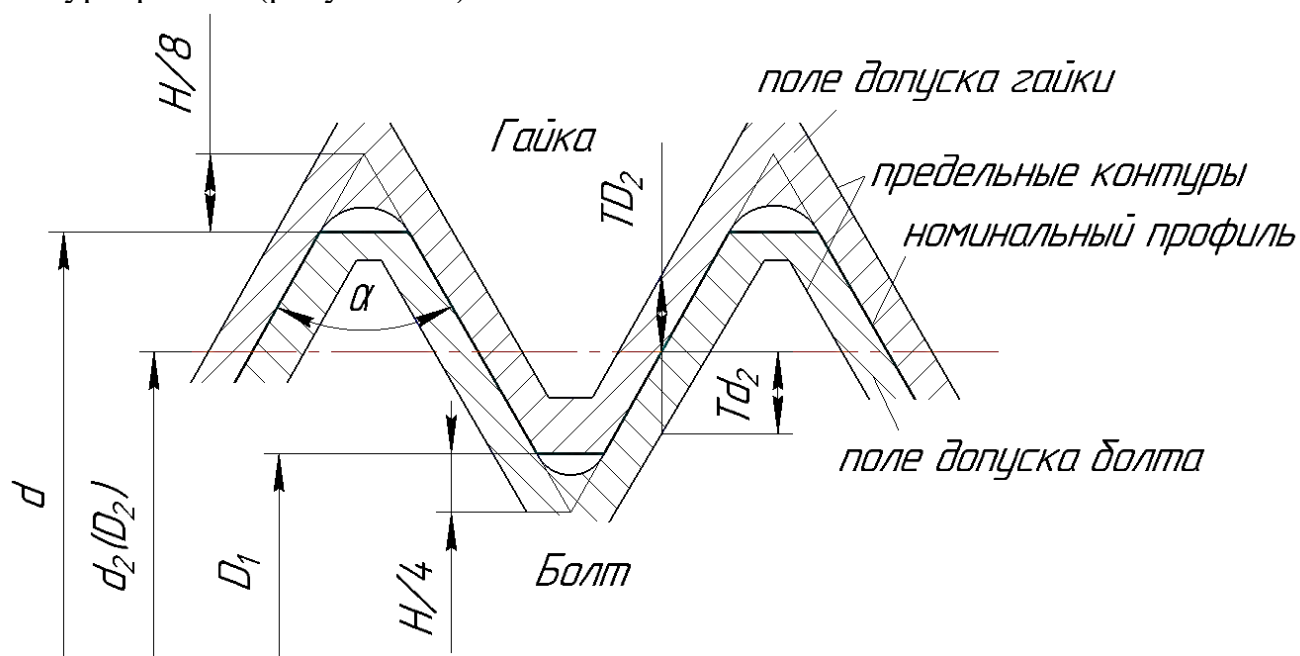


Рисунок 8.6 – Профиль и предельные контуры резьбового соединения с метрической резьбой при посадке Н/н

Поля допусков назначаются на средний диаметр ( $Td_2$ ,  $TD_2$ ) и диаметр выступа резьбы ( $Td$ ,  $TD_1$ ), т.е. наружный диаметр наружной резьбы  $d$  и внутренний диаметр внутренней резьбы  $D_1$ . Для  $d_1$  устанавливаются только верхние предельные отклонения, а для  $D$  – нижние. Вторые отклонения («в тело» детали) не ограничиваются. Поля допусков расположены «в тело» болта, вниз от номинального контура, гайки – вверх.

##### 2. Отклонение шага и его диаметральный компенсация.

При нарезании резьб из-за погрешностей по шагу ходового винта и его износа, силовых и температурных деформаций, кинематических погрешностей станка появляются погрешности шага резьбы.

Суммарная погрешность шага на длине свинчивания  $l$  равна:  $\Delta Pz = z \cdot P_B - z \cdot P_r$ , где  $z$  – число витков резьбы на длине  $l$  (рисунок 8.7);  $P_B$ ,  $P_r$  – действительные шаги болта и гайки.

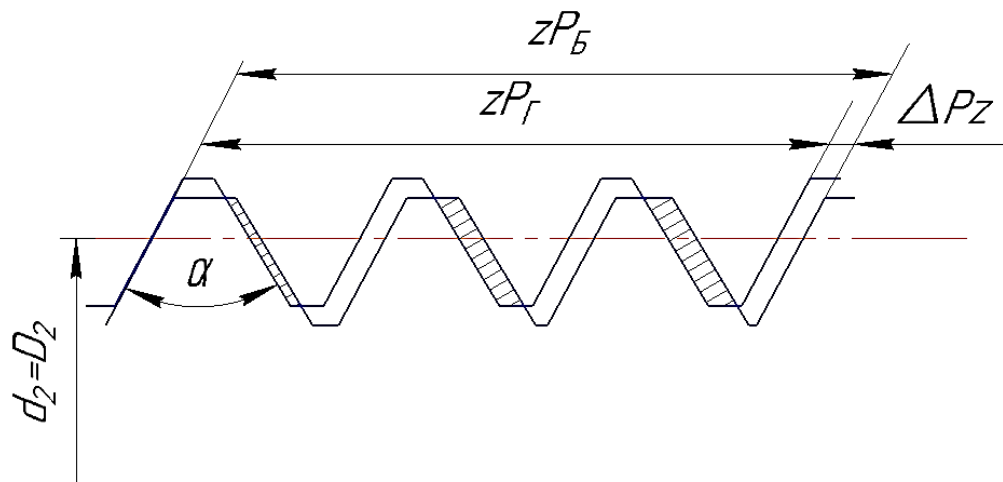


Рисунок 8.7 – Отклонение шага  $\Delta Pz$

При одинаковых углах профиля  $\alpha$  и средних диаметрах  $d_2 = D_2$  свинчивание невозможно – контуры перекрываются.

Погрешность можно устранить, введя диаметральную компенсацию погрешности шага:  $f_p = D_2 - d_2'$ .

Сместим профиль болта вниз на  $ac = \frac{f_p}{2}$  (рисунок 8.8).

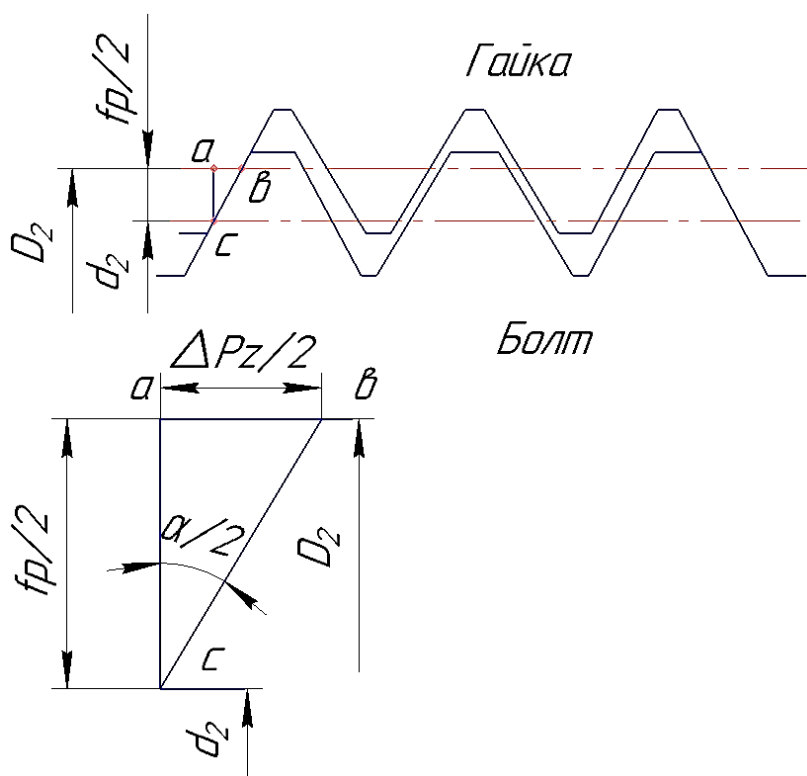


Рисунок 8.8 – Отклонение шага резьбы

Из треугольника abc:  $\frac{f_p}{2} = \frac{\Delta P \cdot z}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ . Отсюда:  $f_p = \Delta P \cdot z \cdot \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ .

Для метрической резьбы  $\alpha = 60^\circ$ ,  $\operatorname{ctg} 30^\circ = 1,732$ . Следовательно:  $f_p = 1,732 \Delta P \cdot z$

### 3. Погрешности угла профиля и ее диаметральная компенсация.

Возникает из-за погрешности угла профиля инструмента, погрешности установки заготовки и инструмента.

Диаметральная компенсация половины угла профиля  $f_\alpha = D_2 - d_2'$ .

Сдвинем профиль болта вниз на  $0,5 f_\alpha$ , чтобы исчезло перекрытие профилей (рисунок 8.9).

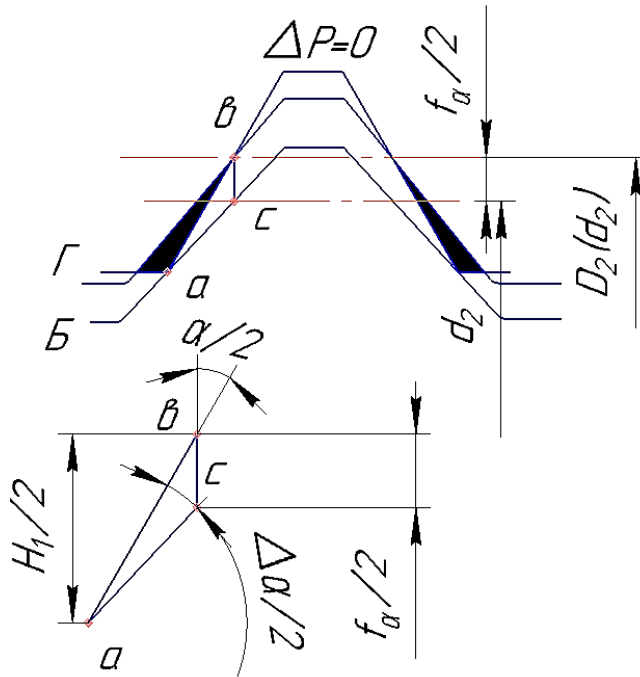


Рисунок 8.9 – Диаметральная компенсация погрешности угла профиля

По теореме синусов:

$$\frac{bc}{ca} = \frac{\sin(\Delta\alpha/2)}{\sin(180 - \alpha/2 - \Delta\alpha/2)},$$

$$\frac{f_\alpha \cdot 2 \cos(\alpha/2)}{2 \cdot H_1} = \frac{\Delta(\alpha/2)}{\sin(\alpha/2)},$$

$$ca = \frac{H_1}{2 \cos(\alpha/2)}.$$

Ввиду малости  $\sin(\Delta\alpha/2) \approx \Delta\alpha/2$ :

$$\sin(180 - \alpha/2 - \Delta\alpha/2) \approx \sin(\alpha/2),$$

$$\sin \alpha = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2},$$

$$f_{\alpha} = \frac{2H_1 \Delta \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha}.$$

В этой формуле:

$$\Delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left( \Delta \frac{\alpha}{2}_{np} \right) + \left( \Delta \frac{\alpha}{2}_{лев} \right)}{2},$$

где  $\Delta \frac{\alpha}{2}_{np}$  и  $\Delta \frac{\alpha}{2}_{лев}$  – отклонение правой и левой половины угла профиля.

Для метрической резьбы с  $\alpha = 60^\circ$  рабочая высота профиля  $H_1 \approx 0,54 \cdot P$ , откуда:

$$f_{\alpha} = 0,36 \cdot P \cdot \Delta \frac{\alpha}{2},$$

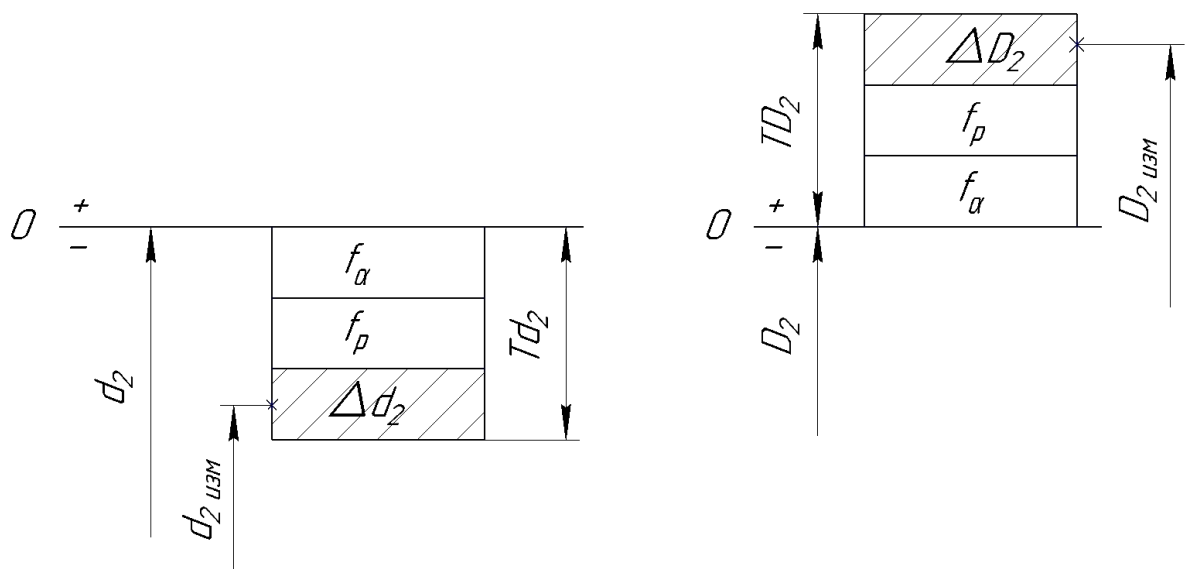
где  $\Delta \frac{\alpha}{2}$  – в угловых минутах;

$P$  – в мм.

Для резьбы болта и гайки  $f_p$  и  $f_{\alpha}$  вычисляют по одним формулам, но направлены в разные стороны от номинального контура: для болта вниз, для гайки – вверх.

#### 4. Суммарный допуск среднего диаметра.

Основной параметр, определяющий свинчиваемость с заданным характером – средний диаметр. Отклонение шага и угловые отклонения профиля для своей компенсации требуют линейных отклонений, перпендикулярных к оси резьбы –  $f_p$  и  $f_{\alpha}$ . При изготовлении резьбы возможны отклонения собственного среднего диаметра  $\Delta d_2 (\Delta D_2)$  (рисунок 8.10).



$d_{2 \text{ изм}}$ ,  $D_{2 \text{ изм}}$  – действительные (измеренные) размеры среднего диаметра резьбы

**Рисунок 8.10 – Суммарные допуски среднего диаметра резьбы**

Суммарный допуск среднего диаметра:

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

Для резьб общего назначения нормируются только суммарный допуск, а контроль ведется комплексными проходными (ПР) и непроходными (НЕ) резьбовыми калибрами.

#### 5. Приведенный средний диаметр.

Для обеспечения свинчиваемости вводится понятие приведенного среднего диаметра резьбы:

$$d_{2np} = d_{2изм.} + f_p + f_\alpha \leq d_2,$$

$$D_{2np} = D_{2изм.} - f_p - f_\alpha \geq D_2.$$

**Приведенный средний диаметр  $d_{2np}$  ( $D_{2np}$ )** – это средний диаметр теоретической резьбы, не имеющий отклонений шага, угла профиля и формы, которая свинчивается с действительной резьбой без зазора и натяга.

Условие собираемости резьб:

$$D_{2np} \geq d_{2np}.$$

Понятие упрощает контроль резьб и расчет допусков комплексных калибров (ПР).

### 8.5 Допуски и посадки метрических резьб

Сопряжение резьбовой пары происходит по боковым сторонам профиля. По вершинам и впадинам контакт исключается за счет расположения полей допусков по  $d$  ( $D$ ) и  $d_1$  ( $D_1$ ).

Характер сопряжения определяется соотношением средних диаметров ( $d_2$  и  $D_2$ ). Различают посадки трех групп:

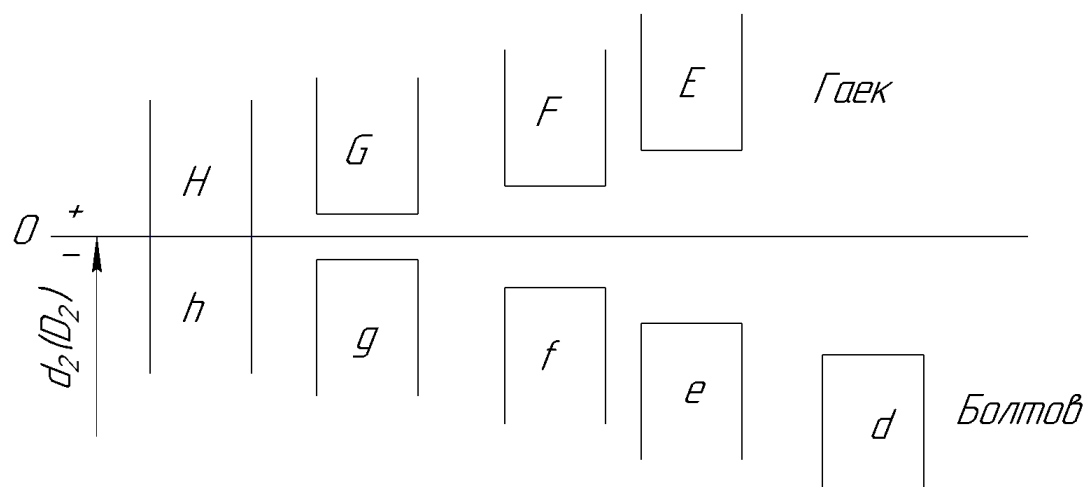
– с зазором ( $S_{\min} \geq 0$ );

– с натягом;

– переходные.

#### **Резьбовые соединения с зазором ( $S_{\min} \geq 0$ ).**

Наиболее распространены в технике резьбы с диаметрами от 1...600 мм. Допуски и посадки этих резьб установлены ГОСТ 16093. Для отклонений средних диаметров нулевая линия совпадает с образующей среднего цилиндра резьбы ( $d_2$ ,  $D_2$ ). Расположение полей допусков представлено на рисунке 8.11.



**Рисунок 8.11 – Расположение полей допусков посадок с зазором**

Основные отклонения (кроме  $h$  и  $H$ ) зависят только от шага и не зависят от диаметра, например:  $es_g = -(15 + 11 \cdot P)$ ,  $EI_G = |es_g|$ .

Допуски на основные диаметры резьбы  $d_1(D_1)$ ,  $d_2(D_2)$ ,  $d(D)$  одного интервала разбиты по степеням точности (смысл как у номера качества).

Второе предельное отклонение определяют в зависимости от установленной стандартом степени точности (таблица 8.1).

**Таблица 8.1 – Степени точности метрических резьб с зазором**

| Вид резьбы                                   | Диаметр резьбы | Степень точности  |
|----------------------------------------------|----------------|-------------------|
| Наружная («болт»)                            | $d$            | 4,6,8             |
|                                              | $d_2$          | 3,4,5,6,7,8,9,10* |
| Внутренняя («гайка»)                         | $D_2$          | 4,5,6,7,8,9*      |
|                                              | $D_1$          | 4,5,6,7,8         |
| Примечание: *- только для резьб из пластмасс |                |                   |

При одной степени точности допуска  $TD_2$  на  $1/3$  больше  $Td_2$ .

Поля допусков отдельных диаметров резьбы обозначают цифрой и буквой.

6g – «болт» 6-ой степени точности с основным отклонением g.

7H – «гайка» 7-ой степени точности с основным отклонением H.

Поля допусков резьбы обозначаются: поле допуска  $d_2 d$  для болта, поле допуска  $D_2 D_1$  для гайки:

7h6g – болт с  $d_2$  по 7h и  $d$  по 6g;

5H6H – гайка с  $D_2$  по 5H и  $D_1$  по 6H;

7H – гайка с  $D_2$  и  $D_1$  по 7H (не повторяются одинаковые).

**Длина свинчиваемости** характеризуется отношением длины свинчиваемости резьбы к ее шагу. С увеличением длины свинчивания выдержать заданный характер соединения труднее.

Нормальная длина свинчивания  $N = 2,24Pd^{0,2} \dots 6,7Pd^{0,2}$ . Короткая  $S < 2,24Pd^{0,2}$ .  
Длинная  $L > 6,7Pd^{0,2}$ .

При отсутствии оговорок допуски резьбы относятся к длине  $N$ . Длины  $S$  и  $L$  указывают в обозначении:  $M12-7h6g-50$ , где  $50$  – длина свинчивания, мм.

### Классы точности резьбы и рекомендуемые поля допусков.

Для сравнительной оценки точности резьбы поля допусков условно сгруппированы по классам в зависимости от длины свинчивания:

1. Точный класс – ответственные резьбы;
2. Средний класс – резьбы общего применения;
3. Грубый класс – длинные глухие отверстия, горячекатаные заготовки.

**Таблица 8.2 – Классы точности резьбовых поверхностей для нормальной длины свинчивания**

| Класс точности | Поле допуска               |               |
|----------------|----------------------------|---------------|
|                | Болт                       | Гайка         |
| Точный         | 4g; 4h                     | 4H5H; 5H      |
| Средний        | 6d; 6e; 6f; <b>6g</b> ; 6h | 6G; <b>6H</b> |
| Грубый         | 8g                         | 7G; 7H        |

**6H, 6g** – поля допусков предпочтительного применения.

Посадки резьб образуются сочетанием поля допуска гайки и болта из имеющихся.

Небольшие зазоры ( $S_{min}$ ) позволяют применять тонкие антикоррозийные покрытия резьб и получать легкое свинчивание.

Посадки с большим зазорами (с полями 6e, 6d) – для соединений, работающих при высокой температуре.

Посадки с  $S_{min}=0$  (посадка 6H/6h) обеспечивают точное центрирование, но затрудненную свинчиваемость; нельзя нанести антикоррозионное покрытие.

Обозначение метрических резьб.

$M12-6h-R$  – болт;  $M$  – метрический;  $12$  – номинальный диаметр  $d = 12$  мм;  $6h$  – допуск на  $d_2$ ,  $d$ ;  $R$  – болт с закругленной впадинной.

$M12 \times 1-5H6H$ : гайка;  $1$  – шаг резьбы мелкий;  $5H6H$  – допуск  $D_2$  по  $5H$ ,  $D_1$  по  $6H$ .

$M12 \times 1-5H6H/6h-L(30)$ :  $5H6H$  – допуск гайки;  $6h$  – болт;  $L(30)$  – длина свинчивания, отличная от нормальной. Может указываться в скобках значение в миллиметрах.

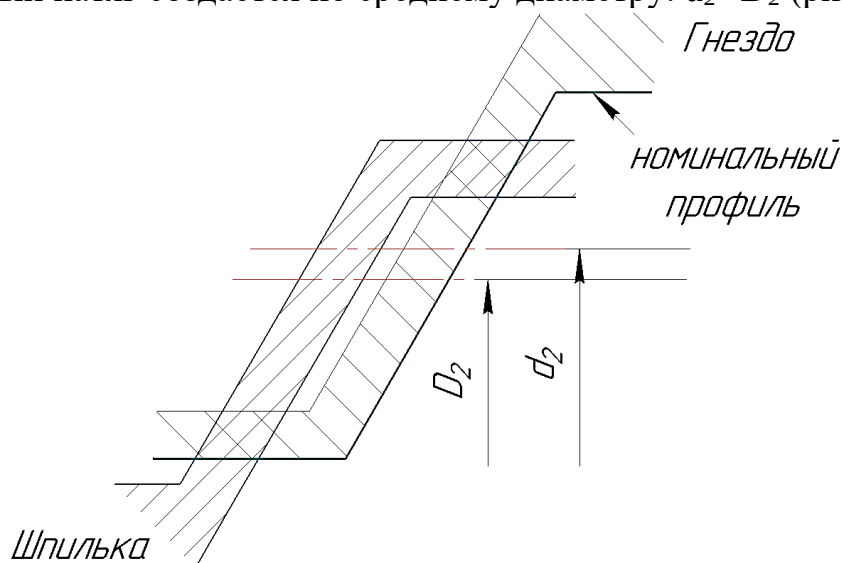
$M12-6H/6g-LH$ :  $LH$  – левая резьба.

### Резьбовые соединения с натягом.

Резьбы с гарантированным натягом применяются там, где необходима неподвижность резьбового соединения. По условию работы самоотвинчивание недопустимо.

Широко применяются для свинчивания шпилек с гнездами в корпусных деталях. Шпилька не должна вывинчиваться из гнезда и при отвинчивании гайки на ее втором конце (гаечном).

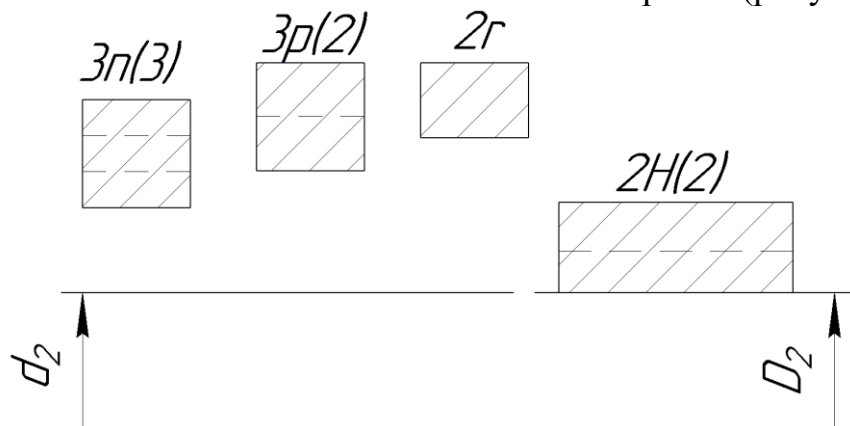
Для резьбовых соединений с натягом применяют метрические резьбы: профиль ГОСТ 9150  $d=5...45$  мм и  $P=5...45$  мм, допуски устанавливает ГОСТ 4608. Гарантированный натяг создается по среднему диаметру:  $d_2 > D_2$  (рисунок 8.12).



**Рисунок 8.12 – Схема полей допусков резьбы с натягом**

По диаметрам  $D$  ( $d$ ),  $(D_1)$   $d_1$  – гарантированные зазоры, т.е. вершины и впадины резьбы всегда разгружены.

Посадки с натягом имеются только в системе отверстия (рисунок 8.13).



**Рисунок 8.13 –Поля допусков посадок с натягом**

Цифра в обозначении поля допуска означает число групп сортировки при селективной сборке (в скобках).

Допуски  $D_2$  ( $d_2$ ) получаемые при сортировке на группы – не суммарные, а собственно на  $D_2$  ( $d_2$ ).

Посадки с гарантированным натягом требуют установления весьма малых величин допусков по среднему диаметру. При больших допусках сочетание размеров, создающие наименьший натяг, не гарантировало бы отворачивание шпилек, а при наибольшем натяге могли бы разрушиться шпильки или срезаться резьбы гнезд.

Поэтому для резьб с натягом допуск на собственно передний диаметр устанавливается для гнезд по 2-ой, для шпилек по 2-ой и 3-ей степени точности.

Для обеспечения более однородного натяга резьбовые детали сортируются на группы, а затем собираются из одноименных групп.

Для устранения заклинивания при свинчивании по наружному и внутреннему диаметру предусмотрены гарантированные зазоры.

**Таблица 8.3 - Области применения посадок с натягом**

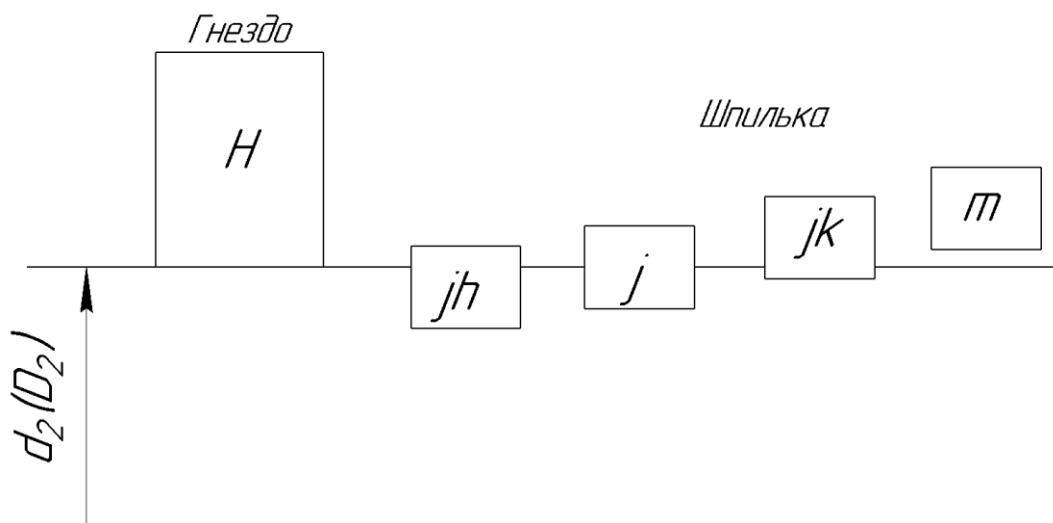
| Материал детали с внутренней резьбой (гнезда) | Посадки при Р, мм       |                         | Длина свинчивания $l$ , мм |
|-----------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|
|                                               | До 1,25                 | Св.1,25                 |                            |
| Чугун, алюминиевые сплавы                     | $\frac{2H5D}{2r}$       | $\frac{2H5C}{2r}$       | $(1,25...1,5) \cdot d$     |
| Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы         | $\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$ | $\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$ | $(1,5...2) \cdot d$        |
| Сталь, высокопрочные и титановые сплавы       | $\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$ | $\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$ | $(1...1,25) \cdot d$       |

Пример обозначения резьбовой посадки с натягом:  $M14 \times 1,5 - 2H5C(2)/3p(2)$ , где  $2H5C(2)$  – допуск по  $D_2$  и по  $D_1$  соответственно,  $(2)$  – число групп сортировки;  $3p(2)$  – допуск по  $d_2$ ,  $(2)$  – число групп сортировки.

Поле допуска наружного диаметра наружной резьбы (шпильки) не указывают.

#### **Резьбы с переходными посадками.**

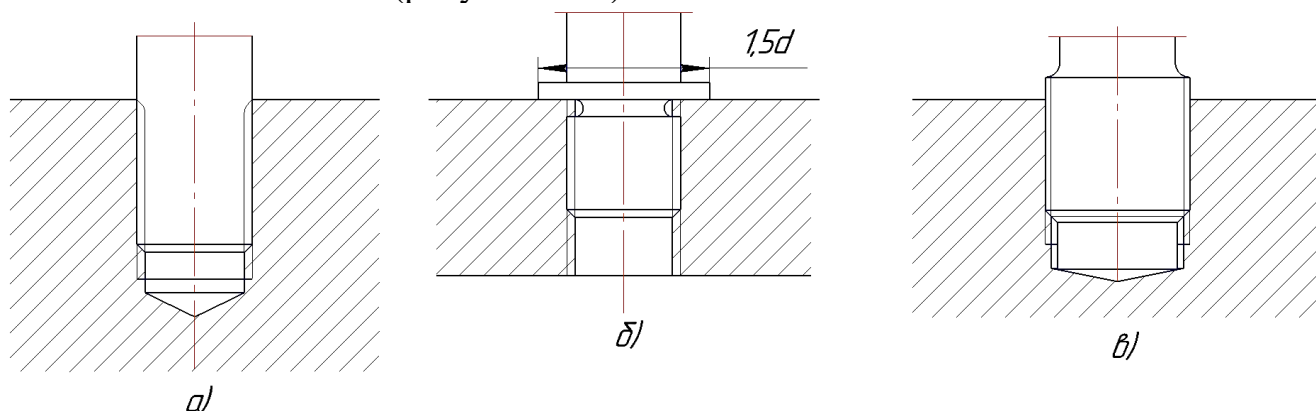
Для образования переходных посадок ГОСТ 24834 «Резьба метрическая. Переходные посадки» предусматривает следующие поля допусков (рисунок 8.14). Переходные посадки осуществляются по среднему диаметру  $d_2 (D_2)$ . По наружному и внутреннему диаметрам резьбы получают гарантированные зазоры.



**Рисунок 8.14 – Поля допусков резьб с переходными посадками**

Применяемые посадки только в системе отверстия. Степени точности резьбы 2...6.

Резьбы с переходными посадками применяют для крепежных соединений, работающих в условиях сотрясений, вибраций, переменного температурного режима. Обеспечивают неподвижность при эксплуатации и центрирование деталей по резьбе, допускают разборки. Технологичнее посадок с натягом, так как не требуют сортировки на группы. Однако необходимо использовать дополнительные элементы заклинивания (рисунок 8.15).



а) конический сбе́г резьбы на шпильке; б) плоский бурт; в) цилиндрическая цапфа  
Рисунок 8.15 - Дополнительные элементы заклинивания переходных резьб

Конический сбе́г резьбы является наиболее частый вид заклинивания. Плоский бурт используется для алюминиевых и магниевых сплавов деталей с внутренней резьбой. Цилиндрическая цапфа используется только в глухих отверстиях, имеет наименьшее стопорящее действие.

Пример обозначения метрической резьбы с переходной посадкой.

$M12 \times 1,5 - 4H6H/4j$ :  $M$  - метрическая резьбы с номинальным диаметром 12 мм; 1,5 – мелкий шаг;  $4H6H$  – поле допуска по  $D_2$  и по  $D_1$  соответственно;  $4j$  – поле допуска по  $d_2$ .

Обозначение на чертежах других видов резьб.

$Tr\ 40 \times 6 - 7H/7e$ :  $Tr$  – трапецеидальная однозаходная по ГОСТ 9562; 40 – номинальный диаметр; 6 – шаг резьбы;  $7H$  – поле допуска по  $D_2$ ,  $7e$  – поле допуска по  $d_2$ .

$Tr\ 20 \times 4(P2) - 8H/8e$ :  $Tr$  - трапецеидальная многозаходная по ГОСТ 24739; 20 – номинальный диаметр; 4 – ход резьбы;  $(P2)$  – шаг резьбы, 2 – числовое значение.

$G1\frac{1}{2} LH - A/B$ :  $G1\frac{1}{2}$  – трубная цилиндрическая (дюймовая  $\alpha = 55^\circ$ ) по ГОСТ 6357;  $1\frac{1}{2}$  - номинальный диаметр;  $A$  – класс точности наружной резьбы;  $B$  – класс точности внутренней резьбы;  $LH$  – резьба левая.

## 8.6 Методы и средства измерения и контроля цилиндрических резьб

Точность резьбы определяется точностью основных параметров:  $d$  ( $D$ ) – наружного диаметра,  $d_1$  ( $D_1$ ) – внутреннего диаметра,  $d_2$  ( $D_2$ ) – среднего диаметра,  $P$  – шага,  $\alpha$  – угла профиля.

Применяют два метода контроля точности резьбы:

– **дифференцированный** – поэлементно контролируют  $d_2$ ,  $d$ ,  $\alpha/2$  и дают заключение о годности по каждому параметру отдельно. Применяется для точных резьб (калибры, инструмент для нарезания), когда заданы допуски на каждый параметр. Если задан суммарный допуск  $Td_2 = \Delta d_2 + f_\alpha + f_p$ , годность резьбы определяется путем расчета приведенного среднего диаметра резьбы. Измерительные приборы – инструментальные микроскопы, проекторы, резьбовые микрометры и шагомеры.

– **комплексный контроль** – для резьб с заданным суммарным допуском среднего диаметра. Контролируются одновременно все 5 параметров. Действительный контур резьбы сравнивается с предельным. Осуществляется предельными резьбовыми калибрами.

В производственных условиях применяют именно комплексный метод как более производительный и экономичный, гарантирующий свинчиваемость.

**Контроль резьбы калибрами** осуществляется в соответствии с ГОСТ 24997-2004 (ИСО 1502:1996) для 4-8 степеней точности. Наружная резьба (болтов) проверяется резьбовыми скобами и калибрами, внутренняя резьба (гайки) – резьбовыми пробками.

Предусмотрено две группы калибров для контроля резьбы:

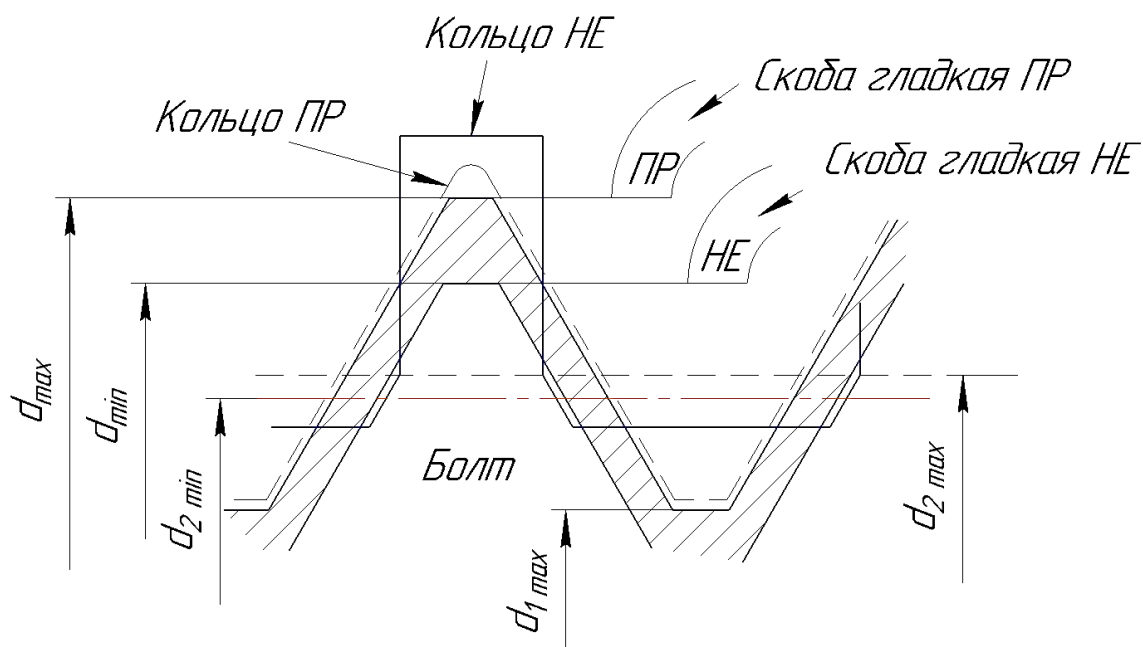
1. Рабочие ПР, НЕ. Для проверки резьбы заводом – изготовителем.
2. Контрольные КПР–ПР, КПР– НЕ – для контроля проходной стороны жесткого резьбового кольца. КНЕ–ПР, КНЕ–НЕ – для контроля непроходной стороны жесткого резьбового кольца.

Для резьбовых пробок контркалибры не предусмотрены.

У–ПР, У–НЕ – контркалибры для установки регулируемых рабочих колец ПР и НЕ. Регулируемые рабочие резьбовые скобы устанавливаются по КПР–ПР и КПР–НЕ.

К–И, КИ–НЕ – проверяют износ рабочих проходных и непроходных колец и скоб (не должны свинчиваться).

Схема калибров для контроля наружной резьбы (болта) показано на рисунке 8.16.



**Рисунок 8.16 - Калибры для контроля резьбы болта**

Кольцо ПР контролирует:  $d_{2np} \leq d_{2np \max}$ ;  $d_1 \leq d_{1\max}$ .

Кольцо НЕ контролирует:  $d_{2o} \geq d_{2\min}$ .

Наружный диаметр  $d$  контролируется гладкими – калибрами-скобами.

Свинчиваемость калибра-кольца ПР с болтом свидетельствует, что приведенный средний  $d_{2np}$  и внутренний диаметр  $d_1$  болта не выходят за наибольшие предельные размеры. Проходные резьбовые калибры имеют полный профиль на длине свинчивания.

Непроходной резьбовой калибр контролирует только средний диаметр  $d_2$ . Свинчиваемость не более 2 витков (оборотов) свидетельствует о том, что действительный  $d_{2o} \geq d_{2\min}$ .

Непроходные калибры имеют укороченную длину и неполной высоты профиль (отклонение формы и расположения не контролируют).

Схема калибров для контроля внутренней резьбы (гайки) показано на рисунке 8.17.

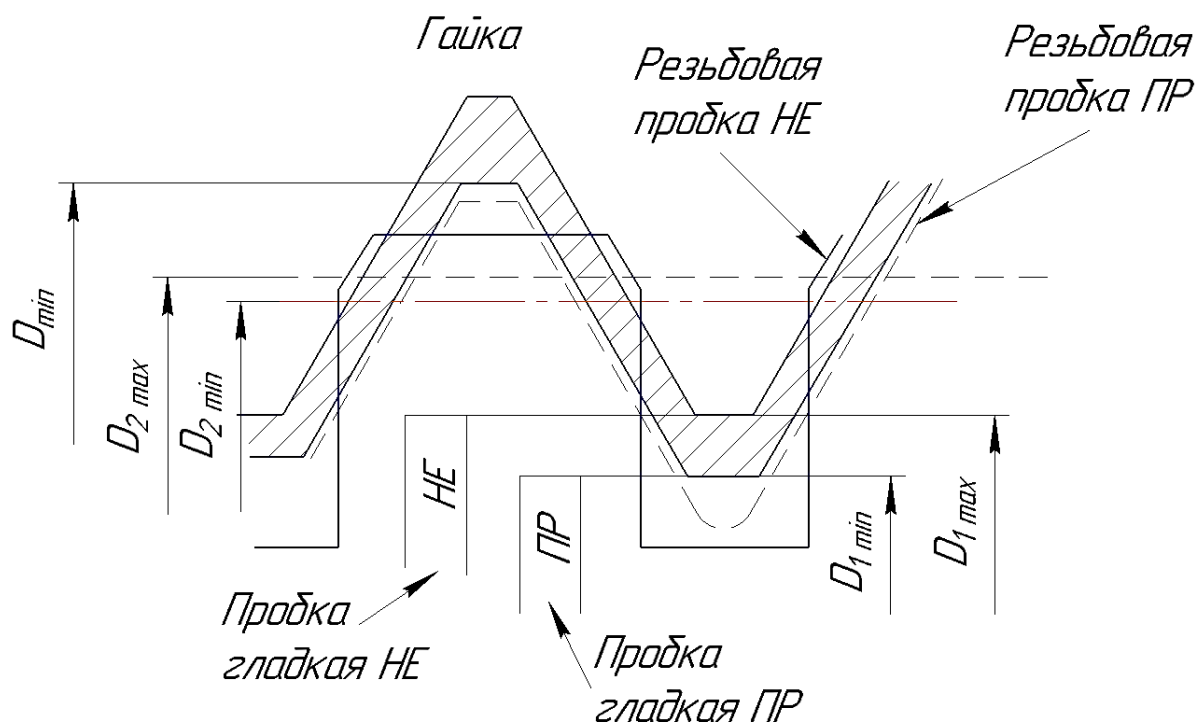


Рисунок 8.17 - Калибры для контроля резьбы гайки

$D_1$  – контролируется гладкими пробками ПР и НЕ.

$D_2$  и  $D$  – контролируется резьбовыми калибрами-пробками.

Пробка ПР контролирует  $D_{2np} \geq D_{2np}^{\min}$ ;  $D \geq D_{\min}$ .

Пробка НЕ контролирует  $D_2 \leq D_2^{\max}$

Свинчиваемость ПР калибра с гайкой означает, что приведенный средний  $D_{2np}$  и наружный диаметр резьбы  $D$  не выходят за наименьшие предельные значения.

Пробка НЕ проверяет только собственно средний диаметр:  $D_2 \leq D_2^{\max}$ . Имеет укороченный профиля.

Длина резьбы непроходных калибров составляет не менее 3-х полных витков.

Длина резьбы проходных калибров полного профиля – не менее 0,8l – длины свинчивания, тогда гарантируется правильность контроля.

Поля допусков на резьбовые калибры построены аналогично полям допусков на гладкие калибры. Отличие – установлен допуск на износ непроходных калибров.

## 9 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 9.1 Типы шпоночных и шлицевых соединений и требования к ним

Шпоночные и шлицевые соединения должны обеспечивать передачу заданного крутящего момента в соединении вал – втулка.

Шлицевые соединения обеспечивает также и точное центрирование, и точное направление при осевых перемещениях втулки. Для этого требуется высокая точность размеров, формы, расположения шлицевого профиля.

Нежелательны боковые зазоры у шпонок и шлицев, особенно в реверсируемых приводах. При реверсировании боковой зазор с ударом перемещается с одной стороны шпонки или шлица на другую.

Стандартная система допусков и посадок установлены для шпоночных соединений:

- с сегментными шпонками (рисунок 9.1, а);
- с призматическими шпонками (рисунок 9.1, б);
- с клиновыми шпонками (рисунок 9.1, в);
- с тангенциальными шпонками (рисунок 9.1, г).

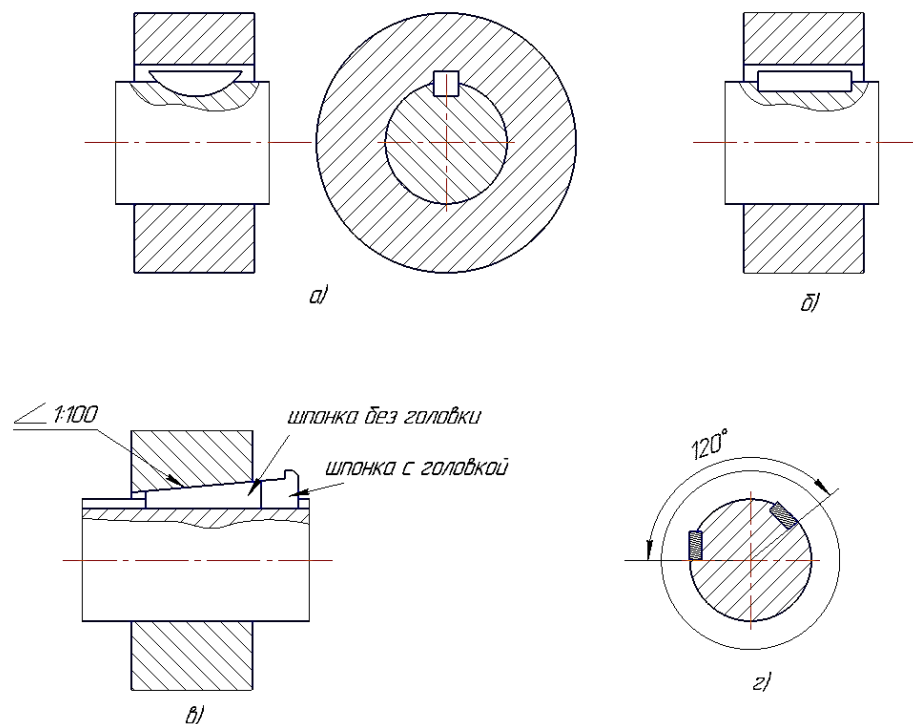


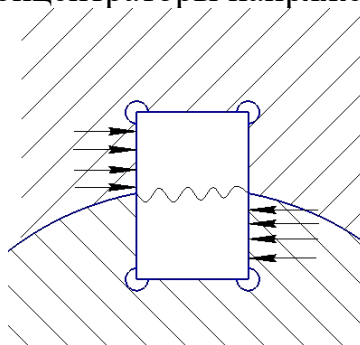
Рисунок 9.1 – Типы шпоночных соединений

Наибольшее распространение получили призматические шпонки, меньшее сегментные, клиновые и тангенциальные.

Шпоночные соединения имеют и существенные недостатки:

- шпонки работают на смятие и срез;

- сечение вала и втулки ослабляется шпоночным пазом;
- в углах пазов имеются концентраторы напряжений (рисунок 9.2).



**Рисунок 9.2 – Схема нагружения шпонки**

Вследствие этого передача больших крутящих моментов невозможна, что ограничивает область применения шпоночных соединений.

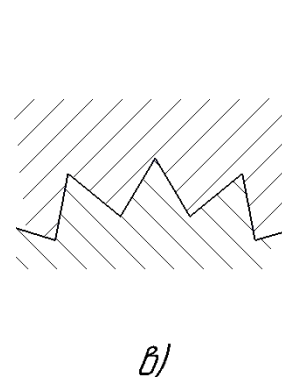
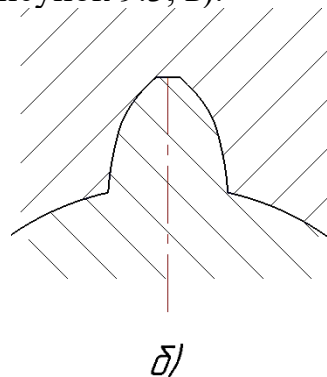
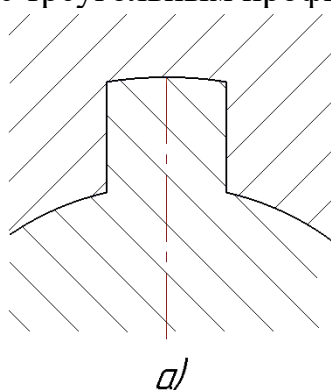
Вытесняются шлицевыми соединениями, которые при одинаковых габаритах:

- передают большие крутящие моменты;
- имеют большую усталостную прочность;
- имеют высокую точность центрирования.

Кроме того, появились производительные методы обработки шлицев – протягивание, фрезерование методом обката, зуботочение шлицев.

В зависимости от профиля шлица различают соединения:

- с прямобочным профилем (рисунок 9.3, а);
- с эвольвентным профилем (рисунок 9.3, б);
- с треугольным профилем (рисунок 9.3, в).



**Рисунок 9.3 – Типы шлицевых соединений**

Наибольшее распространение в виду технологичности изготовления получили прямобочные шлицевые соединения с четным числом шлиц, которые применяют для подвижных и неподвижных соединений.

Наилучшие нагрузочные и эксплуатационные характеристики имеют эвольвентные шлицевые соединения, они получают все большее распространение. Угол исходного контура рейки  $\alpha_0 = 30^\circ$ .

Треугольные шлицевые соединения с мелкими шлицами применяют вместо посадок с натягом на тонкостенных втулках. Зубья мелкие,  $z = 15\text{--}70$ .

На межгосударственном уровне стандартизованы элементы и соединения с прямобоочной формой профиля зуба (ГОСТ 1139 «Соединения шлицевые прямобоочные. Размеры и допуски») и эвольвентной (ГОСТ 6033 «Соединения шлицевые эвольвентные с углом профиля  $30^\circ$ . Размеры, допуски и измеряемые величины»).

## 9.2 Допуски и посадки шпоночных соединений

Соединения призматическими шпонками стандартизованы по ГОСТ 23360.

Шпонка по боковым граням (ширине  $b$ ) сопрягается с пазами вала и втулки по разным посадкам *системы вала* (рисунок 9.4).

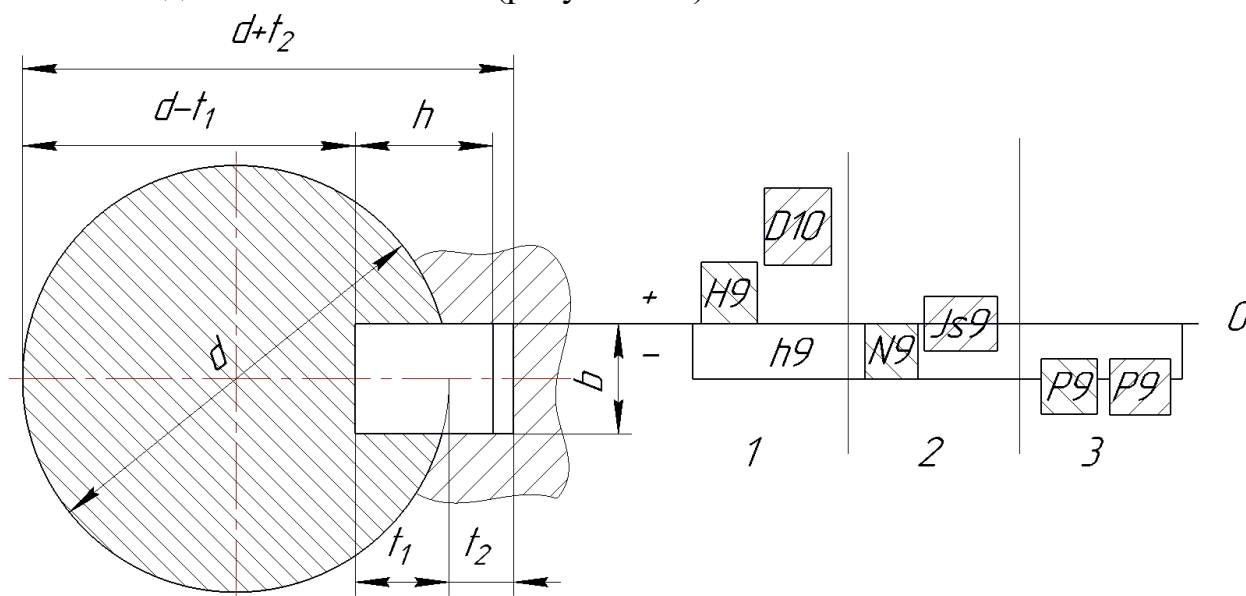


Рисунок 9.4 – Посадки призматических шпонок

Штриховка полей допусков соответствует штриховке деталей.

Предусмотрено три вида посадок по ширине шпонки « $b$ » в зависимости от условий работы.

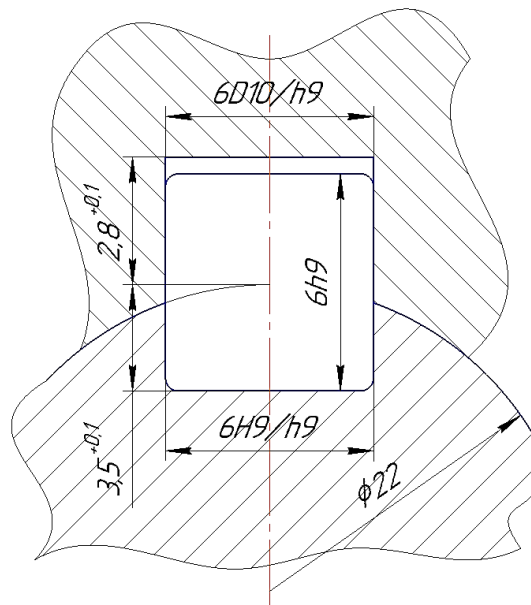
1 Свободное соединение. Затрудненные условия сборки, равномерные непереворачиваемые нагрузки, подвижные соединения.

2 Нормальное соединение.

3 Плотное соединение. Реверсивные нагрузки, редкие разборки. Сборка – напрессовкой. Небольшие натяги в обоих пазах.

Основные размеры и допуски:  $b$  – ширина,  $h$  – высота,  $t_1$  – глубина паза по валу,  $t_2$  – глубина паза во втулке,  $l$  – длина шпонки выбирается в зависимости от диаметра соединения  $d$  по ГОСТ 23360.

При  $h = 2\text{--}6$  мм по h9, свыше 6 мм по h11. Длина шпонки  $l$  – по  $14h$ . Длина паза  $l_n$  – по H15. Отклонения  $t_1$ ,  $t_2$  составляют  $0,1\text{--}0,3$  мм. На размеры  $d + t_1$  и  $d - t_2$  – то же самое.



**Рисунок 9.5 - Обозначение размеров и посадок призматических шпонок**

Соединение сегментными шпонками стандартизованы по ГОСТ 24071.

Размеры и допуски соединения клиновыми шпонками - ГОСТ 24069, тангенциальными шпонками - ГОСТ 24070.

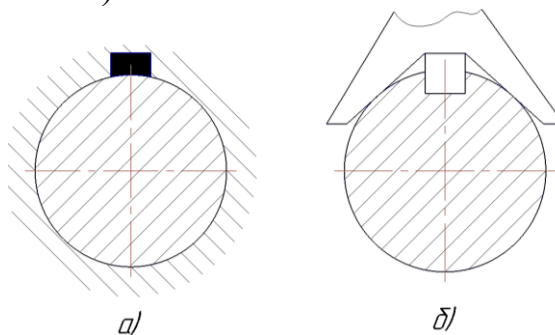
#### **Контроль шпоночных соединений.**

Допуск на ширину шпоночного паза следует рассматривать как комплексный. В него входят отклонение собственно ширины паза, так и отклонения его расположения – от симметричности. В индивидуальном производстве проверку размеров осуществляют универсальным измерительным инструментом.

В массовом и крупносерийном производстве специальными калибрами – элементными и комплексными.

Элементными калибрами проверяют ширину и глубину пазов вала и втулки. Имеют ПР и НЕ ступени. Допуски элементных калибров равны допускам гладких калибров (для гладких калибров).

Комплексными калибрами контролируют симметричность паза относительно осевой плоскости (рисунок 9.6).



а) пробка со шпонкой; б) накладная призма с контрольным стержнем

**Рисунок 9.6 – Комплексные ПР-калибры для контроля отклонения от симметричности шпоночного паза**

### 9.3 Допуски и посадки прямоугольных шлицевых соединений

Основные параметры прямоугольных шлицевых соединений:  $D$  – наружный диаметр,  $d$  – внутренний диаметр,  $b$  – ширина шлица,  $z$  – число шлицев,  $\gamma$  – угол расположения шлицев.

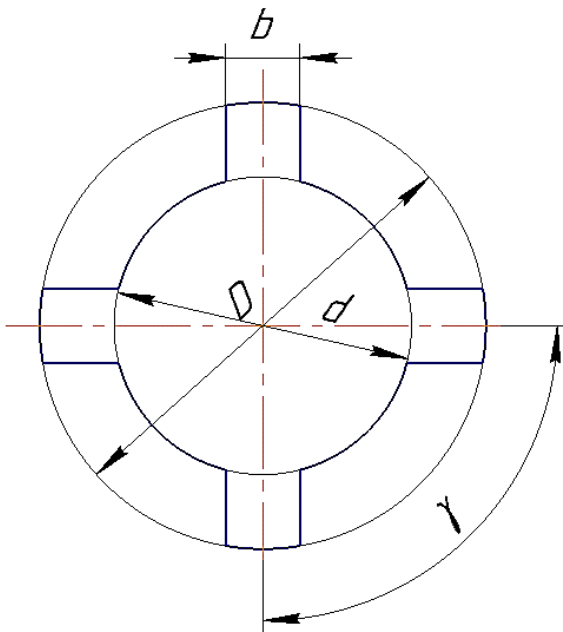


Рисунок 9.7 – Основные параметры прямоугольных шлицевых соединений

Основной показатель точности – концентричность вала и втулки. Центрирование втулок на валах осуществляется тремя способами:

1. Центрирование по « $D$ » – основной экономичный способ при незакаленной втулки. Жесткие требования к  $D$ ,  $b$ , менее жесткие к  $d$  (рисунок 9.8).

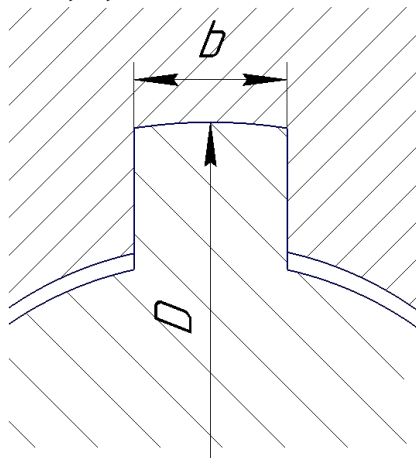
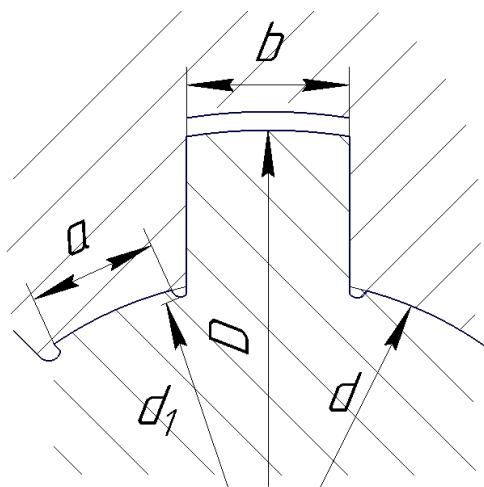


Рисунок 9.8 – Центрирование по наружному диаметру

Незакаленная втулка ( $HRC \leq 35...37$ ) допускает калибровку протяжкой. Применение: неподвижные и слабонагруженные подвижные соединения.

2. Центрирование по « $d$ ». Жесткие требования к  $d$ ,  $b$ , менее жесткие к  $D$  (рисунок 9.9).



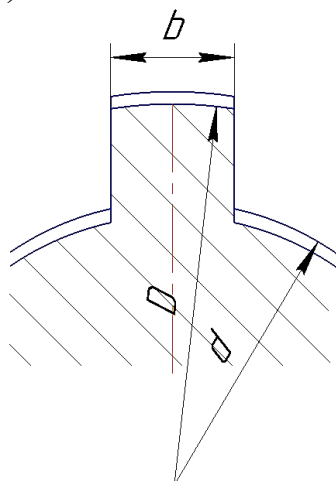
**Рисунок 9.9 – Схема центрирования по внутреннему диаметру  $d$**

Втулка после термообработки имеет высокую твердость и обрабатывается по  $d$  на внутришлифовальном станке.

Закаленный шлицевый вал по  $d$  обрабатывается на шлицешлифовальном станке. Для выхода шлифовального круга предусмотрены канавки, соответственно зубья шлицевой червячной фрезы имеют «усики» для образования канавок.

Центрирование применяется в подвижных соединениях. Первый и второй способы обеспечивают хорошую соосность вала со втулкой и применяются в быстроходных передачах.

3. Центрирование по ширине шлица  $b$ . Жесткие требования по ширине  $b$ , менее жесткие по  $d$  и  $D$  (рисунок 9.10).



**Рисунок 9.10 – Центрирование по боковым сторонам зубьев  $b$**

Соосность ниже, чем в первом и втором способе. При этом обеспечивается равномерная нагрузка зубьев и передача больших и знакопеременных крутящих моментов. Скорости невысокие. Применяется в приводах прокатных станов, сочленениях карданных валов автомобилей.

В соответствии с каждым видом центрирования предусмотрены посадки *в системе отверстия*.

Особенностью построения системы допусков и посадок: собираемость с требуемым характером соединения обеспечивается не только точностью основных размеров  $D$ ,  $d$ ,  $b$ ,  $\gamma$ , но и суммарной погрешностью.

Суммарная погрешность возникает при сочетании отклонений формы и расположения шлицев, а также эксцентриситета цилиндрических поверхностей  $D$  и  $d$ .

Поля допусков на  $D$ ,  $d$ ,  $b$  с учетом компенсации отклонений формы и расположения шлицев образуют предельные контуры (рисунок 9.11).

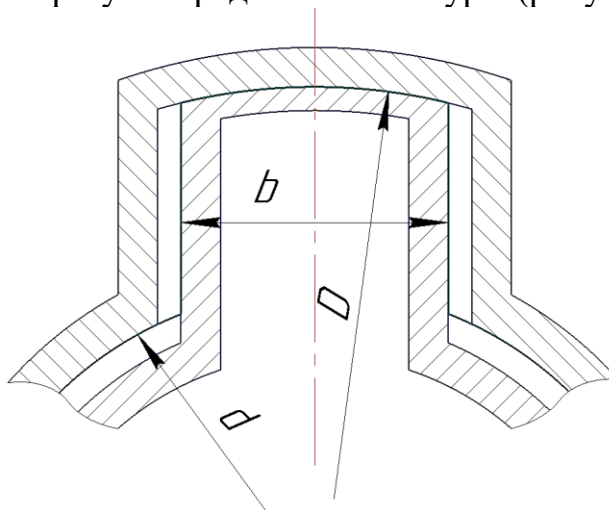


Рисунок 9.11 – Предельные контуры размеров шлицевого сопряжения при центрировании по наружному диаметру  $D$

Собираемость с требуемым характером гарантируется, если действительные контуры шлицевых валов и втулок не выходят за предельные контуры.

При назначении полей допусков и посадок используются принцип предпочтительности. Рекомендуемые посадки для прямобочных шлицевых соединений при различных способах центрирования регламентируются ГОСТ 1139.

1. Центрирование по  $D$  (рисунок 9.12).

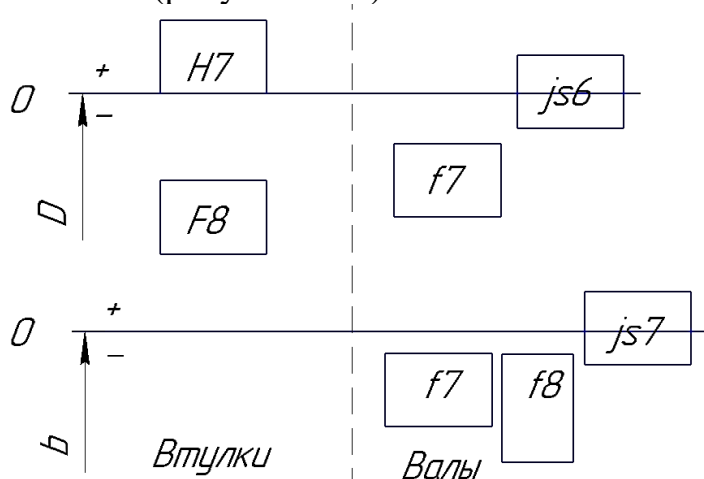


Рисунок 9.12 – Рекомендуемые поля допусков при центрировании по наружному диаметру  $D$

По нецентрирующему размеру  $d$  вала должен быть не менее  $d_1$  по ГОСТ 1139.  
 $\frac{H7}{js6}; \frac{F8}{js7}$  – применяются чаще для неподвижных посадок шлицевого соединения.

## 2. Центрирование по $d$ (рисунок 9.13).

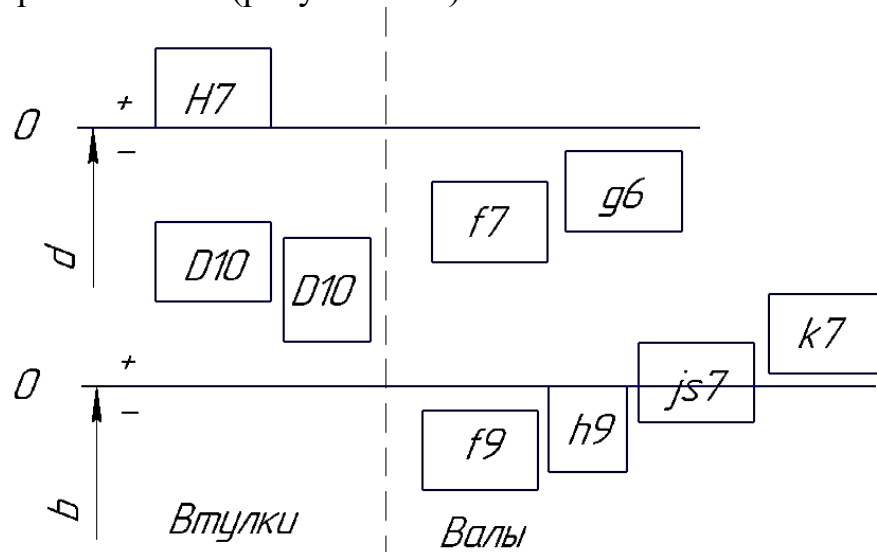


Рисунок 9.13 - Рекомендуемые поля допусков при центрировании по внутреннему диаметру  $d$

По нецентрирующему размеру  $D$  поле допуска отверстия H12, поле допуска вала a11. Чаще применяют:  $\frac{D9}{h9}; \frac{D9}{js7}; \frac{D9}{k7}$ .

## 3. Центрирование по $b$ (рисунок 9.14).

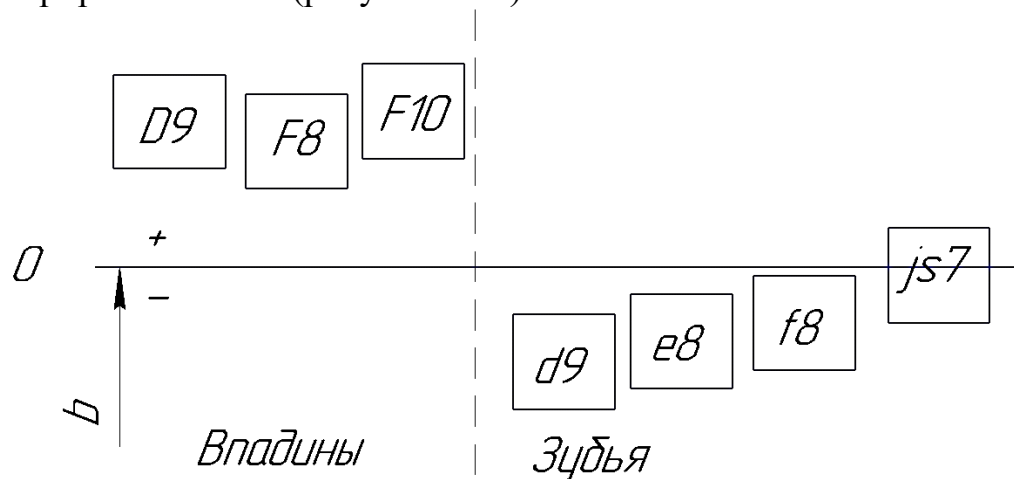


Рисунок 9.14 - Рекомендуемые поля допусков при центрировании по боковым сторонам шлица  $b$

По нецентрирующим размерам  $d, D$  рекомендуемые поля допусков отверстия H12, вала a11. Чаще применяют:  $\frac{F8}{js7}; \frac{D9}{f8}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{d9}$ .

Выбор посадок основан на методе аналогов.

Посадок с натягами вообще нет, так как собираемость затруднена из-за сложных контуров.

Неподвижные соединения получают с помощью переходных или «скользящих» (H/h) посадок.

Контроль шлицевых деталей осуществляется комплексными проходными ПР и поэлементными непроходными НЕ калибрами (таблица 9.1).

**Таблица 9.1 - Контроль шлицевых деталей**

| Деталь сопряжения | Комплексный ПР                                       | Поэлементный НЕ                                                                                     |
|-------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Втулка            | Пробка, изготовленная по $D_{min}, b_{min}, d_{min}$ | Калибры, изготовленные по $D_{max}, b_{max}, d_{max}$                                               |
| Вал               | Кольцо, изготовленное по $D_{max}, b_{max}, d_{max}$ | Калибры, изготовленные по $D_{min}, b_{min}, d_{min}$ или универсальными измерительными средствами. |

Годность деталей шлицевого соединения зависит от размеров, взаимного расположения и формы, поэтому их проверяют комплексными калибрами, которые должны быть проходными.

Шлицевые втулки проверяют калибром-пробкой, изготовленной по наименьшим предельным размерам  $D_{min}, b_{min}, d_{min}$ .

Шлицевой вал – калибром-кольцом, изготовленным по  $D_{max}, b_{max}, d_{max}$ .

Поэлементный контроль осуществляется универсальными измерительными средствами или непроходными калибрами, изготовленными:

- для втулок по  $D_{max}, b_{max}, d_{max}$ ;
- для валов по  $D_{min}, b_{min}, d_{min}$ .

Втулка годна, если калибр-пробка проходит, а диаметры и ширина впадины не выходят за наибольшие предельные размеры.

Вал годен если калибр-кольцо проходит, а  $(D_o, d_o, b_o) > (D_{min}, b_{min}, d_{min})$ .

**Обозначение прямобочных шлицевых соединений на чертежах.**

Центрирование по наружному диаметру:  $D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9}$ , где  $D$  – центрирование по наибольшему диаметру; 8 – число шлицев; 36 – номинальный диаметр  $d$ ; 40 – номинальный диаметр  $D$ ;  $\frac{H8}{h7}$  – посадка по  $D$ ; 7 – ширина зуба шлица;  $\frac{F10}{h9}$  – посадка по ширине шлица  $b$ .

Центрирование по внутреннему диаметру:  $d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{f8}$ .

Центрирование по боковым сторонам шлица (раздетализовано):

- для втулки;  $b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{F10}{h9}$ ;
- для вала:  $b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H7}{e8} \times 7 \frac{D9}{f8}$ .

Прямобоочные шлицевые соединения в настоящее время интенсивно заменяются эвольвентными. Нагрузочные и эксплуатационные характеристики последних выше чем прямобоочных за счет разной ширины шлица по высоте (балка равного сопротивления), большей поверхности соприкосновения, плавного перехода от боковой поверхности к основанию. Кроме того, эволентные сопряжения точнее (самоустанавливаются под нагрузкой), технологичнее – одна модульная фреза для всех чисел зубьев, возможность шевинговать и шлифовать.

#### 9.4 Допуски и посадки эвольвентных шлицевых соединений

В соответствии с ГОСТ 6033 вводятся условные обозначения:

- делительный окружной шаг  $P = \pi \cdot m$ , где  $m$  – модуль;
- ширина впадины втулки  $e$ ;
- толщина шлица вала  $S$ :

$$S = e = \frac{\pi \cdot m}{2} + xm \cdot \operatorname{tg} \alpha,$$

где  $xm$  – смещение исходного контура.

- $D_a, D_f$  – диаметр окружности вершины и впадины зубьев втулки;
- $d_a, d_f$  – диаметр окружности вершины и впадины зубьев вала;
- $d$  – диаметр делительной окружности:  $d = m \cdot z$  (рисунок 9.15).

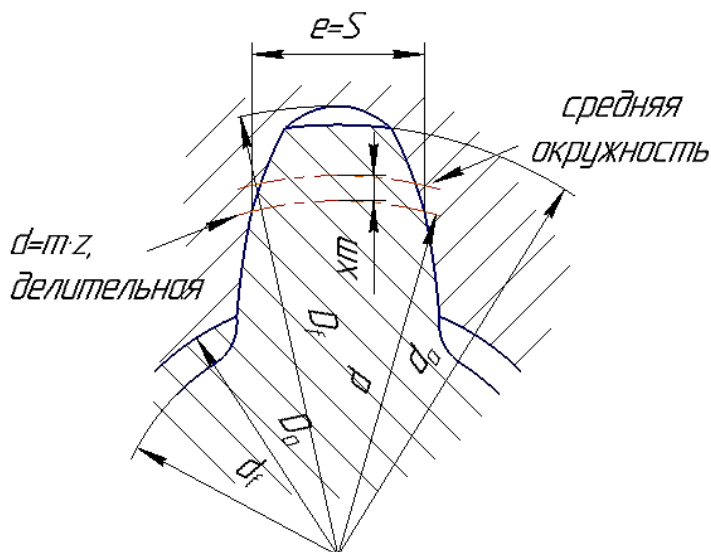


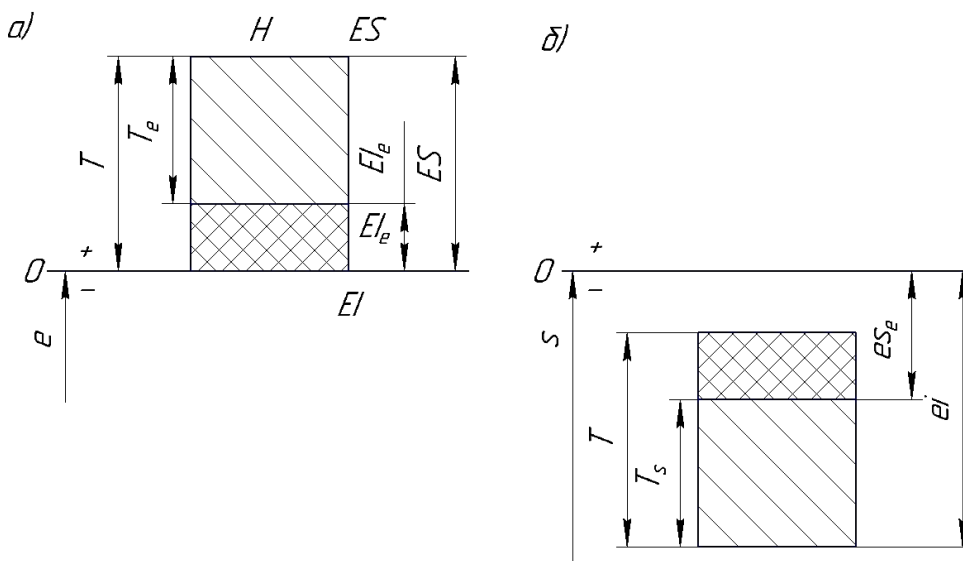
Рисунок 9.15 – Параметры эвольвентных шлицевых сопряжений

Для центрирующих и нецентрирующих диаметров предусмотрены поля допусков по ГОСТ 25347.

По боковым поверхностям установлены специальные поля допусков и посадки при любом способе центрирования по ГОСТ 6033. Способов центрирования также три, как и для прямобоочных шлицевых соединений.

### Центрирование по боковым поверхностям зубьев.

Особенность построения поля допусков на ширину впадины втулки (рисунок 9.16, а) и толщину шлица вала (рисунок 9.16, б) – три предельные отклонения и два вида допусков.



$T$  – суммарный допуск;  $T_e$  – допуск собственно на ширину впадины  $e$ ;  $T-T_e$  – допуск на компенсацию отклонений формы и расположения;  $EI=0$  – основное (суммарное) отклонение;  $ES$  – верхнее отклонение на  $e$ ;  $EI_e$  – нижнее отклонение на  $e$ ;  $T_s$  – допуск на ширину зуба;  $T-T_s$  – допуск на компенсацию отклонений и расположения формы

Рисунок 9.16 – Поля допусков на толщину шлица  $T_s$  и ширину впадины  $T_e$

Для ширины впадины втулки нормировано одно основное отклонение  $H$  и степени точности 7, 9 и 11. На толщину шлица вала установлены десять основных отклонений ( $a, e, d, f, g, h, k, n, p, r$ ) и степени точности от 7 до 11.

В обозначении полей допусков таких посадок номер квалитета указывается спереди отклонения:  $9H/8g$  – в отличие от гладких цилиндрических соединений. При одном квалитете допускается:  $9H/9h = 9H/h$ .

**Условные обозначения шлицевых эвольвентных соединений** включают значения номинального диаметра  $D$ , модуль  $m$ , обозначение посадки, помещаемое после обозначений размеров или модуля, и номер стандарта.

Центрирование по боковым поверхностям зубьев:  $50 \times 2 \times 9H/g$  ГОСТ 6033–80, где  $50 - D=D_f$  – номинальный диаметр;  $2$  – модуль;  $9H$  – поле допуска  $e$  (впадины втулки);  $9g$  – поле допуска  $S$ .

Раздетализовано:

- для втулки  $50 \times 2 \times 9H$  ГОСТ 6033–80;
- для вала  $50 \times 2 \times 9g$  ГОСТ 6033–80.

Центрирование по наружному диаметру:  $50 \times H7/g6 \times 2$  ГОСТ 6033–80, где  $50 - D$ ;  $H7/g6$  – посадка по  $D_f, d_a$ ;  $2$  – модуль.

Центрирование по внутреннему диаметру:  $i50 \times 2 \times H7/g6$  ГОСТ 6033–80: где  $50 - D$ ;  $H7/g6$  посадка по внутреннему диаметру  $d_f$ .

Суммарный допуск  $T$  контролируют комплексными калибрами (размер, форма, расположение). Каждый из непроходных калибров проверяет только собственный размер соответствующего элемента. Непроходными калибрами каждый из элементов детали проверяют в ряде сечений, причем прохождение в любом из контролируемых сечений позволяет считать деталь бракованной. Допуски калибров для контроля эвольвентных шлицевых деталей регламентированы ГОСТ 24969.

## 10 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ, МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС И ЧЕРВЯЧНЫХ ПЕРЕДАЧ

### 10.1 Классификация зубчатых передач, эксплуатационные и точностные требования

По расположению осей:

- цилиндрические – оси параллельны;
- конические – оси пересекаются;
- винтовые, шпоночные, червячные – оси перекрещиваются.

По расположению зубьев:

- прямозубые;
- косозубые;
- шевронные;
- с криволинейными зубьями.

По профилю зубьев:

- эвольвентные;
- циклоидные;
- зацепление Новикова (дуги окружностей) и другие.

По эксплуатационному назначению:

– **отсчетные** – передачи измерительных приборов, делительных механизмов станков, механических часов. Условие работы характеризуется малыми нагрузками и низкими скоростями. Имеют малую длину зуба, мелкий модуль.

Точностное требование – высокая **кинематическая точность**, т.е. постоянство передаточного отношения по углу поворота:

$$i = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{z_1}{z_2} = \text{const},$$

где  $\omega_1, \omega_2$  – угловые скорости ведущего и ведомого колес;

$z_1, z_2$  – числа зубьев этих колес.

– **Скоростные** зубчатые передачи – в турбинных редукторах, двигателях турбовинтовых самолетов и других изделиях с высокой круговой частотой вращения. Работают при высоких скоростях и нагрузках. Длина зубьев и модули – средние.

Требования – плавность работы, т.е. безвибрационность и бесшумность.

– **Силовые** зубчатые передачи – тяжело нагруженные подъемно-транспортные, шахтные механизмы и т.д. Нагрузки велики, скорости небольшие. Модули и длины зубьев большие.

Точностное требование – полнота контакта по длине зубьев.

– Зубчатые передачи **общего назначения** – без особых требований к точности.

Общее эксплуатационное требование к зубчатым колесам – большая долговечность (5-10 тыс. часов и более).

## 10.2 Допуски зубчатых передач

Нормируются большим числом ГОСТов (таблица 10.1).

**Таблица 10.1 – Допуски зубчатых передач**

|                | Цилиндрические    | Конические        | Червячные                                         | Рейки      |
|----------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------------------|------------|
| ГОСТ           | ГОСТ 1683         | ГОСТ 1758         | ГОСТ 3675                                         | ГОСТ 10242 |
| m, мм<br>d, мм | 1...55<br>до 6300 | 1...56<br>до 4000 | 1...25<br>колеса до<br>6300;<br>червяки до<br>450 | 1...40     |
| m<1            | ГОСТ 9178         | ГОСТ 9368         |                                                   |            |

В соответствии с условиями эксплуатации на допуски зубчатых передач установлено три нормы точности.

Каждая норма точности характеризует комплексным показателем или дифференцированными (1-2 и более).

По каждой норме установлено 12 степеней точности: 1...12, причем 1 и 2 – перспективные (очень точные).

Независимо от степеней точности установлены необходимые виды сопряжений зубьев по боковому зазору и их допуски. Итого предусматриваются допуски на 4 группы норм:

1. Нормы кинематической точности;
2. Нормы плавности работы;
3. Нормы контакта;
4. Нормы бокового зазора.

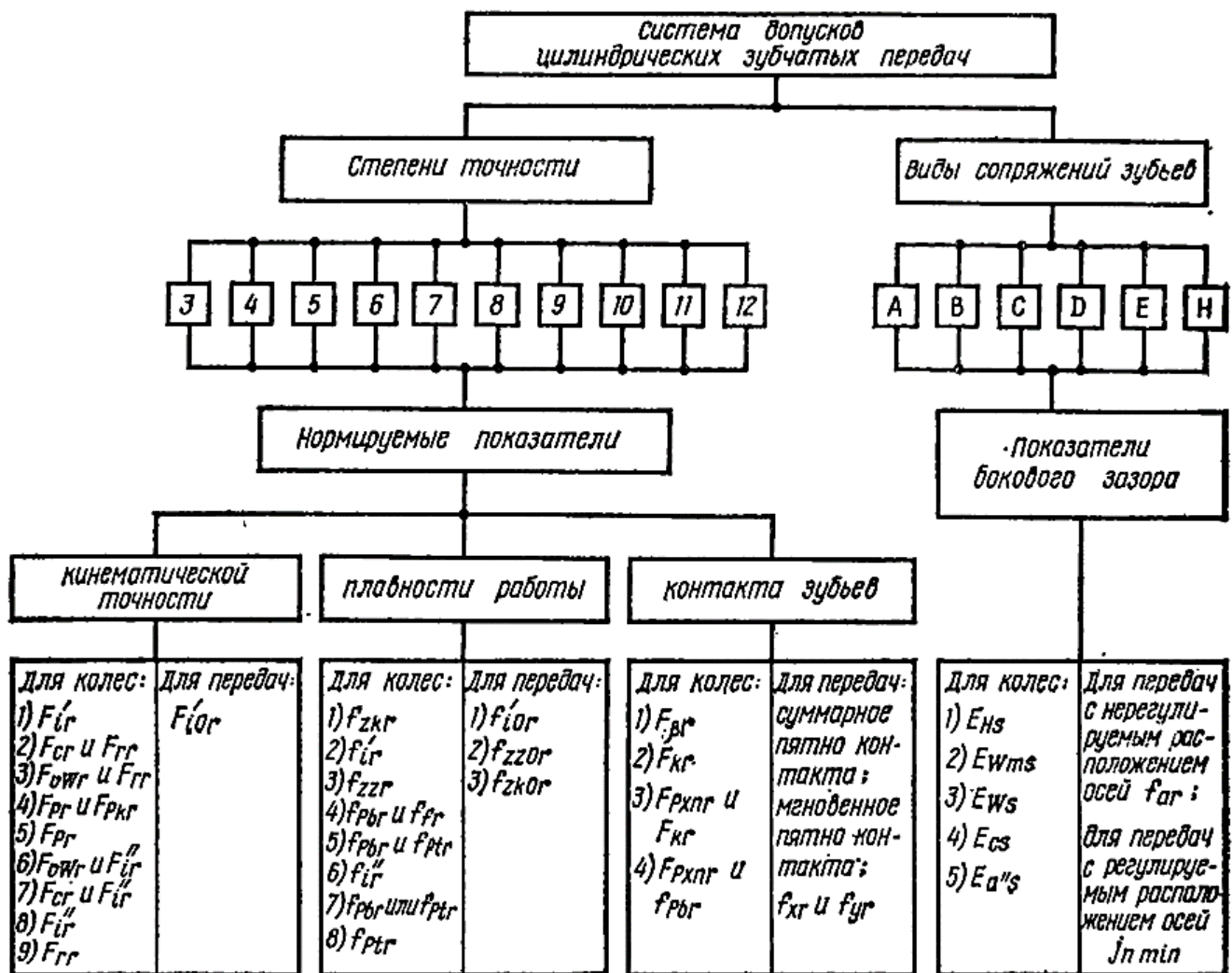


Рисунок 10.1 – Допуски и показатели точности зубчатых передач

Нормы кинематической точности.

Степень точности

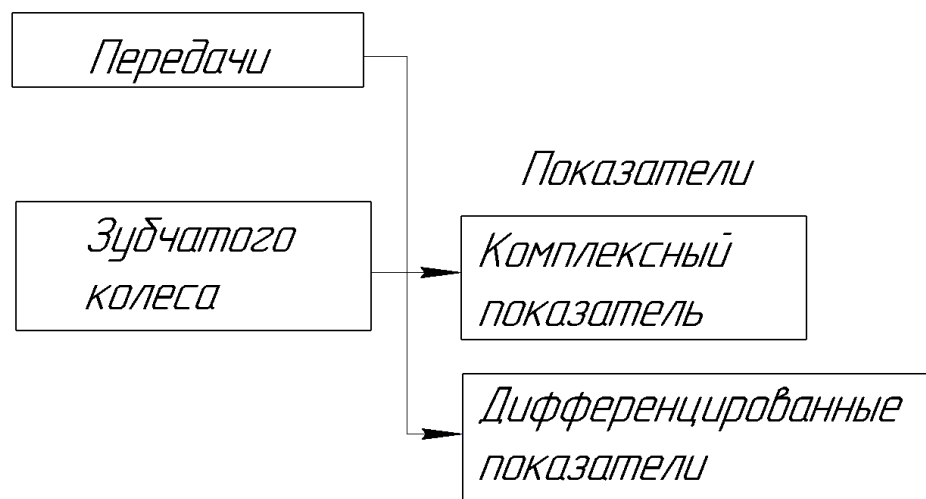


Рисунок 10.2 – Структура норм и показателей точности зубчатых колес и передач

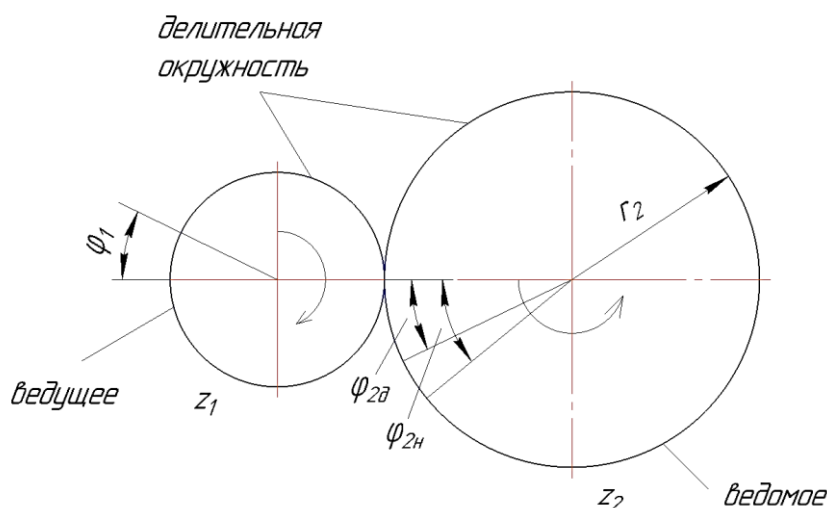
**Кинематическая погрешность передачи** – разность между действительным и номинальным углом поворота ведомого зубчатого колеса.

Характеризуется **наибольшей кинематической погрешностью передачи** – наибольшей алгебраической разностью значений кинематической погрешности передачи за полный цикл –  $F'_{ior}$ . Расшифруем обозначение:  $F$  – показатель кинематической точности; ' (штрих) – однопрофильное зацепление; '' – двухпрофильная проверка;  $i$  – кинематическая погрешность угловых скоростей;  $o$  – характеризует точность передачи (без  $o$  – одного колеса);  $r$  – действительное значение показателя, т.е. измеренное.

$F'_{ior}$  – действительная наибольшая кинематическая погрешность;

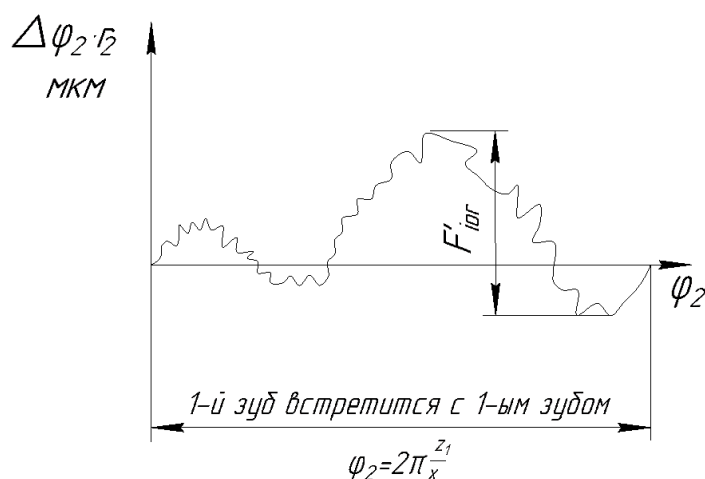
$F'_{io}$  – допускаемая наибольшая кинематическая погрешность.

Условие годности:  $F'_{ior} \leq F'_{io}$ .



$\phi_{2н}$  – номинальный угол поворота ведомого колеса;  $\phi_{2д}$  – действительный угол поворота ведомого колеса;  $(\phi_{2н} - \phi_{2д}) \cdot r_2$  – кинематическая погрешность передач;  $r_2$  – радиус делительной окружности ведомого колеса

**Рисунок 10.3 – Кинематическая погрешность передачи**



$x$  – общий наибольший делитель чисел зубьев

**Рисунок 10.4 – Кривая кинематической погрешности зубчатой передачи**

**Кинематическая погрешность зубчатого колеса** – разность между действительным и номинальным углом поворота зубчатого колеса на рабочей оси.

Комплексный показатель – **наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса  $F'_{ir}$**  – наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности за один оборот колеса. Допуск  $F'_i$ .

Определяется на кинематометрах при однопрофильном зацеплении (рисунок 10.5).

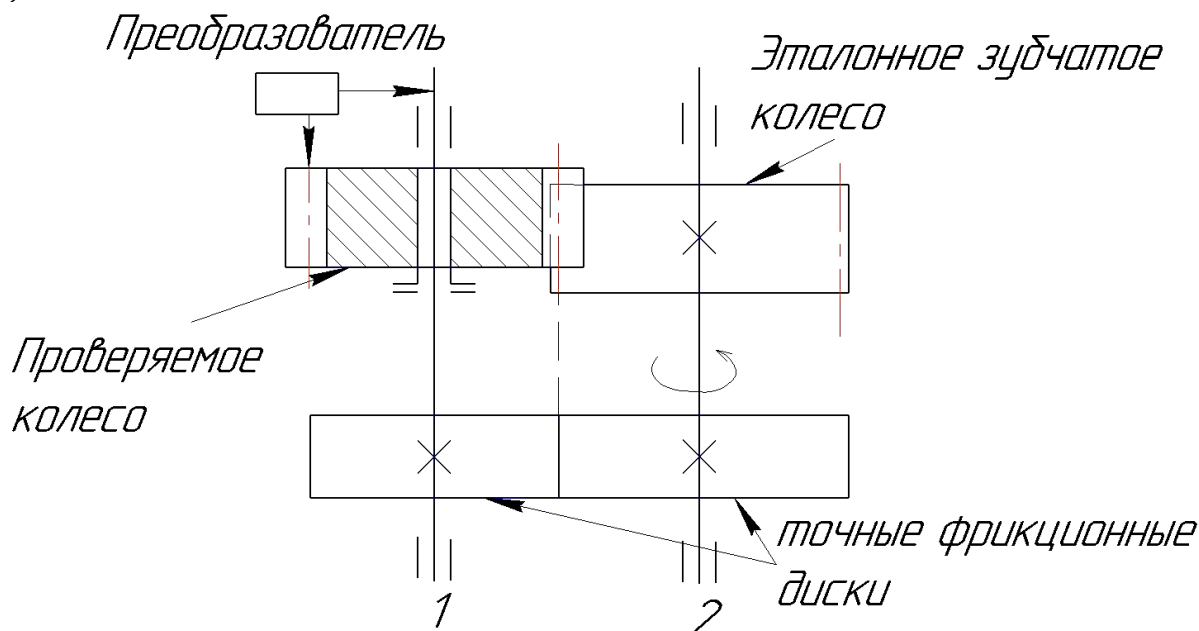


Рисунок 10.5- Схема кинематометра

Точные фрикционные диски имеют погрешность передаточного отношения на порядок меньше, чем зубчатые передачи.

При вращении вала 1 проверяемое колесо, имеющее погрешность, будет отставать или обгонять вал 2. Преобразователь определяет величину отставания (обгона) по хорде дуги делительной окружности (в микрометрах).

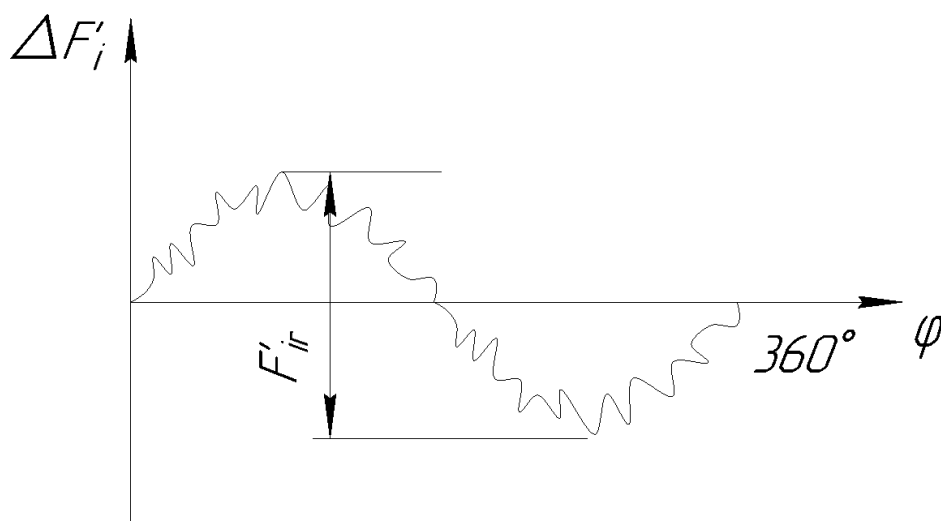
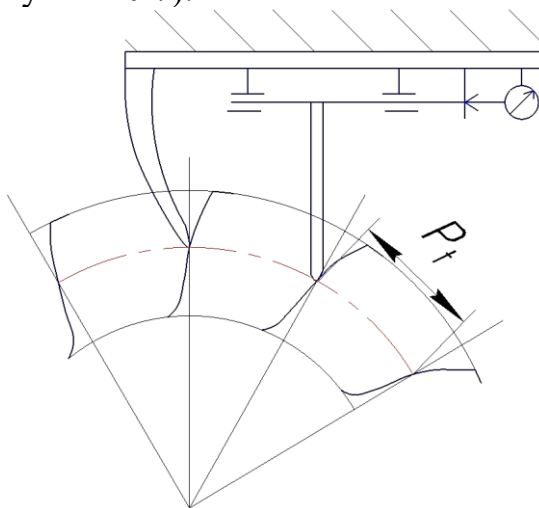


Рисунок 10.6 - Кривая кинематической погрешности зубчатого колеса

Дифференцированные показатели кинематической точности.

**Накопленная погрешность  $k$  шагов  $F_{pkr}$**  – кинематическая погрешность зубчатого колеса при повороте на  $k$  шагов.

**Накопленная погрешность шага по зубчатому колесу  $F_{pr}$**  – наибольшая алгебраическая разность шагов на зубчатом колесе. Определяется с помощью накладного шагомера (рисунок 10.7).



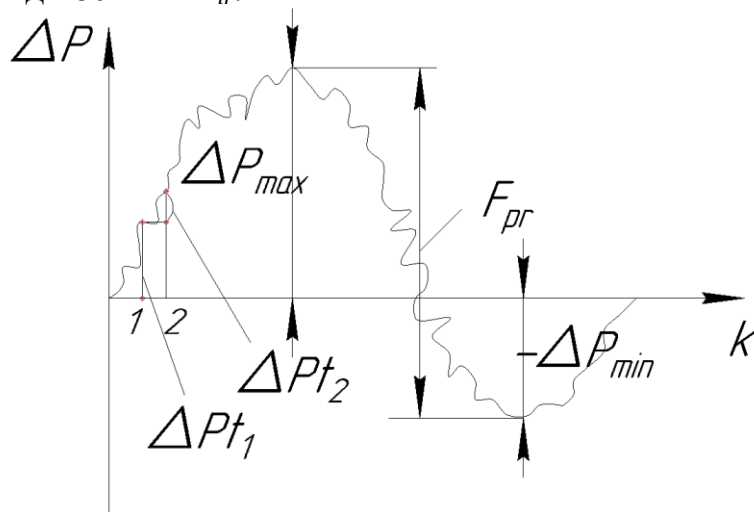
$P_t$  – окружной шаг по делительной окружности

**Рисунок 10.7 – Схема накладного шагомера**

Прибор настраивается на ноль по образцовому шагу (номинальному).

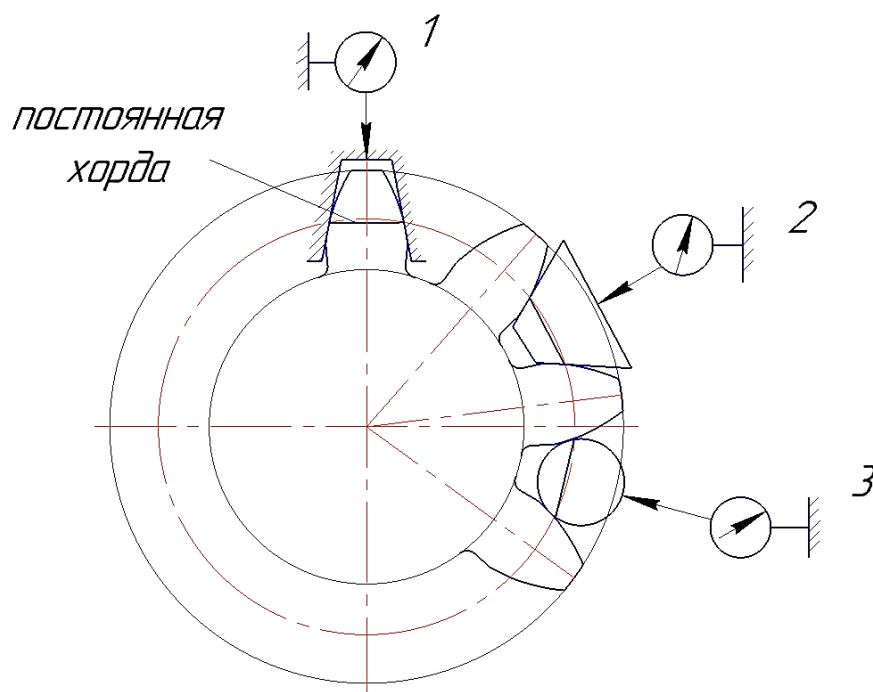
$$F_{pr} = |\Delta P_{\max}| + |\Delta P_{\min}|.$$

$F_{pr}$  составляет до 80% от  $F_{ir}$ .



**Рисунок 10.8 – Кривая накопленной погрешности шага**

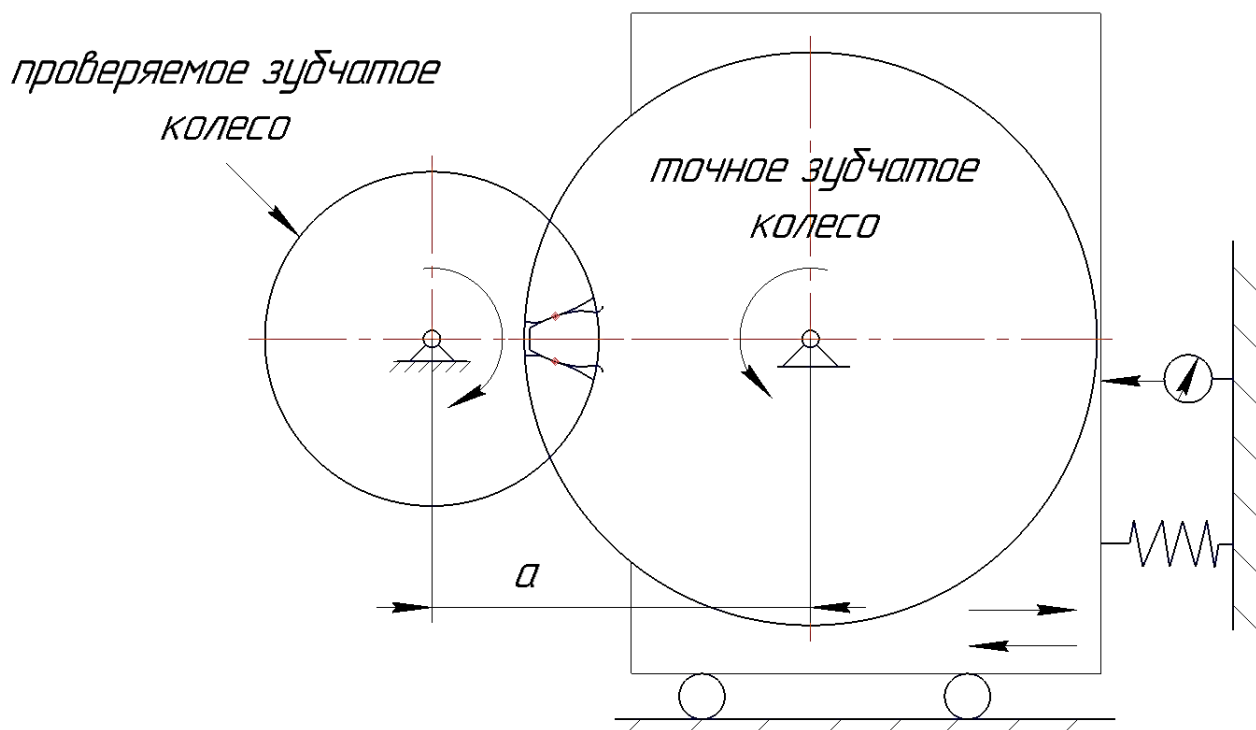
**Радиальное биение зубчатого венца  $F_{rr}$**  – наибольшее изменение расстояния от рабочей оси до делительной прямой элемента номинального исходного контура (постоянной хорды). Допуск –  $F_r$ .



**Рисунок 10.9 – Измерение радиального биения зубчатого венца**

На рисунке 10.9 показано три способа измерения расстояния до постоянной хорды: 1 – накладным наконечником, 2 – конусом, 3 – шариком.

В серийном производстве для контроля вместо измерительного наконечника удобней взять точное зубчатое колесо и обкатывать совместно с проверяемым. Будем контролировать *колебание измерительного межосевого расстояния за один оборот*  $F_{ir}''$  (допуск  $F_i''$ ) – аналог радиального биения  $F_r$  (рисунок 10.10).



**Рисунок 10.10 – Схема межцентромера**

Проверка двухпрофильная. Допуски  $F_i' = 1,4 \cdot F_r$ .

**Погрешность обката  $F_{cr}$**  равняется кинематической погрешности исключая радиальное биение зубчатого венца:

$$F_{cr} = F_{ir} - F_{rr}.$$

Измеряется в угловых секундах. Вызывается кинематическими погрешностями цепи обката зуборезного станка.

**Колебание длины общей нормали  $F_{vwr}$  (допуск  $F_{vw}$ ).**

Длина общей нормали зубчатого колеса  $W$  – расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям зубьев колеса (рисунок 10.11).

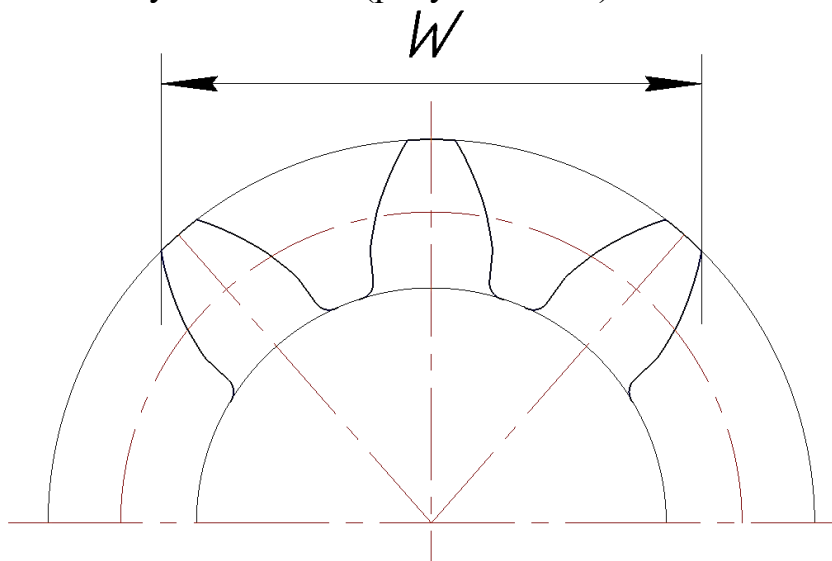


Рисунок 10.11 – Длина общей нормали  $W$

$$V_{Wr} = W_{\max} - W_{\min}.$$

Вызывается погрешностями обката. Измеряется штангенциркулем, микрометром, нормалеммером.

Значение допусков всех параметров выбираются по ГОСТ в зависимости от степени точности, модуля, диаметра делительной окружности.

Для оценки точности можно назначать комплексные показатели  $F'_{ir}$  и  $F'_{ior}$ , либо комплексы поэлементных показателей:

- $F_r$  и  $F_c$ ,  $F_r$  и  $V_W$  – для 3...12 степеней точности;
- $F_i''$  и  $F_c$ ,  $F_i''$  и  $V_W$  – для 5...12 степеней точности;
- $F_i''$  или  $F_r$  – для 9...12 степеней точности.

Причины возникновения кинематической погрешности:

- неточность цепи обката станка (делительной цепи);
- посадочный эксцентриситет заготовки и готового колеса на вал (применять эвольвентные шлицы);
- неточность зуборезного инструмента и его установки.

Высокая кинематическая точность определяет работоспособность *отсчетных передач*.

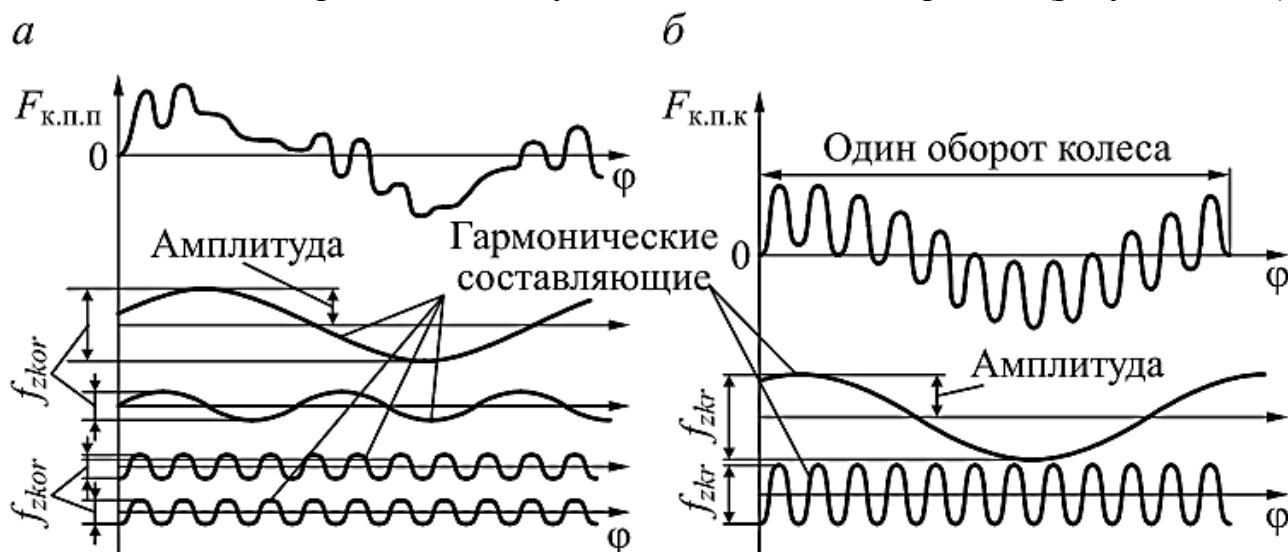
### Нормы плавности.

Плавность работы зубчатых передач зависит от погрешностей, которые составляют часть кинематической погрешности, но многократно (циклически) проявляются за оборот колеса.

Плавность работы нарушается мгновенными резкими изменениями углов поворота зубчатых колес, что вызывает мгновенные знакопеременные ускорения ведомых колес и динамические нагрузки. Следствием является вибрация машин, повышенный уровень шума при работе.

Особенно неблагоприятно это сказывается на надежности *скоростных передач*.

Циклическая погрешность (неплавность), создает волнообразность кривой кинематической погрешности  $F'_{ir}$  зубчатого колеса или передачи (рисунок 10.12).



*а* - для передачи; *б* - для зубчатого колеса

**Рисунок 10.12 – Кинематическая погрешность и ее гармонические составляющие**

Она является суммой гармоник (синусоид) различных частот и амплитуд, которые определяются они путем гармонического анализа кинематограммы (разложения на составляющие).

Каждая гармоника вызвана одной из погрешностей зацепления, например:

1. Эксцентриситет делительной окружности ( $f_{zkr}$ );
2. Погрешность шага ( $f_{zkr}$ , при  $k=z$ , т.е. числу зубьев);
3. Погрешность профиля зуба ( $f'_{ior}$ ).

Показатели нормы плавности обозначаются буквой  $f$ . Они равняются двойным амплитудам гармонических составляющих кинематической погрешности.

Комплексные показатели нормы плавности:

– **циклическая погрешность зубчатого колеса  $f_{zkr}$  (передачи  $f_{zkor}$ )** – удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности колеса (передачи). Допуски  $f_{zk}$  ( $f_{zko}$ ).

– **циклическая погрешность зубцовой частоты  $f_{zzor}$**  – циклическая погрешность с частотой повторения, равной частоте входа зубьев в зацепление. Допуск  $f_{zzo}$ .

– **местная кинематическая погрешность  $f'_{ir}$  колеса ( $f'_{ior}$  передачи)** – разность соседних местных экстремальных значений кинематической погрешности колеса (передачи) за один оборот (цикл вращения). Допуски  $f'_{iu}$  и  $f'_{io}$ .

Дифференцированные показатели нормы плавности:

– **отклонение шага  $f_{ptr}$**  (по делительной окружности) равняется кинематической погрешностью зубчатого колеса при повороте на один номинальный угловой шаг. Допуск  $\pm f_{pt}$ .

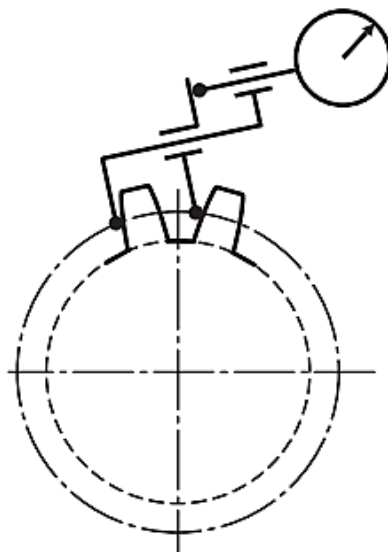
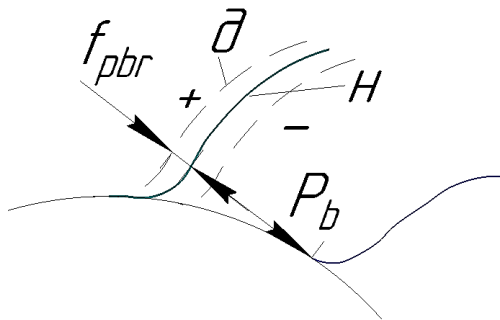


Рисунок 10.13 – Схема измерения шага зубьев по делительной окружности

Контроль – стационарным или накладным шагомер по делительной окружности.

– **отклонение шага зацепления  $f_{pbr}$**  (основного шага по линии зацепления). Допуск  $f_{pb}$ .



$\delta$  – номинальное расположение боковой поверхности зуба,  $\delta$  – действительное

Рисунок 10.14 –Основной шаг

Основной шаг  $P_b$  – расстояние между эвольвентными (кратчайшее по нормали).

Шагом зацепления называется расстояние между двумя точками контакта зубьев сопрягаемых колес. Контроль выполняется шагомером с тангенциальными наконечниками (рисунок 10.15).

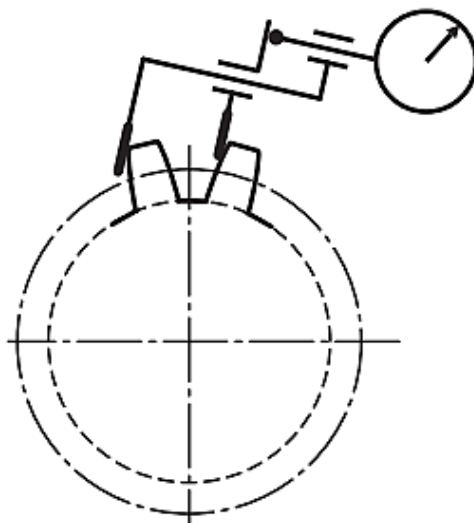


Рисунок 10.15 – Схема измерения шага зацепления

– *погрешность профиля зуба  $f_{fr}$*  – расстояние по нормали между ближайшими номинальными профилями, между которыми расположен действительный активный торцовый профиль зуба (рисунок 10.16).

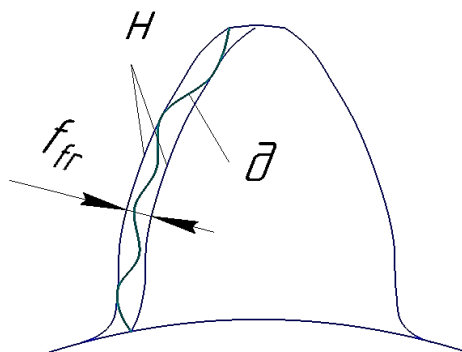


Рисунок 10.16 – Погрешность профиля зуба

Определяется на просвет по шаблону или эвольвентомером.

Для допусков колес 3...8 степеней точности:  $F_i = F_p + f_f$ .

– *колебание измерительного межосевого расстояния на одном зубе  $f''_{ir}$*  (допуск  $f''_i$ ).

$F''_{ir}$  измеряется за один оборот проверяемого колеса, т.е. на всех зубьях,  $f''_i$  – только на одном зубе (рисунок 10.17).

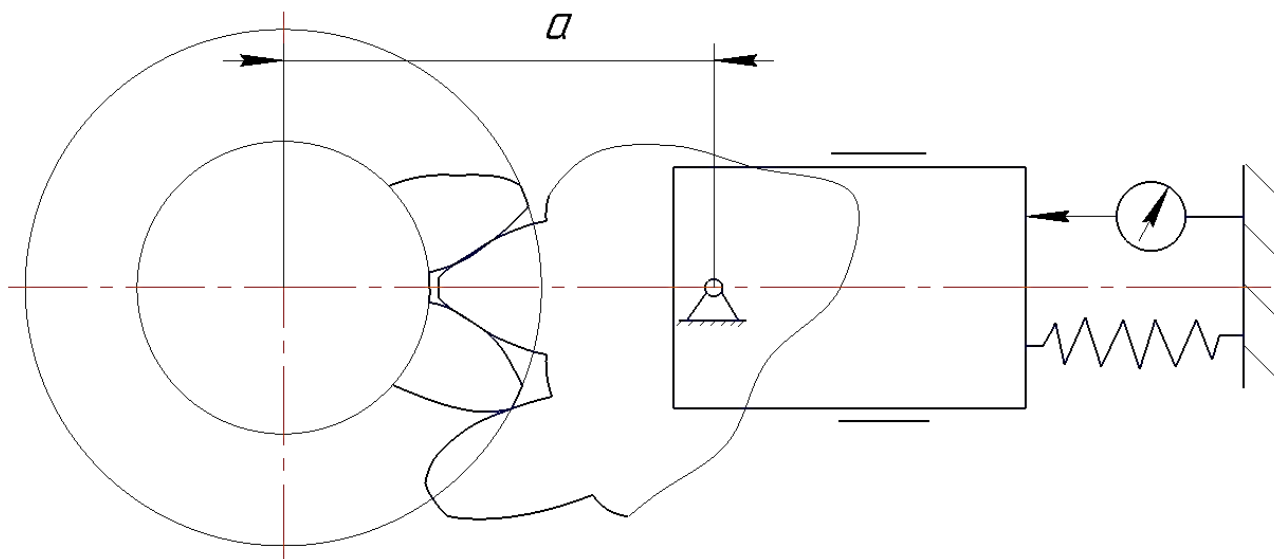


Рисунок 10.17 – Схема измерения  $f''_i$

Контрольные комплексы для норм плавности.

Для косозубых колес выбор комплекса зависит еще от коэффициента осевого перекрытия  $\varepsilon_\beta$ .

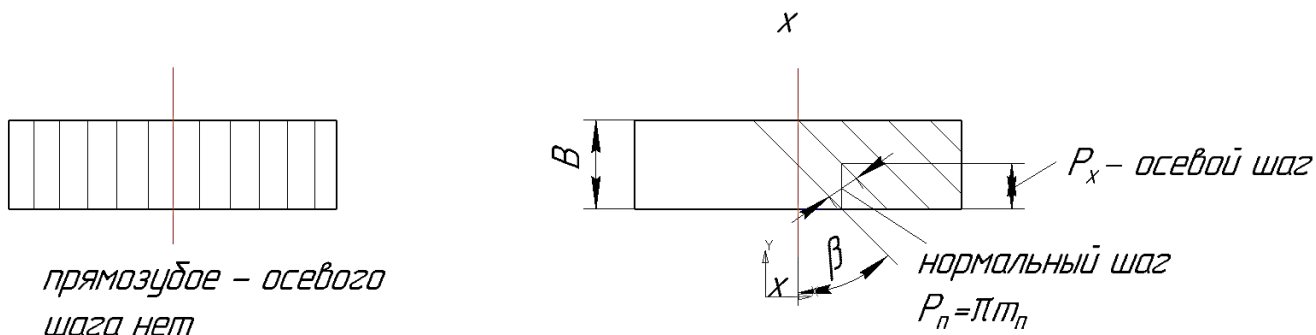


Рисунок 10.18 – Осевой и нормальный шаги косозубого колеса

Осевой шаг:

$$P_x = \frac{\pi \cdot m_n}{\sin \beta},$$

где  $m_n$  – нормальный шаг;  
 $\beta$  - угол наклона зубьев.

Широкое колесо  $\leftarrow B > \frac{4m_n}{\sin \beta} > B \rightarrow$  узкое колесо.

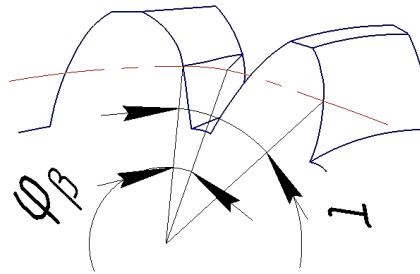


Рисунок 10.19 – Угловой шаг зубьев  $\tau$  и угол осевого перекрытия  $\phi_\beta$

Коэффициент осевого перекрытия:

$$\varepsilon_\beta = \frac{\phi_\beta}{\tau}.$$

Если значение  $\varepsilon_\beta$  больше табличного ГОСТ 1643, тогда он учитывается при назначении контрольных комплексов:

- $f_{zk}$  и  $f'_i$  – 3...8 степени точности;
- $f_{pt}$  – 9...12 степени точности;
- $f'_i$  – 3...8 степени точности;
- $f_{pb}$  и  $f_{pt}$  – 3...8 степени точности;
- $f_{pb}$  и  $f_f$  – 3...8 степени точности;
- $f_{i''}$  – 5...12 степени точности.

Для повышения плавности при нарезании зубьев необходимо обеспечить точность шага, а также применять шевингование и хонингования зубчатых колес.

### Нормы контактов зубьев в передаче.

Полнота контактов боковых поверхностей зубьев – условие надежной работы передач, особенно силовых.

Удельные нагрузки, концентрация напряжений, равномерность смазки и износа зависят от полноты контакта зубьев передачи.

Комплексной характеристикой качества контакта является:

– **суммарное пятно контакта** – часть активной поверхности зуба ведомого колеса со следами прилегания.

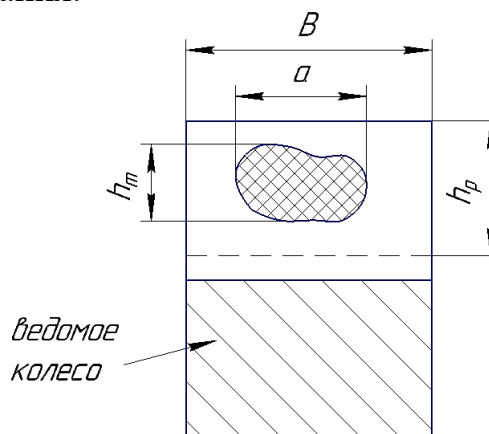


Рисунок 10.20 – Суммарное пятно контакта

Оценивается: *относительная длина*  $\frac{a}{B} \cdot 100\%$ ; *относительная высота*  $\frac{h_m}{h_p} \cdot 100\%$ .

Дифференцированные показатели полноты контакта.

– *отклонение осевых шагов*  $F_{pxn}$  – задается для широких косозубых колес ( $\varepsilon_\beta > 1,25$ ) допуском  $\pm F_{pxn}$ .

– *отклонение направления зубьев*  $F_{\beta r}$  (для прямозубого колеса).

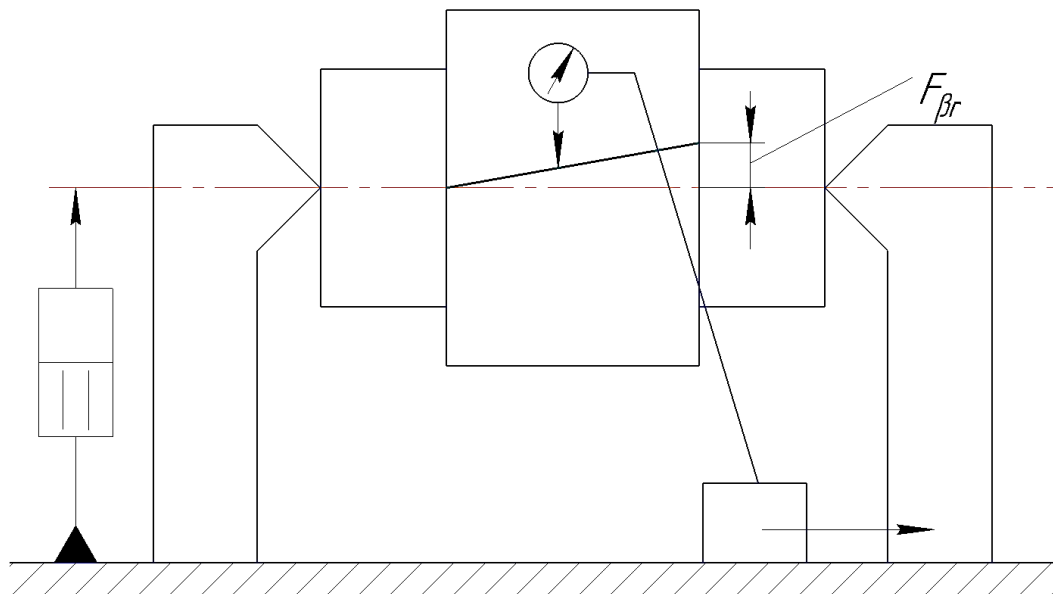


Рисунок 10.21 – Схема контроля отклонения направления зубьев

– *непараллельность осей зубчатых колес*  $f_{xr}$  и *перекос осей*  $f_{yr}$ , для зубчатых передач.

Для увеличения полноты контактов зубьев необходимо хорошее состояние зубообрабатывающих станков, а также точная установка заготовок на станках и колес на рабочих осях в передаче.

### **Выбор степеней точности зубчатых колес и передач.**

Производиться по нормам кинематической точности, плавности и пятна контакта. При этом учитываются:

- назначение передачи;
- условие работы (скорости и нагрузки);
- метод нарезания зубьев.

По ГОСТ 1643 допускается устанавливать для одной зубчатой передачи разные степени точности норм кинематической точности, плавности и пятна контакта.

Экономически выгодно назначить малые допуски тех норм точности, которые определяют работоспособность данной передачи.

Однако показатели точности различных норм взаимосвязаны, поэтому в ГОСТ есть ограничения:

- норма плавности – на 2 степени точности или на 1 грубее норм кинематической точности;

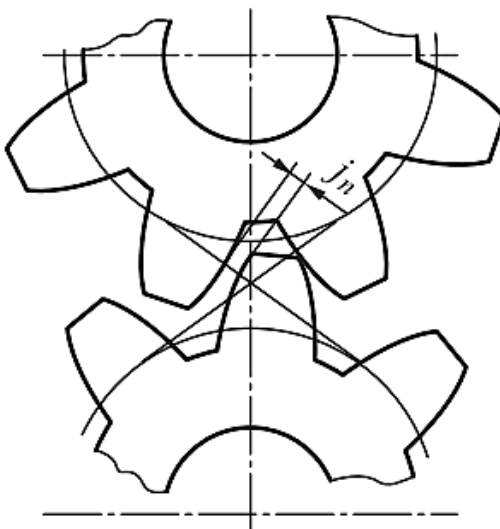
- норма контакта – любая степень, более точная, чем норма плавности, при  $\varepsilon_\beta \leq 1,25$  – на одну степень грубее плавности.

Ориентировочное применение степеней точности:

- 3...5 – измерительные зубчатые колеса;
- 3...8 – передачи металлорежущих станков;
- 6...8 – редукторы общего назначения;
- 7...10 – крановые механизмы.

### **Нормы бокового зазора.**

Характер сопряжения зубьев определяется боковым зазором между нерабочими поверхностями (рисунок 10.22).



**Рисунок 10.22 – Боковой зазор  $j_n$  в передаче**

Боковой зазор можно создать двумя путями:

- уменьшить толщину зуба (смещением исходного контура  $E_{HS}$  в тело колеса);
- увеличить  $a$  – межосевое расстояние (реже).

Боковой зазор необходим для компенсации погрешностей изготовления и сборки, для прохождения смазки, для компенсации силовых и тепловых деформаций.

ГОСТ 1643 устанавливает шесть видов сопряжений зубчатых колес, отличающихся наименьшим гарантированным зазором  $j_{n \min}$ : А, В, С, D, Е, Н (в порядке уменьшения), а также восемь видов допусков на боковой зазор  $T_{jn}$ : h, d, c, b, a, z, y, x (в порядке увеличения) (рисунок 10.23).

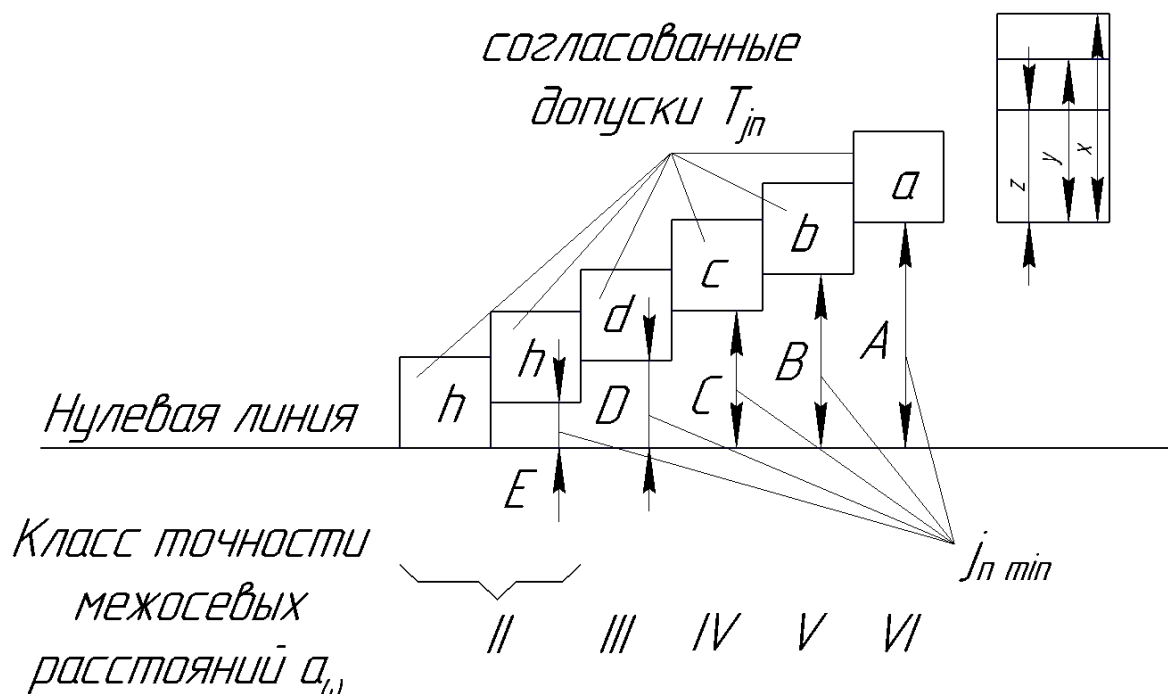


Рисунок 10.23 – Схема расположения полей допусков  $T_{jn}$  для принятых видов сопряжений зубьев зубчатых колес

Обычно виды сопряжений и виды допусков согласованы как на схеме: а–А, б–В.

Но можно и комбинировать (а–В), а также применять увеличенные (грубые) допуски z, y, x: А–х, С–z.

Наименьший гарантированный зазор  $j_{n \min} = В$  «нормальный» гарантированный боковой зазор. Позволяет избежать заклинивания в передаче, если разность температуры колес и корпуса не превышает  $25^{\circ}\text{C}$ . Если  $\Delta t > 25^{\circ}\text{C}$  – применяем  $j_{n \min} = А$  «увеличенный», С – «уменьшенный», D – «малый», E – «весьма малый» и H – «нулевой»  $j_{n \min}$ .

Уменьшение толщины зуба для обеспечения бокового зазора достигается смещением исходного контура рейки (зуборезного инструмента)  $E_{HS}$ , в тело колеса от нулевого положения.

Точность сопряжения по боковому зазору зависит также от точности межосевого расстояния  $a_w$ . Установлено шесть классов точности межосевого расстояния 1...6 в порядке уменьшения точности. Рекомендуемые соотношения классов точности и минимальных гарантированных зазоров указаны на схеме. Допускается изменять эти соотношения, но тогда класс точности указывается в обозначении передачи.

Показатели бокового зазора.

– **Дополнительное смещение исходного контура**  $-E_{H\delta}$  для колес с внешним зацеплением ( $+E_{H\delta}$  для колес с внутренним зацеплением) (рисунок 10.24).

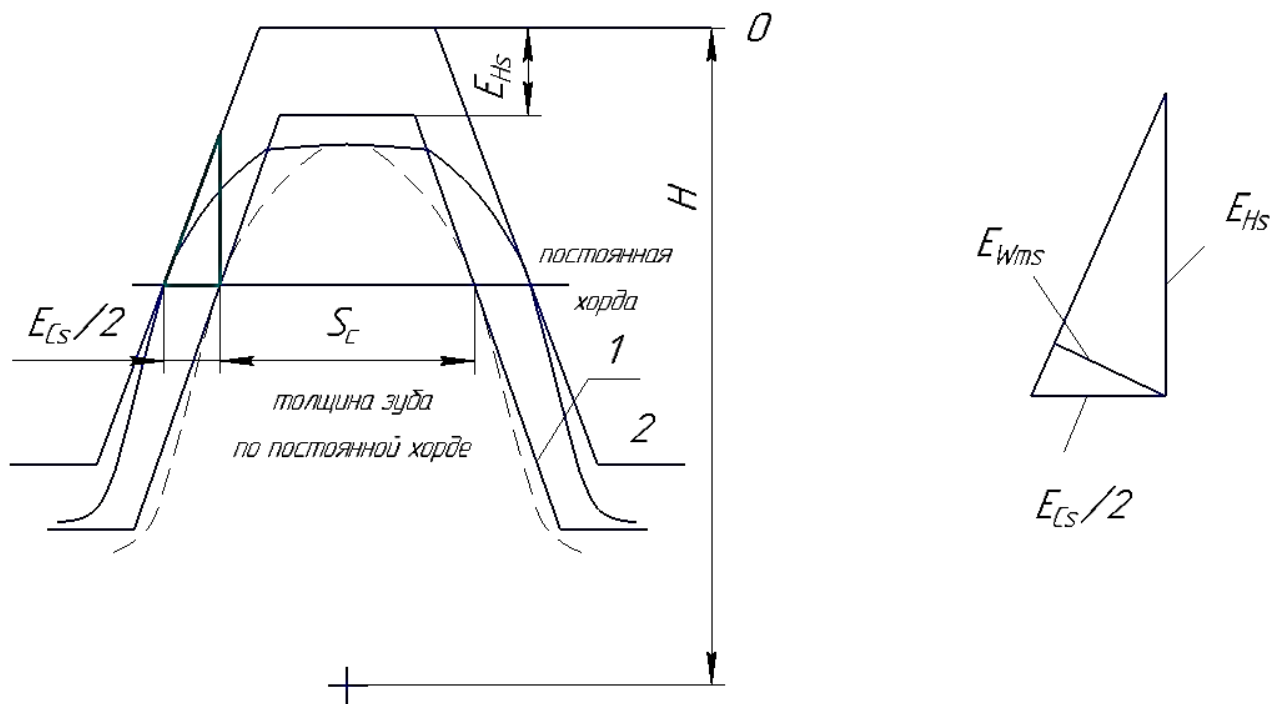


Рисунок 10.24 – Номинальное (1) и действительное (2) положение исходного контура после дополнительного смещения

На схеме: «0» положение – положение исходного контура после корригирования; «s» – колеса внешнего зацепления; «i» – колеса внутреннего зацепления; «H» – расстояние от исходного контура до рабочей оси; « $E_{Hs}$ » – наименьшее дополнительное смещение исходного контура.

Первое смещение выполнялось при корригировании.

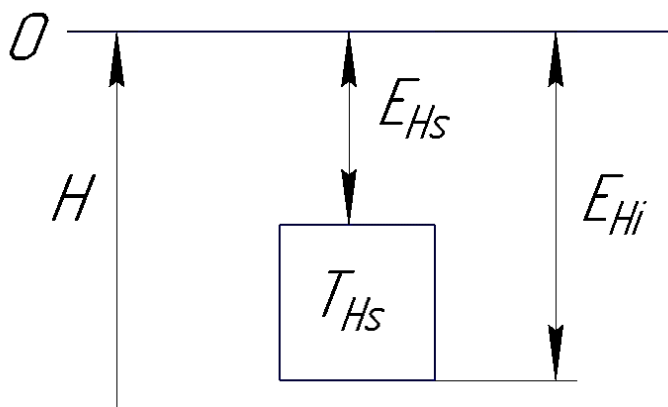


Рисунок 10.25 – Дополнительное смещение исходного контура  $E_{Hs}$  и его допуск  $T_{Hs}$

Контроль допуска выполняется тангенциальным зубомером.

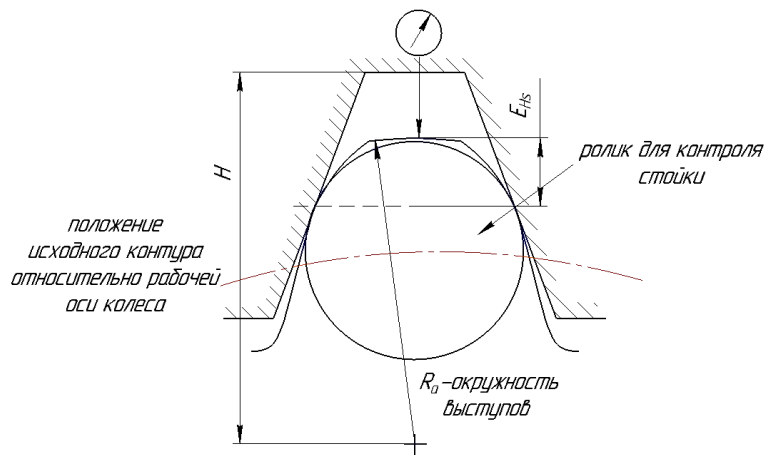


Рисунок 10.26 – Схема контроля тангенциальным зубомером

– **Наименьшее отклонение толщины зуба  $E_{cs}$** , где  $S$ - толщин зуба по постоянной хорде (рисунок 10.27).

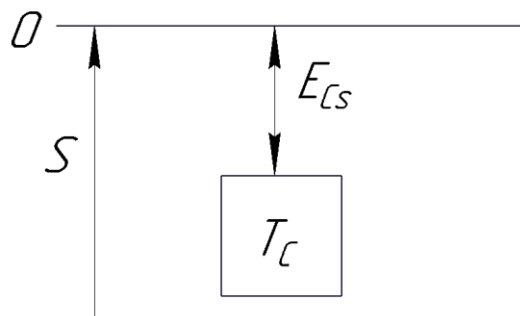


Рисунок 10.27 – Наименьшее отклонение толщины зуба  $E_{cs}$  и допуск  $T_c$

Измерения выполняются кромочным зубомером по постоянной хорде (между точками касания исходного контура) (рисунок 10.28).

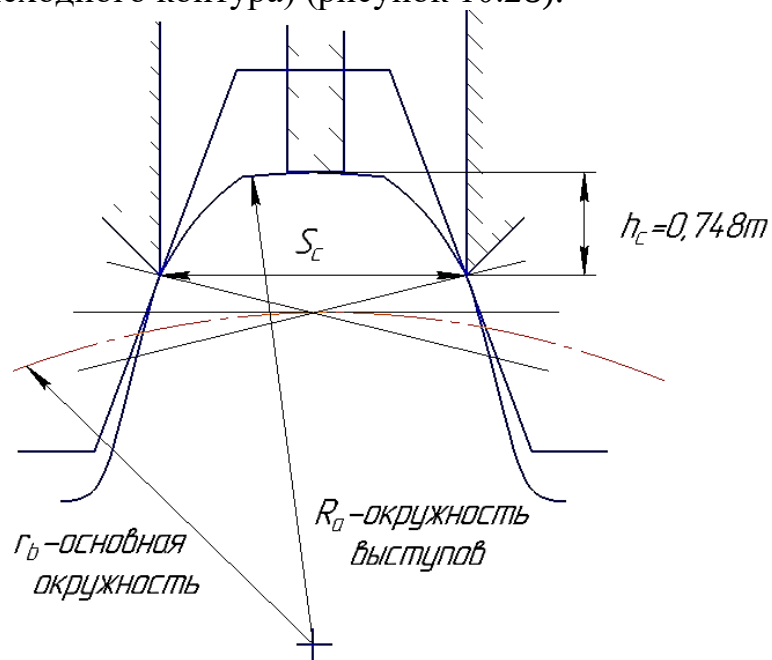
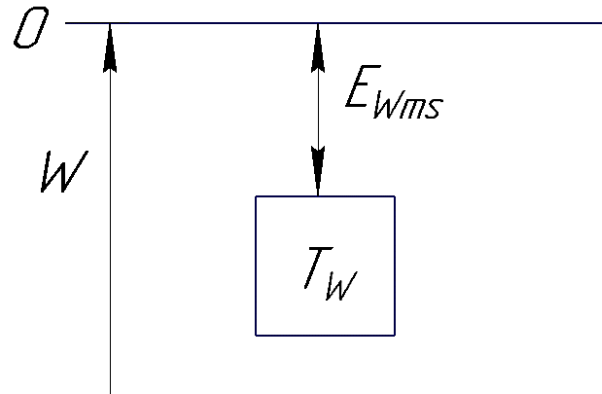


Рисунок 10.28 – Схема контроля кромочным зубомером

– *Наименьшее отклонение средней длины общей нормали  $E_{Wms}$ .*



**Рисунок 10.29 - Наименьшее отклонение средней длины общей нормали  $E_{Wms}$  и допуск  $T_W$**

Средняя длина общей нормали определяется:

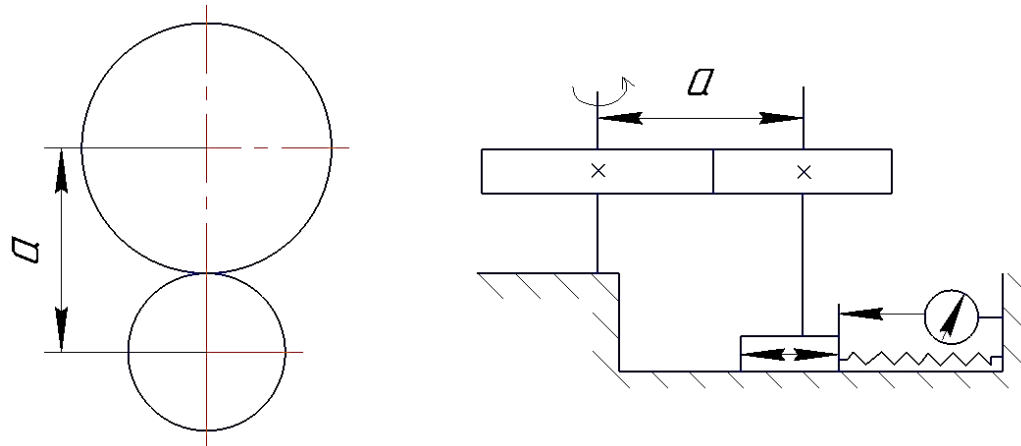
$$W_m = \frac{W_1 + W_2 + \dots + W_n}{n},$$

где  $W_1, W_2 \dots W_n$  – действительные длины общей нормали.

Контроль осуществляется нормалеммером.

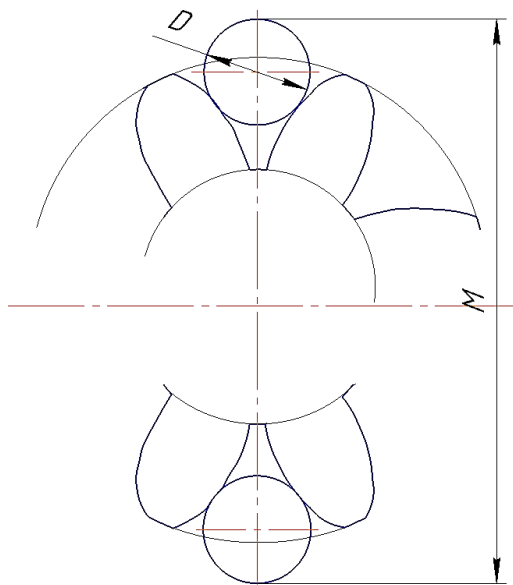
Кроме того, о величине бокового зазора и его колебании можно судить по **отклонениям измерительного межосевого расстояния:**

- верхнему  $+E_{a''s}$  – для наружного зацепления;
- нижнему  $-E_{a''i}$  – для внутреннего зацепления.



**Рисунок 10.30 – Схема контроля отклонения измерительного межосевого расстояния**

Для мелко модульных колес ( $m \leq 1$ ) величину уменьшения толщины зуба можно проверить с помощью контрольных роликов (шариков) путем измерения торцового размера  $M$  по роликам (шарикам) (рисунок 10.31).



**Рисунок 10.31 – Схема контроля торцового размера  $M$  мелко модульных колес**

Контрольные комплексы для обеспечения гарантированного бокового зазора:

- $E_{HS}$  и  $T_H$  – 3...12 степени точности;
- $E_{Wms}$  и  $T_{Wm}$  – 3...12 степени точности;
- $E_{CS}$  и  $T_C$  – 3...12 степени точности;
- $E_{a'e}$  и  $E_{a'i}$  – 5...8 степени точности.

**Обозначение точности зубчатых колес и передач.**

В обозначении последовательно указывают степени точности:

- по нормам кинематической точности;
- по нормам плавности работы;
- пятна контакта;
- вид сопряжения и боковой зазор;
- номер стандарта.

Например: 8–7–6 *Ba* ГОСТ 1643-81, где 8 – степень точности по норме кинематической точности; 7 – степень точности по норме плавности работы; 6 – степень точности по норме пятна контакта; *B* – вид сопряжения; *a* – допуск на боковой зазор несогласованный.

Если степени точности по всем трем нормам равны, а допуск бокового зазора соответствует виду сопряжения, записываются один раз: 6–*C* ГОСТ 1641-81 соответствует 6–6–6 *Cc* ГОСТ 1643-81.

При выборе более грубого класса отклонений межосевого расстояния *a* – в обозначении указывается принятый класс и расчетный уменьшенный боковой зазор в микрометрах: 7–*Ca/V*–113 ГОСТ 1643-81, для *C* рекомендован IV класс.

Нестандартный боковой зазор указывается в обозначении в микрометрах: 7–*N*–6–700у ГОСТ 1643-81. Буквой *N* обозначается не заданная степень точности.

### 10.3 Оформление чертежей зубчатых колес

Выполняется по стандартам ЕСКД:

- ГОСТ 2.403–75 Цилиндрические зубчатые колеса;
- ГОСТ 2.404–75 Рейки;
- ГОСТ 2.405–75 Конические зубчатые колеса;
- ГОСТ 2.407–75 Червяки и передачи глобоидные.

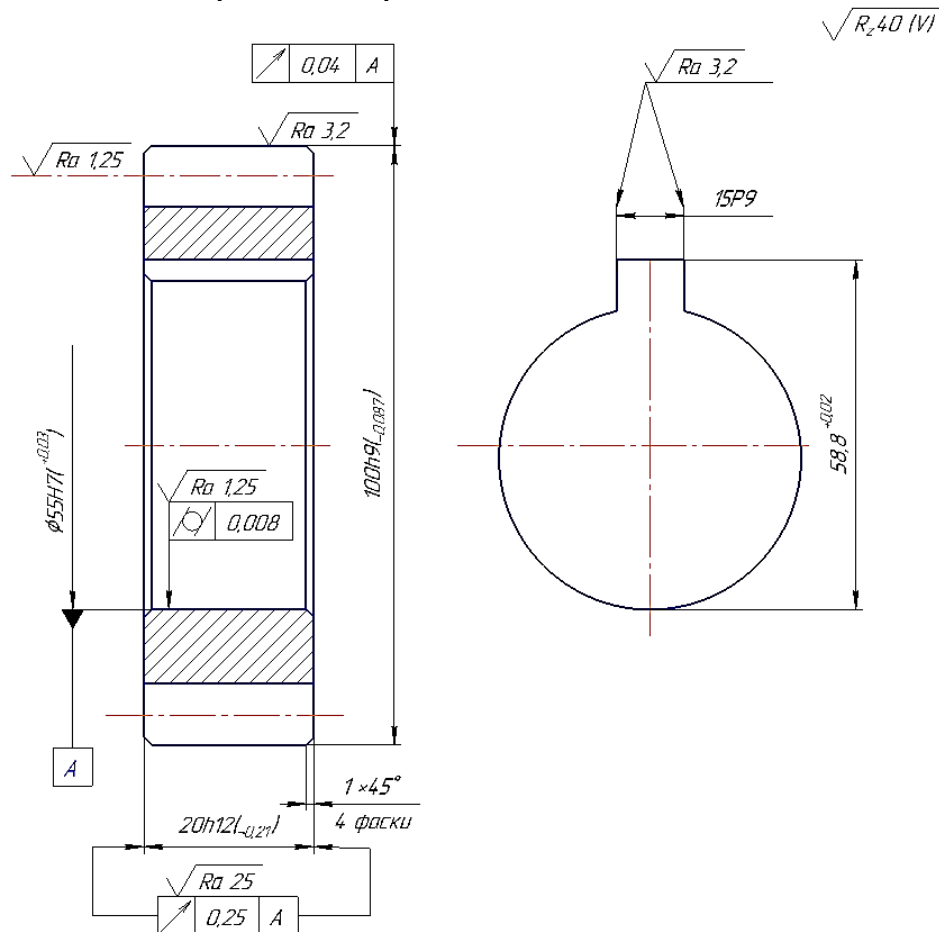


Рисунок 10.32 – Эскиз зубчатого колеса

Во избежание перекоса зубьев в зацеплении торцевое биение в месте опоры при нарезании зуба:

$$\Delta_{\text{торц}} = \left( \frac{1}{4} \dots \frac{1}{3} \right) F_{\beta} \cdot \frac{D}{B},$$

где  $F_{\beta}$  – допуск на направление зуба;

$D$  – диаметр выступов колеса;

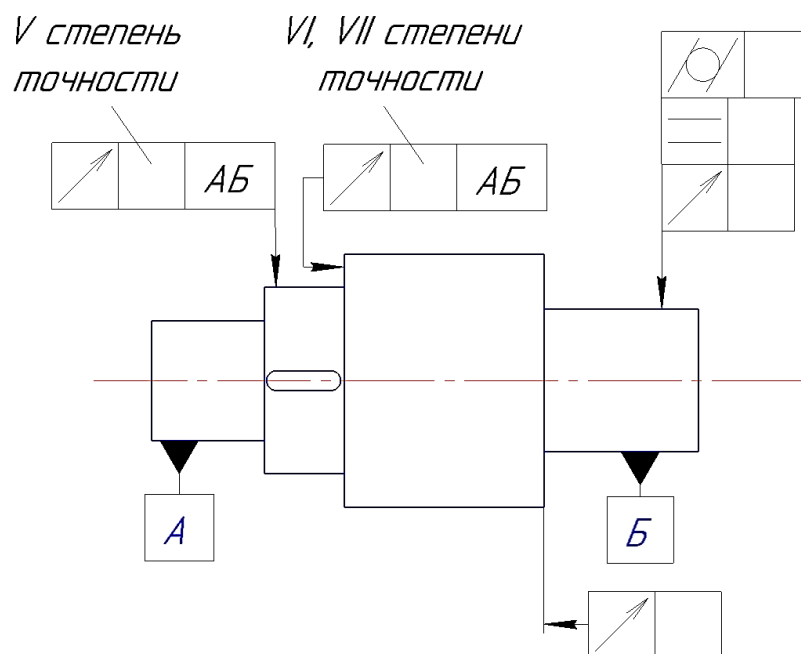
$B$  – ширина колеса.

В правой части чертежа зубчатого колеса размещается таблица параметров зубчатого венца. Она состоит из трех частей, отделяемых сплошными основными линиями: основные данные, данные для контроля, справочные данные.

|                                                                                                                                                                                  |                                                                   |           |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------|---------------|
| <div style="display: inline-block; vertical-align: middle; text-align: center;"> <div style="margin-bottom: 10px;">20</div> <div style="margin-bottom: 10px;">7 min</div> </div> | $\sqrt{Rz40 (\sqrt{I})}$                                          |           |               |
|                                                                                                                                                                                  | Модуль, мм                                                        | $m$       | 2,5           |
|                                                                                                                                                                                  | Число зубьев                                                      | $z$       | 38            |
|                                                                                                                                                                                  | Коэффициент смещения                                              | $x$       | 0             |
|                                                                                                                                                                                  | Нормальный исходный контур                                        | –         | ГОСТ 13755–81 |
|                                                                                                                                                                                  | Степень точности по ГОСТ 1643–81                                  | –         | 9–11–12–А     |
|                                                                                                                                                                                  | Допуск на кинематическую погрешность колеса, мм                   | $F_i''$   | 0,09          |
|                                                                                                                                                                                  | Допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса, мм | $f_i''$   | 0,056         |
|                                                                                                                                                                                  | Допуск на направление зуба, мм                                    | $F_\beta$ | 0,112         |
|                                                                                                                                                                                  | Наименьшее отклонение толщины зуба, мм                            | $E_{cs}$  | 0,21          |
|                                                                                                                                                                                  | Допуск на толщину зуба, мм                                        | $T_c$     | 0,18          |
|                                                                                                                                                                                  | Толщина зуба колеса по постоянной хорде, мм                       | $S$       | 3,467         |
|                                                                                                                                                                                  | Высота головки зуба до постоянной хорды, мм                       | $h_c$     | 1,87          |
|                                                                                                                                                                                  | Делительный диаметр, мм                                           | $d$       | 95            |

Рисунок 10.33 – Таблица параметров зубчатого венца

Требование к посадочным поверхностям под зубчатое колесо на валу (рисунок 10.34).



**Рисунок 10.34 – Требования к присоединительным размерам валов для установки зубчатых колес**

## 11 ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕТРОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Метрология (рекомендации по межгосударственной стандартизации РМК 29-2013) - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Основными задачами в метрологии являются:

- установление единиц физических величин и систем государственных эталонов единиц;
- определение физических констант и физико-химических свойств материалов, стандартных образцов этих свойств;
- разработка теорий и методов измерений, методов оценки погрешностей;
- разработка методов передачи размеров единиц от эталонов к рабочим средствам измерений;
- систематические проверки мер и измерительных приборов.

Осуществление указанных задач, стоящих перед государственной метрологической службой, достигается государственной системой обеспечения единства измерений (ГСИ).

**Понятие об измерениях и их единицах.**

**Измерение** – нахождение значения физической величины опытным путем при помощи специальных технических средств. При этом за единицу физической величины принимают единицу измерения фиксированного размера, принятую в качестве основы для количественного оценивания.

Основное уравнение измерения:

$$Q = q \cdot N,$$

где  $Q$  – измеряемая физическая величина;

$q$  – единица физической величины;

$N$  – значение измеряемой величины в принятых единицах.

Измерение выполняется в следующих случаях:

1. Для установления действительного размера изделия на соответствие рабочему чертежу.
2. Для проверки точности технологической системы и своевременной подналадки во избежание появления брака.

**Контроль** – определение годности детали или точности технологической системы (без определения численного значения контролируемого параметра).

Проверяется укладывается ли действительное значение параметра в предельно допустимые значения, например, калибрами.

Единообразие в системе единиц всего мира вводят принятые в 1960 г. Международные система единиц СИ (Sistem Interhational).

Имеются 7 основных единиц: м – длина; кг – массы; с – времени; К (кельвин) – температуры; А (ампер) – силы тока; кд (кандела) – силы света; моль – количество вещества. Кроме того, имеются дополнительные и произвольные единицы.

### **Классификация измерительных средств и методов измерения.**

**Средства измерений (СИ)**– техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

К ним относятся (в порядке понижения точности):

- **эталоны единиц физических единиц** – средства измерений, воспроизводящие единицы физической величины с наивысшей точностью, например: атомные часы с погрешностью  $\Delta = 1\text{с}$  за 30000 лет;

- **меры** – средства измерений для воспроизведения физической величины заданного размера, например: концевые плоско-параллельные меры длины, эталонные гири и т.п.;

- **измерительные преобразователи** – технические средства с нормированными метрологическими характеристиками, служащие для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Например: микрометрическая пара винт-гайка, пружина динамометра.

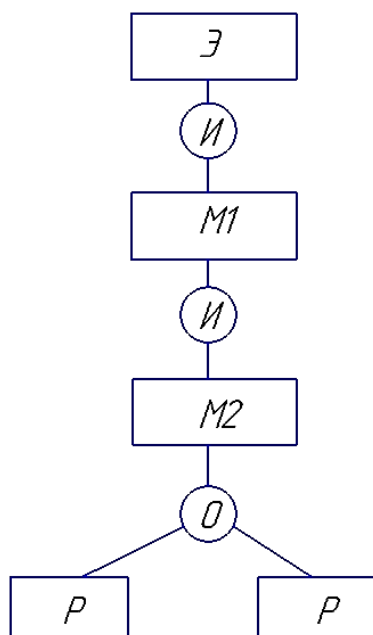
- **датчики (преобразователи)** – конструктивно обособленные первичные преобразователи, от которых поступают измерительные сигналы.

- **измерительные приборы (приборы)** – СИ, предназначенные для получения значения измеряемой физической величины в установленном диапазоне измерительной информации от измеряемой физической величины, ее преобразования и выдачи в форме, поддающейся непосредственному восприятию оператором.

- **образцовые средства измерений** – меры, приборы, или преобразователи, утвержденные как образцовые. Периодически проверяются по эталонам, сами служат для поверки.

- **рабочие средства измерения** – приборы для измерений, не связанный с передачей единицы физической величины.

**Поверочная схема** устанавливает порядок передачи размеров единицы физической величины от эталона к рабочим средствам измерения (рисунок 11.1).



Э – эталон;  $M1$  – образцовая мера высшего порядка;  $M2$  – образцовая мера низшего порядка;  $P$  – рабочие средства измерений;  $I$  – интерферометр;  $O$  – оптиметр

**Рисунок 11.1 – Поверочная схема**

Точность средств измерения от ступени к ступени уменьшается в 1,6...3 раза.

**Метод измерения** – совокупность измерительного средства и приемов его использования. Различают прямые и косвенные методы измерения.

**Прямые методы** – значение измеряемой величины находится из опытных данных.

**Косвенные методы** – искомое значение определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например: измерение расстояния до Луны, измерения радаром, сонарами, эхолотами).

По способу получения значений:

– **метод непосредственной оценки** – значение величины получают по отчетному устройству прибора прямого действия (линейки, микрометры, угломеры);

– **метод сравнения с мерой** – измеряемую величину сравнивают с величиной воспроизводимой мерой (рисунок 11.2).

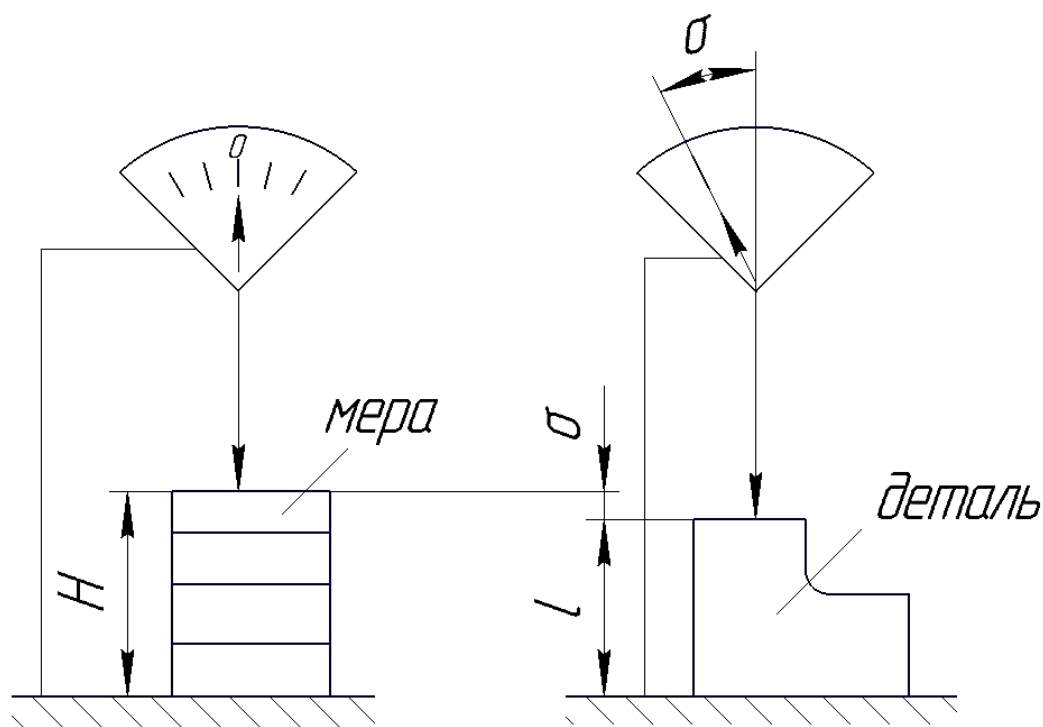


Рисунок 11.2 – Схема метода сравнения

По методу воздействию на объект методы измерения могут быть *контактными* и *бесконтактными*.

По физическому принципу измерения приборы для измерений классифицируются на механические, пневматические, электрические, оптические, фотоэлектрические, пьезоэлектрические и т.д.

Существует два вида контроля - **дифференцированный** (поэлементные) – контроль каждого параметра изделия в отдельности (у резьбы  $d$ ,  $P$ ,  $\alpha/2$  и др.); **комплексный контроль** – проверяются все параметры одновременно и сразу выносится заключение о годности по всем параметрам.

#### **Метрологические показатели средств измерения.**

Выбор средств измерения осуществляется исходя из точности проверяемой детали с учетом метрологических характеристик.

**Основной элемент отсчетного устройства** – шкала, по которой снимается показание.

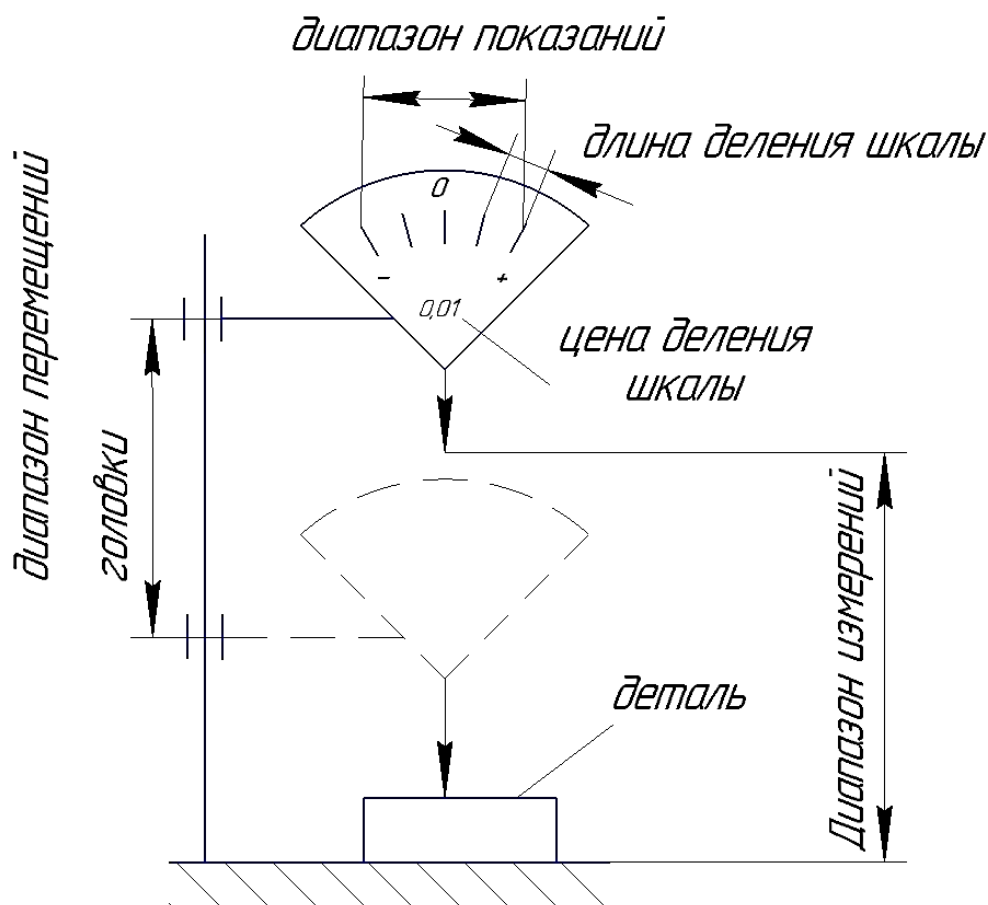


Рисунок 11.3 – Основные параметры средств измерения

**Диапазон показаний** – область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, т.е. наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины.

**Длина деления шкалы** – расстояние между осями (центрами) двух соседних отметок шкалы.

**Цена деления шкалы** – разность значений величины, соответствующая двум соседним отметкам шкалы.

**Диапазон измерений** - область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями средства измерений

**Предел измерений** – минимальное или максимальное значение диапазона измерений.

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

**Чувствительность измерительного прибора** – отношение изменения сигнала на выходе измерительного средства к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

В зависимости от величины метрологического показателей и конструкции измерительные средства подразделяются на *классы точности*.

Для точных приборов необходимо выполнение принципа Аббе: ось шкалы прибора должна располагаться на линии измерения.

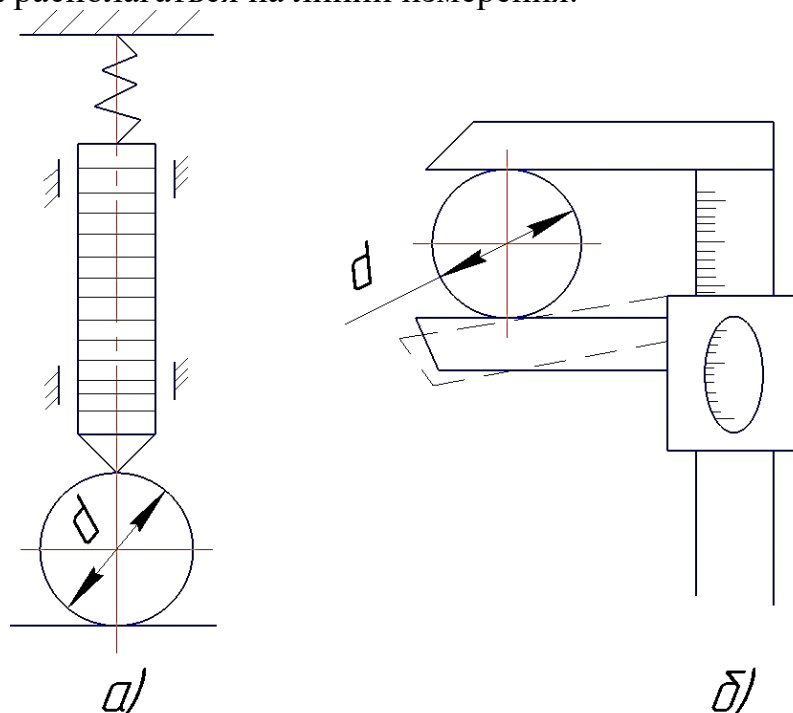


Рисунок 11.4 – К определению принципа Аббе

При несоблюдении принципа (рисунок 11.4, б) возникает большая погрешность за счет перекоса и непараллельности направляющих приборов.

При ошибках измерения возникает необнаруженный брак, который выявляется на последующих этапах производства или, что еще хуже, в процессе эксплуатации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Соломахо В.Л., Цитович Б.В., Соколовский С.С. Нормирование точности и технические измерения: Учебник для студентов учреждений высшего образования по машиностроительным специальностям. – Мн.: Высшая школа, 2015. – 367 с.
2. Марков, Н.Н., Осипов, В.В., Шабалина, М.Б. Нормирование точности в машиностроении: учебник для машиностроительных специальностей вузов / Под ред. Ю.Н. Соломенцева. 2-е изд. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 2001. – 335 с.
3. Клименков, С.С. Нормирование точности и технические измерения в машиностроении: учебник / С.С. Клименков. – Мн.: Новое знание, 2013. – 248 с.
4. Дунаев, П.Ф., Леликов, О.П. Расчет допусков размеров: Учебное пособие. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 2006. – 400 с.
5. Соломахо В.Л. Нормирование точности и технические измерения: учебное пособие для студентов вузов по машиностроительным специальностям / В.Л. Соломахо, Б.В. Цитович, С.С. Соколовский. – Минск: Издательство Гревцова, 2011. – 359 с.
6. Никифоров, А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2000. – 510 с.
7. Допуски и посадки: Справочник в 2-х частях / Под ред. М.А. Палея. – 8-е изд. – Спб.: Политехника, 2001. ч.1 – 576 с., ч.2 – 608 с.
8. Допуски и посадки: Учебное пособие. – 3-е изд. / И.И. Анухин – Спб.: Питер, 2004. – 2007 с.
9. Якушев, А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов / А.И. Якушев, Л.И. Воронцов, Н.М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 362 с.
10. Нормирование точности и технические измерения. Конспект лекций по одноименному курсу для студентов специальностей 1 – 36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса», 1 – 36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов». / А.И. Сурус, А.В. Блохин – Минск, БГТУ, 2018. – 135 с.
11. Нормирование точности и технические измерения. Методическое пособие к выполнению расчетно-графических и курсовых работ машиностроительных специальностей, 2-е изд. / В.Ф. Григорьев, Ю.А. Хоронжевский – Брест, БрГТУ, 2008. – 69 с.
12. Нормирование точности и технические измерения. Методическое пособие к лабораторным работам для студентов машиностроительных специальностей. Ч.1. Методы и средства линейно-угловых измерений. / В.Ф. Григорьев, Ю.А. Хоронжевский. – Брест, БрГТУ, 2006. – 48 с.

## **ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ**

**Методическое пособие к лабораторным работам  
по дисциплине  
«Нормирование точности и технические измерения»**

**Методическое пособие к выполнению расчетно-  
графических и курсовых работ  
по дисциплине  
«Нормирование точности и технические измерения»**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

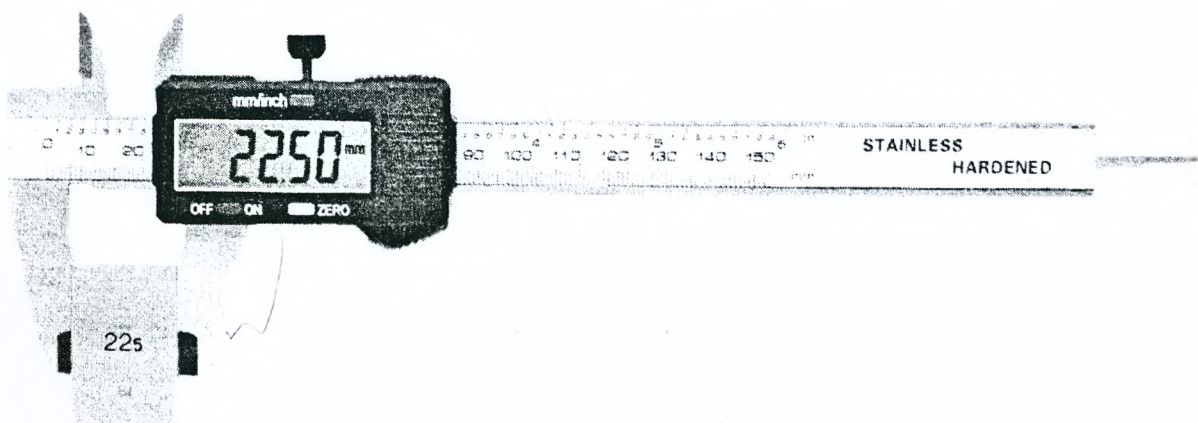
Кафедра машиноведения

# Нормирование точности и технические измерения

Методическое пособие к лабораторным работам для студентов  
машиностроительных специальностей

## ЧАСТЬ I

Методы и средства линейно-угловых измерений



Брест 2006

УДК 621.01(07)

Методическое пособие представляет первую часть цикла лабораторных работ по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения». Содержат инструкции по выполнению работ, краткое описание измерительных средств и приемы линейно-угловых измерений. Предназначены для студентов механических специальностей 1-36 01 01, 1-36 01 03, 1-37 01 06 всех форм обучения.

Одобрены на заседании кафедры и рекомендованы к изданию.

Составители: Григорьев В.Ф., доцент, к.т.н.  
Хоронжевский Ю.А., старший преподаватель

Рецензент: З.В. Кучур, руководитель лаборатории геометрических измерений  
СП ОАО «Брестгазоаппарат».

## ВВЕДЕНИЕ

В машиностроении основную долю измерений (от 60 до 95%) составляют линейно-угловые измерения. Цель настоящего пособия – познакомить студентов с наиболее распространенными измерительными приборами и приемами работы на них, а также помочь будущим инженерам-механикам оценить величины отклонений, допусков и других многообразных требований к деталям механизмов и машин.

Все работы расположены в порядке их сложности и построены по одинаковой схеме. Вначале описывается принцип действия, конструкция прибора и схема измерения. Затем излагаются приемы и порядок выполнения работы. В последней части работы строятся поля допусков, наносятся действительные размеры и дается заключение о годности проверяемого изделия. В приложениях даны необходимые для построения полей допусков табличные данные соответствующих стандартов.

В конце работ приводятся формы отчетов, занимающие обычно 1-2 тетрадных страницы. Формы отчетов размещены также в университетской локальной сети по адресу U:\meh\НТТИ\формы. При оформлении отчетов по каждой работе рекомендуется начинать с новой страницы, а на схемы измерения и на поля допусков отводить возможно больше места.

Для успешного выполнения и защиты лабораторных работ рекомендуется предварительная самостоятельная подготовка к ним по данному пособию и, при необходимости, учебнику.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Измерение наружных и внутренних размеров детали штангенинструментом

Цель работы: изучить конструкцию и метрологические характеристики штангенинструментов, приобрести навыки работы с ними.

Приборы и принадлежности: штангенприборы, объекты измерений.

Штангенприборы - группа средств измерений, отличительной особенностью которых является то, что координата одной или нескольких перемещающихся рамок отсчитывается на штриховой шкале с указателем или нониусом.

Принцип действия линейного нониуса состоит в совмещении соответствующих штрихов двух линейных шкал (подвижной и неподвижной) с различительной длиной делений (рисунок 1)

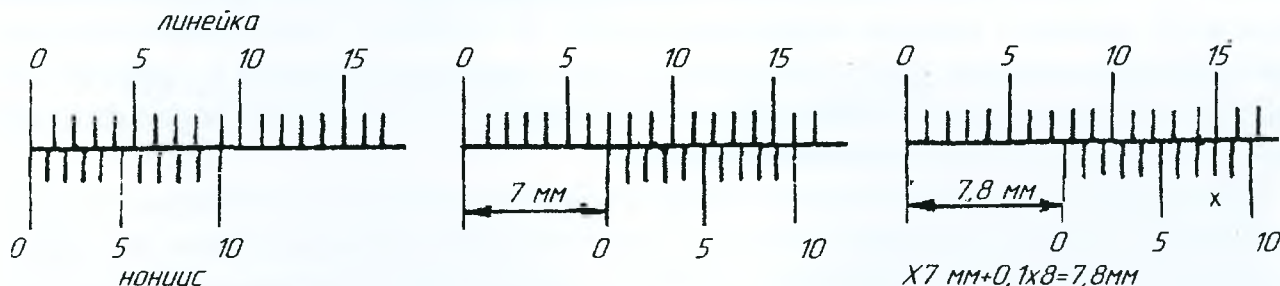


Рисунок 1 - Линейный нониусы: чтение показаний

Цена деления нониуса  $C$  (отчет по нониусу) равна цене деления основной шкалы  $A$ , разделенной на число делений нониуса  $n$ :  $C = A/n$ .

При проектировании нониусов длину деления нониуса принимают кратной длине деления основной шкалы:

$$b = \gamma \cdot a - c = \frac{\gamma \cdot n - 1}{n} \cdot a$$

где  $\gamma$  - модуль нониуса, характеризующий растянутость нониуса относительно шкалы.

Длина нониуса  $l = n \cdot b$

Указателем для отсчета по нониусу служит штрих шкалы, число долей миллиметра при отсчете по нониусу определяется по совпадению одного из штрихов нониуса со штрихом основной шкалы и равно номеру этого штриха, умноженному на цену деления нониуса.

Наиболее распространенными универсальными средствами измерений такого типа являются штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы и угломеры. Область применения тех или иных средств определяет форму измерительных поверхностей и их относительное расположение.

Штангенциркули применяют при станочных, слесарных, инструментальных работах при техническом контроле для измерения наружных и внутренних размеров деталей и разметки. Конструктивно штангенциркули различают по длине, форме губок и подвижной рамки, точности.

Штангенциркуль (рисунок 2) состоит из штанги 7 с губками 1 и 1. По штанге перемещается рамка 3 с губками 2 и 2. На основной линейной штанге нанесены миллиметровые деления, а на подвижной рамке находится вспомогательная шкала 9 — нониус.

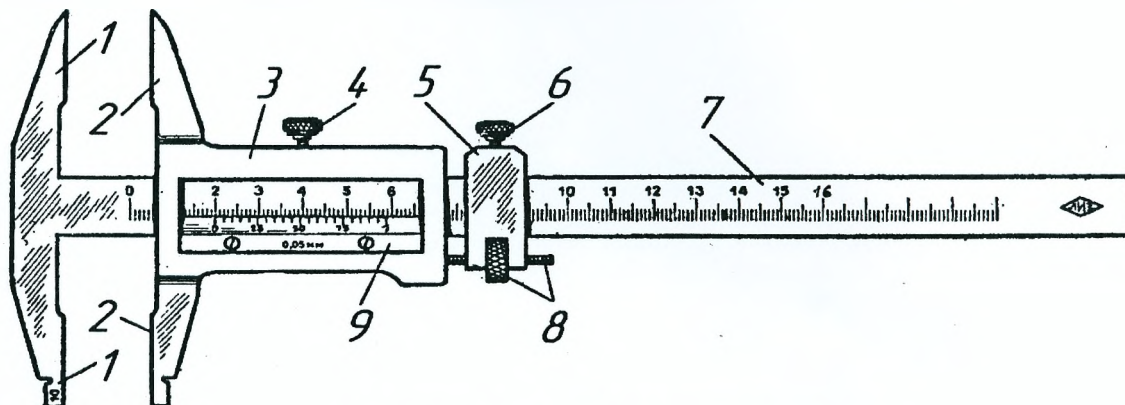
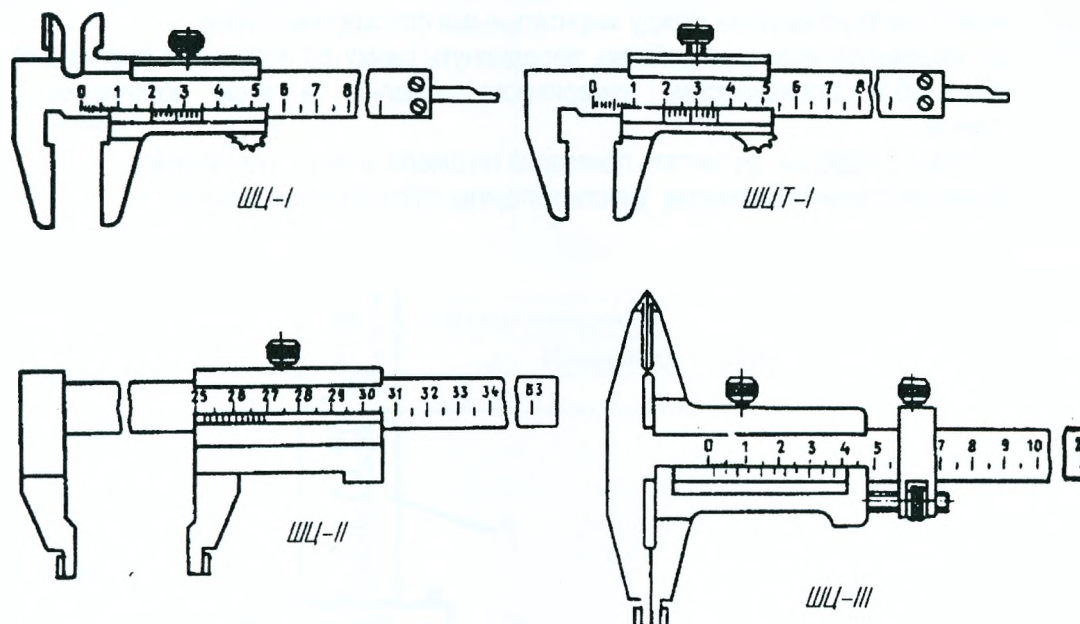


Рисунок 2 - Устройство штангенциркуля

1 - неподвижные измерительные губки, 2 - подвижные измерительные губки, 3 - рамка, 4 - зажим рамки, 5 - рамка микрометрической подачи, 6 - зажим рамки микрометрической подачи, 7 - штанга, 8 - гайка и винт микрометрической подачи рамки, 9 - нониус.

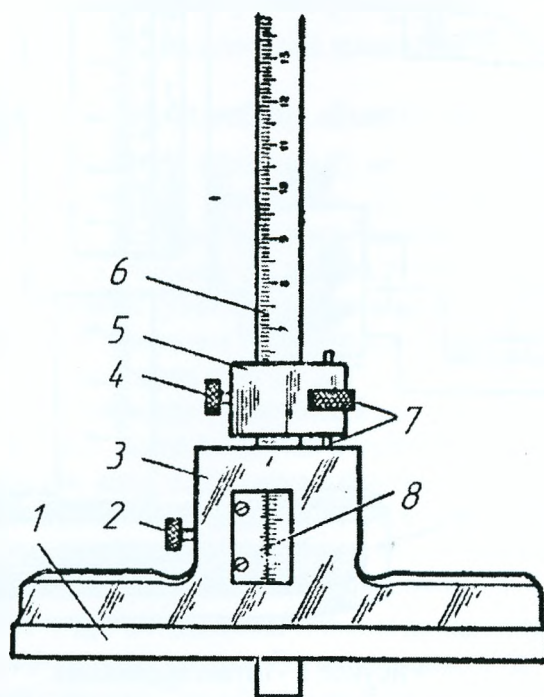
Измеряемый размер определяется по расстоянию между измерительными губками, которые имеют плоские измерительные поверхности небольшой ширины. Остальные элементы конструкции имеют вспомогательный характер, с их помощью облегчается использование штангенциркуля или расширяется область его применения. Для точной установки подвижной рамки 3 в ряде конструкций есть устройство для ее микрометрической подачи. Оно состоит из вспомогательной рамки 5 и винта 8 с гайкой микрометрической подачи. Подачу рамки осуществляют плавно, без больших усилий. Винт 6 служит для зажима вспомогательной рамки при установке на штангенциркуле размера для разметки.

Штангенциркули выпускаются четырех типов: ШЦ-1, ШЦТ-1 (ШЦТ-1 - без верхних губок и с нижними губками, оснащенными твердым сплавом), ШЦ-II и ШЦ-III (ШЦ-II без верхних губок) (рисунок 3)



**Рисунок 3 - Типы штангенциркулей**

Штангенглубиномеры предназначены для измерения глубины и высоты изделий, расстояний до буртиков и уступов. В отличие от штангенциркуля в конструкции штангенглубиномера вместо подвижной губки на рамке 3, имеющий нониус 8, сделана траверса 1, являющаяся базой (основанием) для изменения глубины. (рисунок 4)



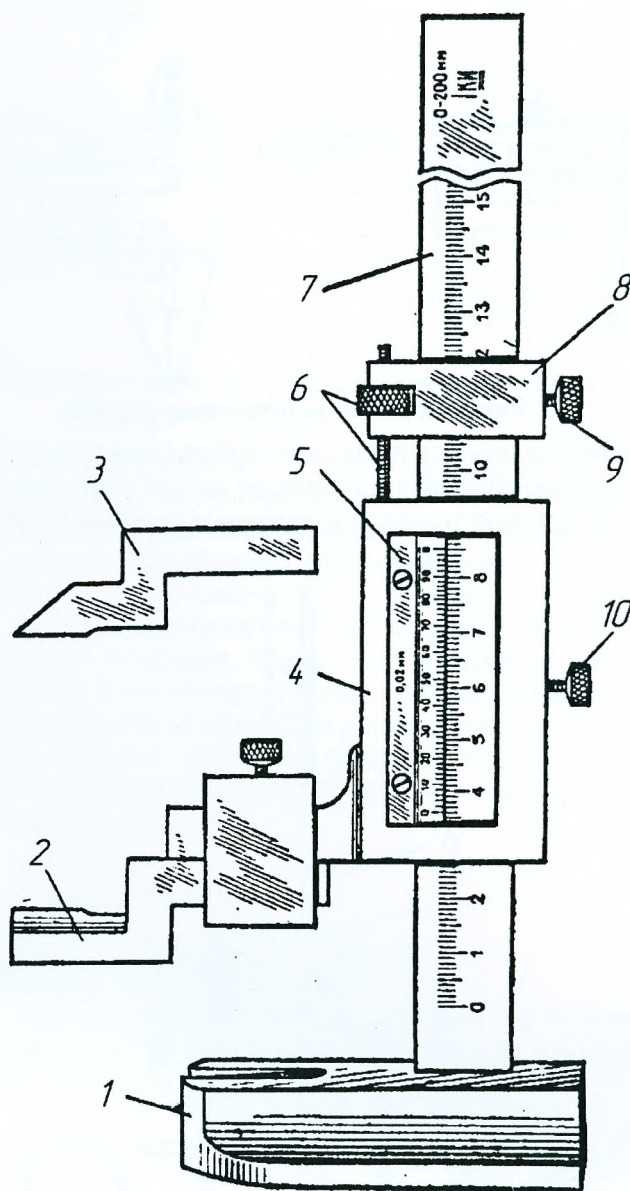
**Рисунок 4 - Штангенглубиномер**

1 – основание, 2 – зажим рамки, 3 – рамка, 4 – зажим рамки микрометрической подачи, 5 – рамка микрометрической подачи, 6 – штанга, 7 – гайка и винт микрометрической подачи, 8 - нониус

Штангенрейсмасы предназначены для разметки изделий, в отдельных случаях могут использоваться для измерения высот. В конструкции штангенрейсмаса (рисунок 5) вместо неподвижной губки штангенциркуля имеется основание 1, с помощью которого штангенрейсмас устанавливается на плите, а разметочной ножкой - к детали.

#### Порядок выполнения работы

1. Пользуясь формулами, определить величину отсчета по нониусу штангенинструментов.
  2. Измерить детали штангенинструментами. Для измерения детали штангенциркулем необходимо:
    - открепить рамку и хомут, передвинуть их вдоль штанги и расположить рамку так, чтобы измеряемую деталь можно было установить между мерительными плоскостями губок;
    - применяя микрометрическое устройство, передвинуть рамку до получения плотного прилегания поверхностей обеих губок к поверхностям измеряемого изделия; в этом положении закрепить стопорный винт рамки;
    - сняв инструмент с изделия, отсчитать показания по шкале штанги и по нониусу.
- При измерении внутренних размеров учесть толщины губок штангенциркуля.



**Рисунок 5 - Штангенрейсмас**

- 1 – основание, 2 – измерительная ножка, 3 – разметочная ножка, 4 – рамка, 5 – нониус, 6 – винт и гайка микрометрической подачи, 7 – штанга, 8 – рамка микрометрической подачи, 9 – зажим рамки микрометрической подачи, 10 – зажим рамки

### Форма отчета

| Работа 1               | Измерение деталей штангенинструментами           |                                               |                   |
|------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
| Название инструмента   | Величина отсчета<br>по нониусу $b = \frac{a}{n}$ | Модуль нониуса<br>$\gamma = \frac{L + a}{na}$ | Пределы измерения |
|                        | мм                                               |                                               |                   |
| 1 Штангенциркуль ШЦ-I  |                                                  |                                               |                   |
| 2 Штангенциркуль ШЦ-II |                                                  |                                               |                   |
| 3 Штангенглубиномер    |                                                  |                                               |                   |
| 4 Штангенрейсмас       |                                                  |                                               |                   |

Продолжение

| Название инструмента   | Результаты измерений  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------|-----------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|                        | Измеренный размер, мм |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                        |                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 Штангенциркуль ШЦ-I  |                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 Штангенциркуль ШЦ-II |                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 Штангенглубиномер    |                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 Штангенрейсмас       |                       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### Измерение углов угломерами

Цель работы: изучить конструкцию и метрологические показатели универсального угломера, приобрести навыки работы с ним.

Приборы и принадлежности: универсальный угломер, объекты измерений.

Универсальный угломер состоит из сектора 4 (рисунок 6), на котором нанесена градусная шкала, к сектору прикреплена планка 10 с измерительной плоскостью. По сектору перемещается пластинка 9 с нониусом 8 и прижимом 7. К пластинке 9 с помощью хомутика 6 можно крепить либо угольник 2, либо линейку 1. Последнюю можно крепить также к угольнику 2 с помощью хомутика 3. Для плавного поворота планки 9 рекомендуется пользоваться головкой зубчатой передачи. Головка расположена с обратной стороны нониуса. Путем различных комбинаций отдельных измерительных звеньев угломера можно осуществлять различные схемы измерения углов в интервале от 0° до 320°, хотя основная шкала угломера нанесена на дуге 130°. Углы от 0° до 50° измеряются, когда к пластинке 9 крепятся одновременно угольник 2 и линейка 1 (рисунок 7,а), углы от 50° до 140° - когда в хомутик 6 укрепляется не угольник, а линейка (рисунок 2,б); углы от 140° до 230° измеряются, когда с угольника, укрепленного в хомутике 6, снимается хомутик 3 и линейка 1 (рисунок 7,в). Углы от 230° до 320° (наружные) и соответственно от 40° до 130° (внутренние) измеряются одним угломером при снятых хомутиках, угольнике и линейке (рисунок 7,г). Механические угломеры снабжены нониусом, величина отсчета которых определяется по той же формуле, что и у нониуса штангенциркуля:  $c = a/n$ , где  $c$  - величина отсчета по нониусу;  $a$  - длина деления основной шкалы сектора;  $n$  - число делений шкалы нониуса. Величина отсчета по нониусу угломеров составляет 2' или 5', а погрешность показаний равна +/- 2' или 5' соответственно.

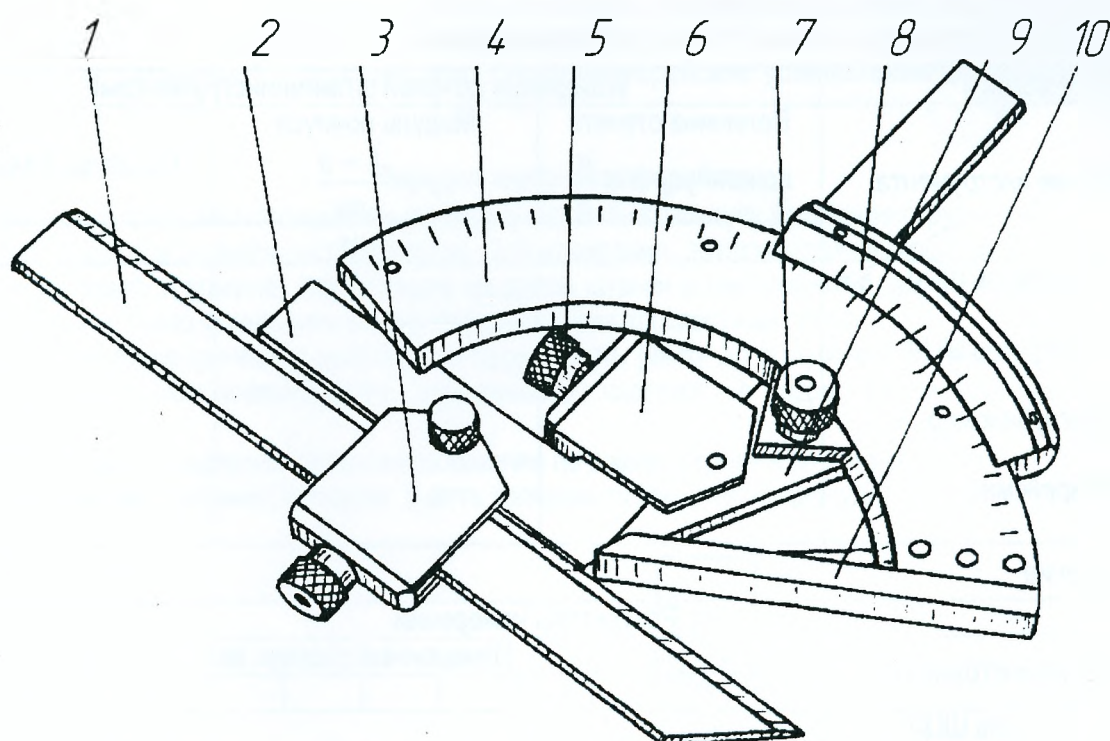


Рисунок 6- Универсальный угломер

Существуют другие конструкции угломеров (рисунок 8) и приемы измерения ими (рисунок 9).

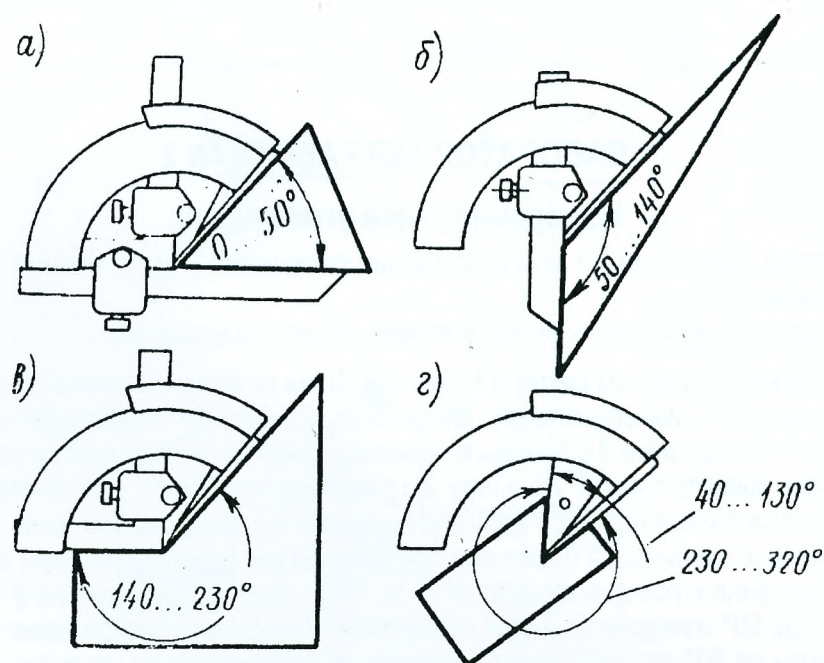
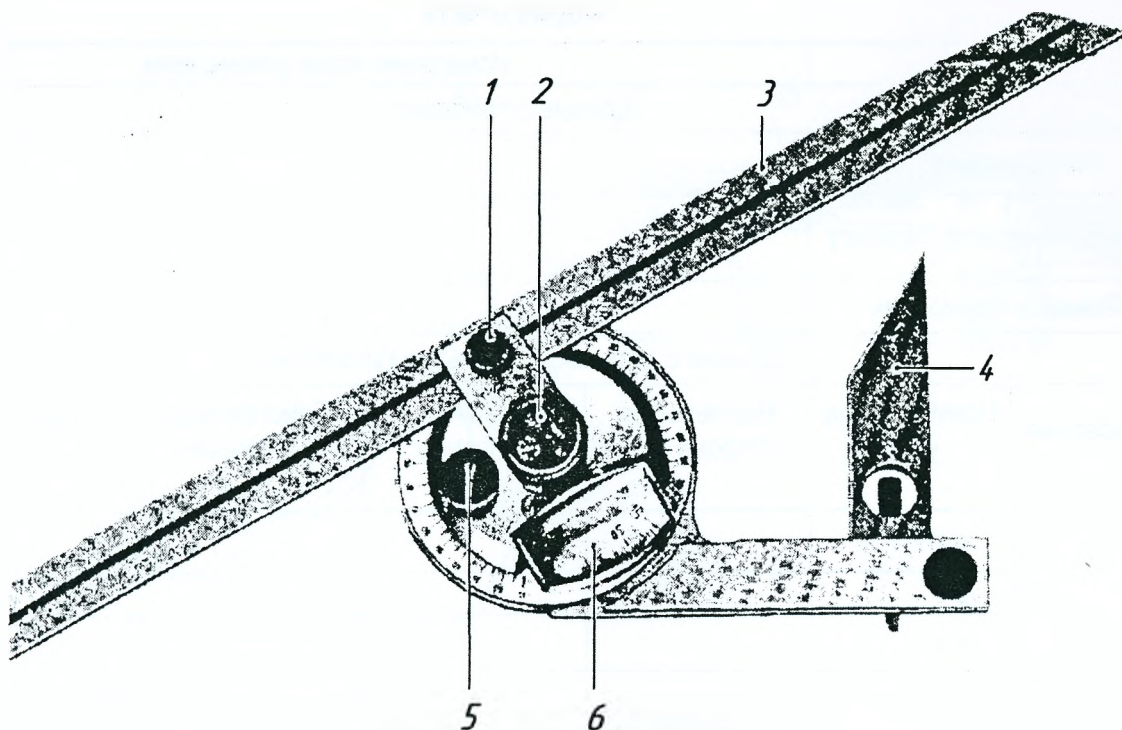


Рисунок 7 - Настройка универсального угломера

#### Порядок выполнения работы

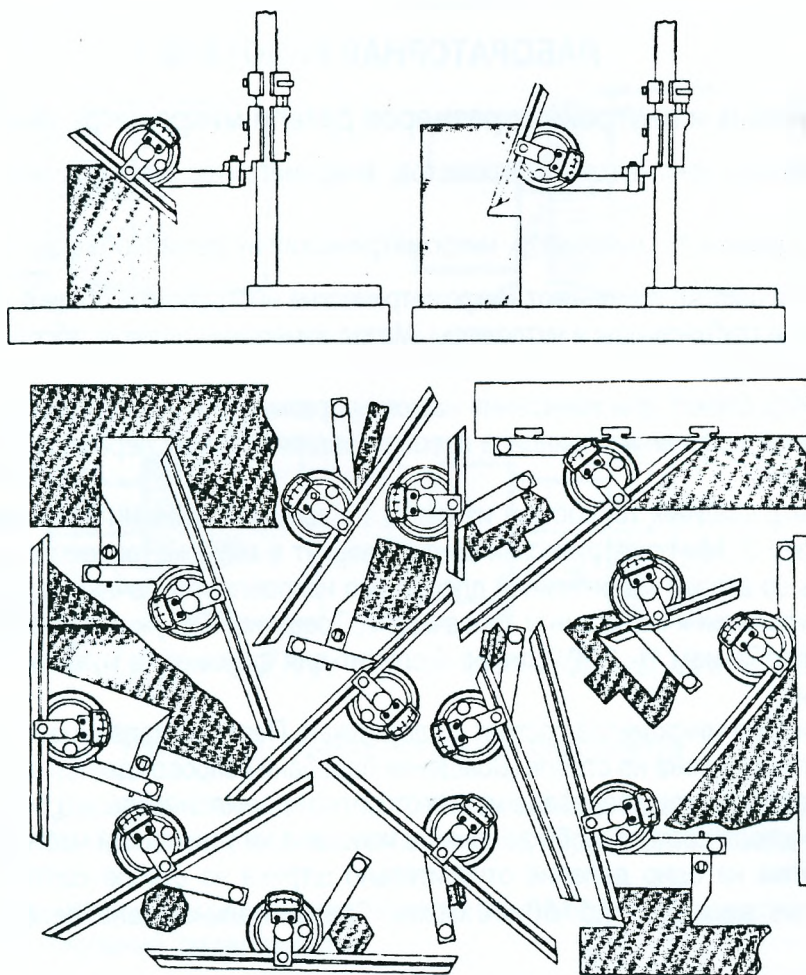
При измерении наружных и внутренних углов универсальным угломером сначала определяют на глаз значение измеряемых углов и собирают угломер по необходимой схеме. Затем несколько отпускают стопорный винт 7 (рисунок 6) и, пользуясь головкой зубчатой передачи, добиваются плотного прилегания измерительных плоскостей к детали, закрепляют винт 7 и производят отсчет.

Дать заключение о годности деталей, если они выполнены с допуском  $\pm AT9/2..$



**Рисунок 8 - Универсальный угломер фирмы «Mitutoyo»**

1- фиксатор линейки; 2- фиксатор; 3- линейка; 4- приспособление для измерения острых углов;  
5- рукоятка точной настройки; 6- увеличительное стекло;



**Рисунок 9 - Способы измерения углов**

### Форма отчета

|                                              |                  |                            |                       |                         |                           |
|----------------------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| Работа 2                                     |                  | Измерение углов угломерами |                       |                         |                           |
| Данные о приборах                            |                  |                            |                       |                         |                           |
| Наименование                                 |                  |                            |                       |                         |                           |
| Величина отсчета по нониусу                  |                  |                            |                       |                         |                           |
| Пределы измерения                            |                  |                            |                       |                         |                           |
| Данные о деталях и результаты измерения      |                  |                            |                       |                         |                           |
| Наименование                                 | Номинальные углы | Наименьшая сторона угла    | Предельное отклонение | Действительное значение | Действительное отклонение |
|                                              | $\alpha =$       |                            |                       |                         |                           |
|                                              | $\beta =$        |                            |                       |                         |                           |
|                                              | $\gamma =$       |                            |                       |                         |                           |
|                                              | $\varphi =$      |                            |                       |                         |                           |
| Схемы полей допусков и заключение о годности |                  |                            |                       |                         |                           |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Измерение наружных и внутренних размеров детали микрометрическим инструментом

Цель работы: изучить конструкцию микрометра, микрометрического нутромера, приобрести навыки работы с ними.

Приборы и принадлежности: микрометр, микрометрический нутромер, объекты измерений.

В машиностроении широко применяют микрометрические инструменты общего назначения: микрометры, микрометрические глубиномеры и нутромеры. Метод измерения прямой, абсолютный.

Измерение микрометром.

Гладкий микрометр служит для измерения наружных размеров гладких изделий и, как все микрометрические инструменты, основан на принципе преобразования угловых перемещений в линейные при помощи винтовой пары.

Гладкий микрометр (рисунок 10) состоит из скобы 1 с запрессованными в нее пяткой 2 с мерительной плоскостью и стеблем 3. Микрометрический винт 5 ввернут в микрометрическую гайку стебля, а его цилиндрическая часть со второй мерительной плоскостью направляется точным отверстием в левой части стебля. Барабан 6 крепится к микровинту колпачком 7. Трещетка 8 служит для обеспечения постоянного усилия (5 - 9 Н с колебанием  $\pm 1$  Н). Стопор 4 служит для фиксации в нужном положении микровинта относительно скобы.

Отсчетное устройство микрометра состоит из двух шкал. Первая шкала с ценой деления 0,5 мм, равной шагу микровинта, нанесена на стебле. Вращение барабана сопровождается его перемещением вдоль стебля. Таким образом, по торцу барабана можно отсчитывать миллиметры и 0,5 миллиметра.

Вторая круговая шкала состоит из 50 делений и нанесена на конической части барабана. Поворот барабана с микровинтом на одно деление относительно штриха на стебле соответствует перемещению торца микровинта на величину  $0.5/50 = 0.01$  мм. Следовательно, цена деления микрометра равна 0,01 мм.

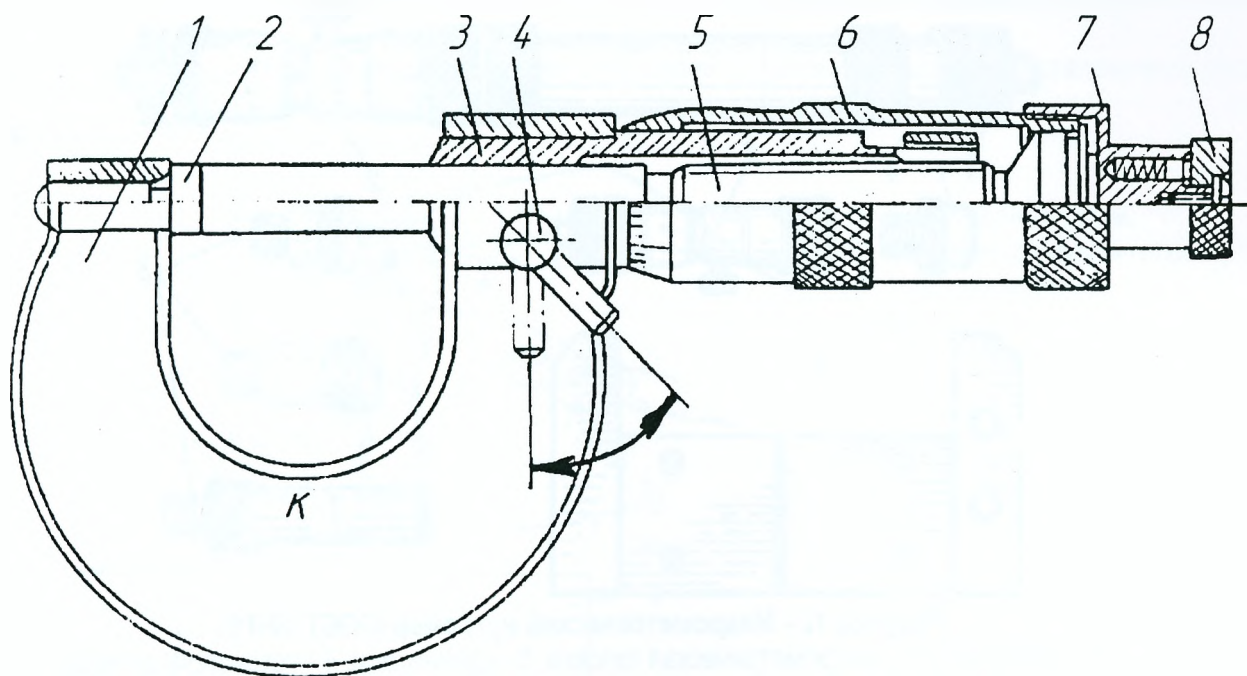


Рисунок 10 - Гладкий микрометр

Пределы измерения микрометра зависят от размеров скобы и измерительного перемещения микро-винта. Гладкие микрометры для измерения размеров до 300 мм выпускают с пределами измерения 0 — 25, ..., 275 - 300 мм, т.е. через 25 мм, а для размеров свыше 300 мм - через 100 мм. Порядок определения размера микрометром показан на рисунке 11.

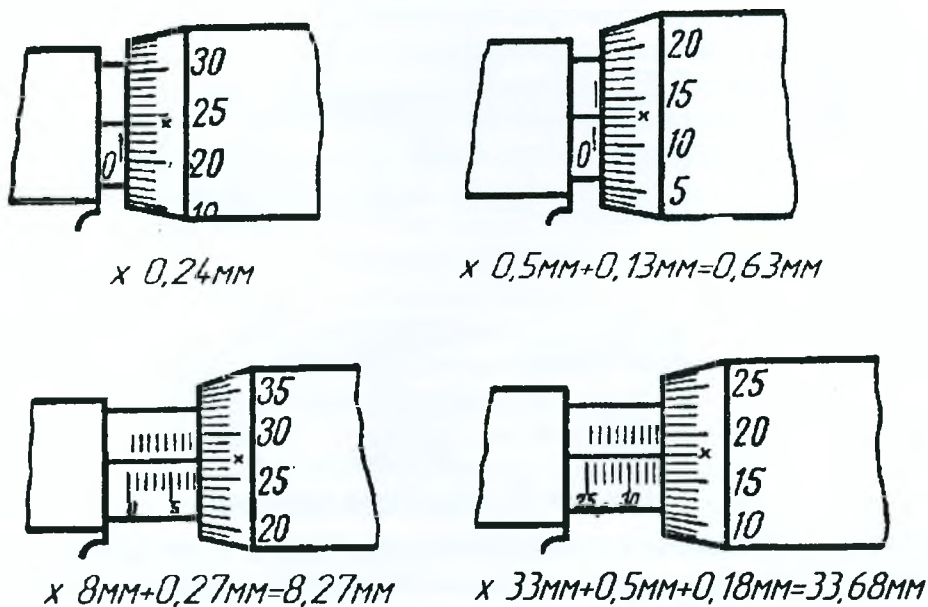
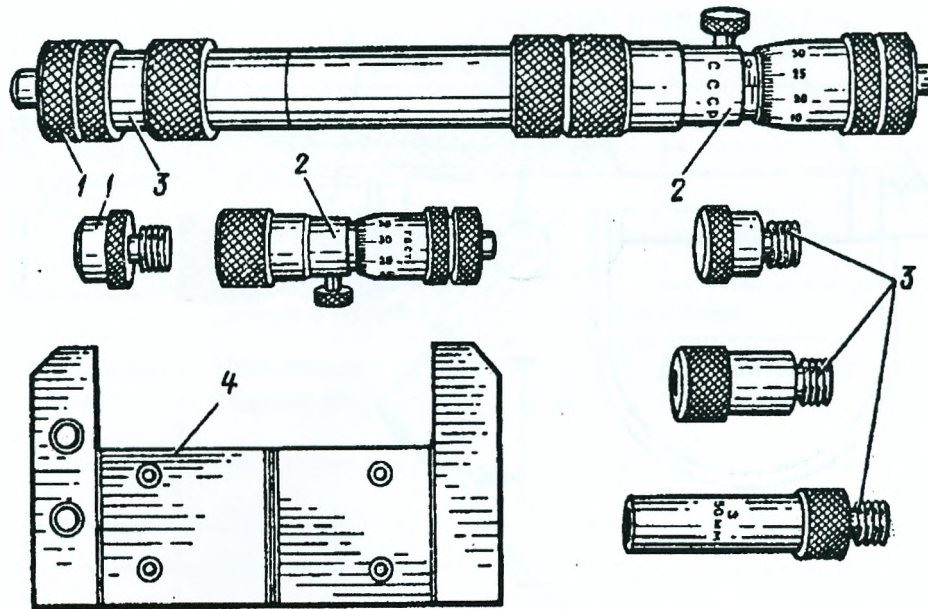


Рисунок 11- Чтение показаний микрометра

Целое число миллиметров и половину миллиметра отсчитывают краем скоса барабана по шкале стебля. Сотые доли миллиметра определяют по порядковому номеру штриха барабана, совпадающего с продольным штрихом стебля.

Скос на барабане для шкалы сотых долей миллиметров приближает ее к шкале стебля, предохраняет от искажений при чтении показаний (параллакса).

## Измерение микрометрическим нутромером

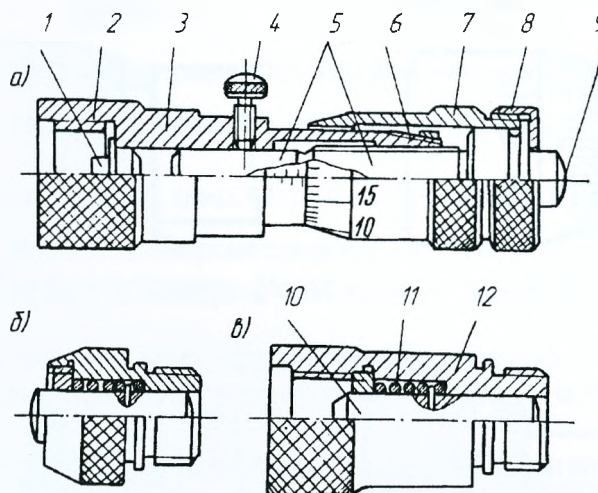


**Рисунок 12 - Микрометрический нутромер (ГОСТ 10-75)**

1 – наконечник, 2– микрометрическая головка, 3– удлинители, 4 - установочная мера.

Микрометрические нутромеры (рисунок 12) изготавливаются с пределами измерений 50 - 75, 75 - 175, 150 - 1250, 800 - 2500, 1250 - 4000, 2500 - 6000, 4000 - 10000 мм.

Прибор состоит из микрометрической головки, наконечника и сменных удлинителей. К микрометрическому винту 5 (рисунок 4), имеющему одну мерительную сферическую поверхность 9, при помощи колпачка 8 присоединяется барабан 7, на скошенной части которого нанесено 50 делений (цена деления барабана 0,01 мм).



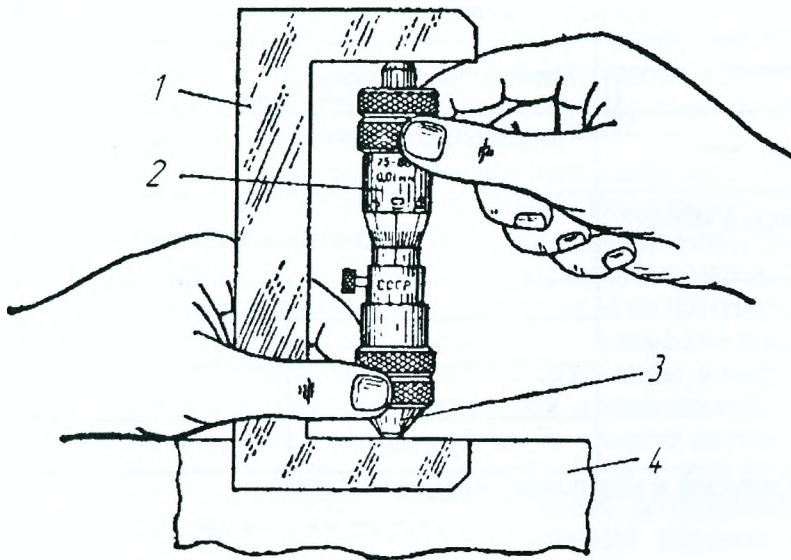
**Рисунок 13- Устройство нутромера**

Микрометрический винт ввинчивается в микрометрическую гайку 6 и центрируется по калиброванному отверстию в стебле 3. В нужном положении микровинт может быть закреплен стопорным винтом 4. По наружной цилиндрической поверхности 2 нанесены деления, равные шагу микровинта (на рисунке 13 показание прибора равно 2,68 мм). В левой части стебля запрессована пятка 1 со второй мерительной поверхностью, а также нарезана внутренняя резьба 2. В эту резьбу ввинчивается или наконечник (13, б), без которого вообще нельзя производить измерения, или удлинители (рисунок 13, в), предназначенный для увеличения пределов измерения нутромера.

Удлинитель состоит из стержня 10 определенной длины (13, 25 и 50 мм), заключенного в трубку 12, и пружины 11, необходимой для обеспечения постоянного давления при свинчивании удлинителя с микрометрической головкой. Внутренняя резьба трубки служит для присоединения наконечника, а наружная резьба - для ввинчивания микрометрической головки. Комбинация удлинителей в сочетании с микрометрической головкой и наконечником дает возможность менять пределы измерения нутромера от 75 до 175 мм.

Погрешность нутромера несколько выше, чем погрешность микрометра, так как первый не имеет устройства, обеспечивающего постоянство мерительного усилия. Допустимая погрешность показания нутромера  $\pm 0,008$  мм.

Перед началом работы нутромером проверяется нулевое положение с помощью установочной меры (рисунок 14).



- 1 - установочная мера,
- 2 - микрометрическая головка,
- 3 - наконечник,
- 4 - футляр.

**Рисунок 14 - Проверка нулевого положения микрометрического нутромера**

#### **Порядок выполнения работы**

После знакомства с устройством измерительных инструментов необходимо заполнить форму отчета, приведенную в конце методических указаний.

Перед измерением микрометром и микрометрическим нутромером необходимо проверить правильность их установки на нуль. Для этого (перед измерением микрометром) вращением барабана за трещотку (при отпущенном стопоре) добиться контакта мерительных плоскостей. При проверке микрометров с пределами измерения 25 - 50 мм и более между мерительными плоскостями должны устанавливаться концевые или другие специальные меры. После трехкратного прощелкивания закрепить микровинт стопором и проверить совпадение нулевого штриха круговой шкалы барабана с продольным штрихом на стебле и в случае несовпадения установить на нуль в следующем порядке:

- отсоединить барабан от микровинта, для этого, держа барабан за накатанную часть, слегка повернуть колпачок 7 (рисунок 10); повернуть отсоединенный барабан до совпадения штриха круговой шкалы с продольным штрихом на стебле; удерживая микрометр за барабан, затянуть колпачок до отказа;
- отпустить стопор, повернуть барабан против часовой стрелки на 3 оборота и вновь проверить правильность установки на нуль. В случае необходимости повторить установку.

Для проверки установки микрометрического нутромера на нуль необходимо повернуть удлинитель, отпустить стопорный винт 4 (рисунок 13). Нутромер ввести между поверхностями установочной меры (скобы) и вращая микровинт, добиваться контакта с мерительными плоскостями (рисунок 14). Слегка покачивая прибор, отыскать кратчайшее расстояние. Закрепить стопорный винт. Если нулевое деление барабана не совпадает с продольным штрихом, то отпустив колпачок 8, освободить барабан 7 (при отвертывании колпачка микрометрическую головку следует держать только за барабан), а затем повернуть барабан до совпадения деления с продольным штрихом и закрепить. Проверить правильность установки.

Порядок измерения нутромером:

- измерить диаметр отверстия масштабной линейкой и повернуть к микрометрической головке необходимые удлинители;
  - ввести нутромер в проверяемое отверстие и произвести трехкратное измерение; при измерении, покачивая нутромер, установить его по диаметру (максимальное показание);
  - дать заключение о годности, если отверстие выполнено с допуском, указанным преподавателем.
- Заполнить форму отчета.

### Форма отчета

| Работа 3                                                      |  | Измерение размеров микрометрическим инструментом |  |
|---------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------|--|
| Данные о приборе                                              |  | Данные о детали                                  |  |
| Наименование                                                  |  | Наименование                                     |  |
| Цена деления                                                  |  | Номинальный размер                               |  |
| Пределы измерения                                             |  | Предельные отклонения                            |  |
| Схема отсчетного устройства нутромера в момент снятия отсчета |  | Показания прибора                                |  |
|                                                               |  | 1                                                |  |
|                                                               |  | 2                                                |  |
|                                                               |  | 3                                                |  |
|                                                               |  | Среднее                                          |  |
| Схема полей допусков и заключение о годности детали           |  |                                                  |  |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Измерение размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей относительным методом. Плоскопараллельные концевые меры длины

Цель работы: изучить устройство индикаторной скобы, научиться производить измерения при помощи данного инструмента; научиться применять плоскопараллельные концевые меры длины.

Принадлежности: индикаторная скоба, набор плоскопараллельных концевых мер длины, измеряемые детали.

Индикаторная скоба предназначена для измерения наружных размеров цилиндрических деталей относительным методом.

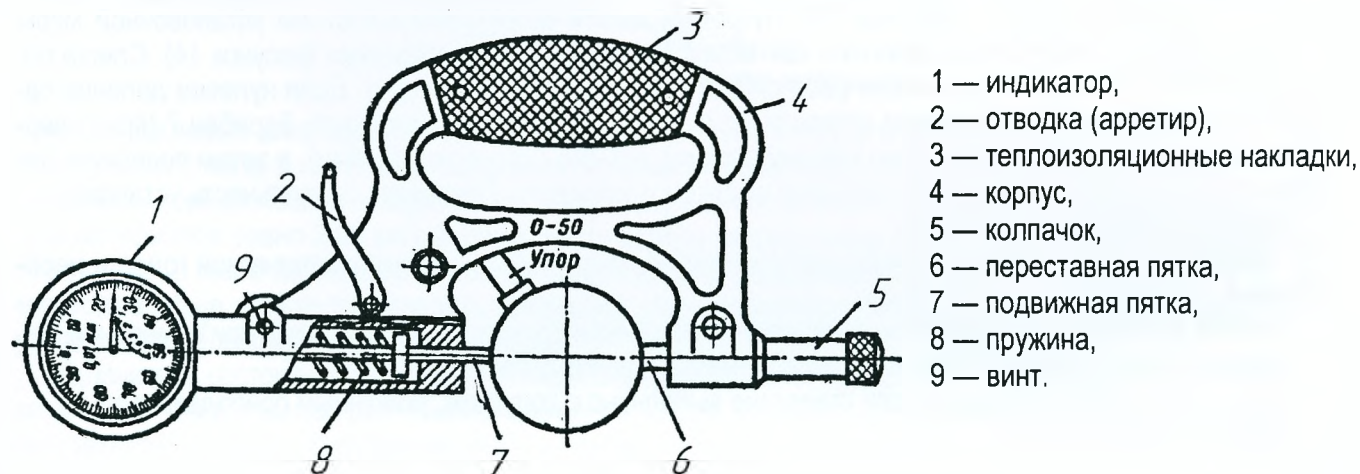


Рисунок 15 - Индикаторная скоба (ГОСТ 11098-75)

Состоит из корпуса 4 (рисунок 15), в котором могут перемещаться две измерительные пятки - подвижная 7 и неподвижная (переставная) 6. Первая передает перемещение на измерительный стержень индикатора типа 1, который устанавливается в корпус с помощью фиксатора. Неподвижная пятка фиксируется при настройке скобы на размер в требуемом положении винтом (величина ее перемещения в установочном отверстии корпуса примерно 50 мм). Измерительная пятка может переводиться в крайнее положение, соответствующее наибольшему размеру для данной настройки, специальным рычагом арретиром 2).

Этим рычагом пользуются во время измерений, когда надвигают скобу на деталь. Для удобства проведения измерений, индикаторная скоба снабжена упором, который расположен под углом к оси измерительных пяток. Этот упор устанавливается таким образом, что при касании его с деталью, измерение производится по диаметру детали, а не по хорде.

Индикаторные скобы выпускаются с пределами измерений 0...50, 50...100, 100...200 и т.д.

Концевые плоскопараллельные меры длины представляют собой стальные прямоугольные бруски (рисунок 16), размер которых определяется расстоянием между двумя рабочими плоскостями при температуре 20 С. Согласно ГОСТ 9038-83, за длину концевых мер принимается длина перпендикуляра, опущенного от одной из измерительных поверхностей на ее противоположную измерительную поверхность – срединная длина. Разность между наибольшей и наименьшей длинами концевой меры определяет величину отклонения от плоскопараллельности концевой меры, а наибольшая по абсолютному значению разность между длиной меры в одной точке (любой) и номинальной длиной принимается за величину отклонения длины меры от номинального размера. По точности изготовления концевые меры длины, согласно ГОСТу 9038-83, делятся на классы точности: 00; 01; 0; 1; 2; 3. Класс 00 самый точный. В стандарте приведены допускаемые отклонения концевых мер от номинального значения и от плоскопараллельности поверхностей для каждого класса в зависимости от номинального значения длины концевой меры.

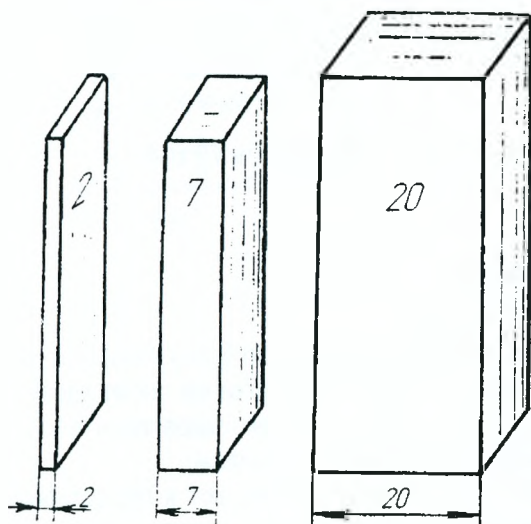


Рисунок 16 – Концевые меры длины

Характерной особенностью плоскопараллельных концевых мер длины является притираемость их друг к другу измерительными поверхностями. Под притираемостью понимается способность меры прочно сцепляться рабочими поверхностями при наведении одной меры на другую. Усилие сдвига одной меры относительно другой в условиях эксплуатации должно составлять не менее 30Н. Притираемость мер дает возможность из одного набора мер составлять комбинации размеров.

В зависимости от погрешности аттестации мер установлены разряды мер. Для каждого из пяти разрядов обусловлены определенные методы и средства измерения.

Согласно ГОСТ 9038-83, выпускается 21 набор концевых мер (от 4 до 112 мер в наборе). Наиболее широко применяется набор №1, состоящий из 83 мер (см. таблицу 1).

Таблица 1

| Размеры, мм |      | Градация, мм | Количество мер в наборе |
|-------------|------|--------------|-------------------------|
| ОТ          | ДО   |              |                         |
| 1,01        | 1,49 | 0,01         | 49                      |
| 1,5         | 1,9  | 0,1          | 4                       |
| 0,5         | 9,5  | 0,5          | 19                      |
| 0,5         | 9,5  | 0,5          | 19                      |
| 10          | 100  | 10           | 10                      |
| 1,005       | —    | —            | 1                       |

С целью сохранения рабочих поверхностей концевых мер выпускают защитные меры, в отличие от основных мер имеют с одного края закругленные ребра или срез.

Для наиболее широкого использования концевых мер к ним выпускаются наборы принадлежностей. В эти наборы входят различные бочковички: плоскопараллельные, радиусные (рисунок 17), центровые и чертильные, а также державки (струбцины) для укрепления блоков концевых мер с боковичками (рисунок 18). Из плиток и радиусных боковичков с помощью струбцин можно собрать однопредельные скобы и неполные для пробки для непосредственных измерений наружных и внутренних размеров деталей. Приступая к работе

с концевыми мерами длины, следует предварительно рассчитать, какие меры нужно взять для данного блока. Количество мер в блоке должно быть минимальным, так как погрешность блока складывается из погрешностей отдельных мер. Расчет мер на нужный размер необходимо начать с подбора меньших мер, размер которых содержит последний знак десятичной дроби составляемого размера.

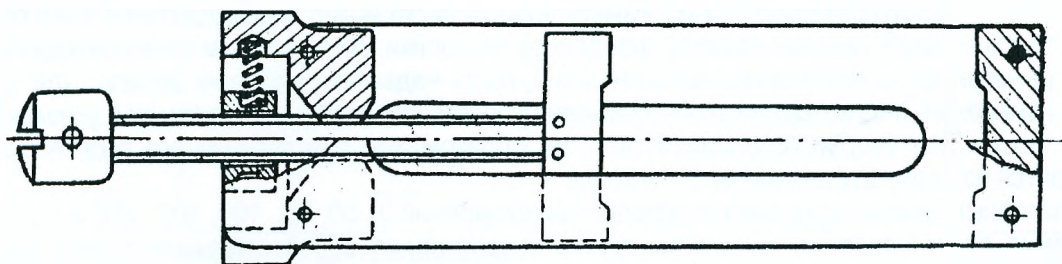


Рисунок 18 – Струбцина

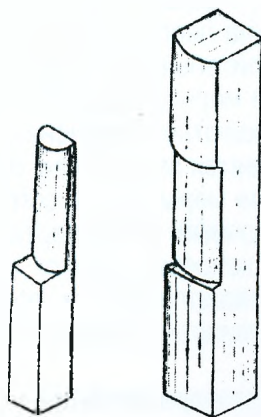


Рисунок 17 - Боковички

Пример: Требуется составить блок мер размером 79,985:

|                              |       |
|------------------------------|-------|
| первая мера, входящая в блок | 1,005 |
| остаток                      | 78,98 |
| вторая мера                  | 1,48  |
| остаток                      | 77,5  |
| третья мера                  | 7,5   |
| остаток, т.е. четвертая мера | 70    |

Таким образом, в блок войдут меры 1,005; 1,48; 7,5; и 70 мм.

### Порядок выполнения работы

#### Измерение индикаторной скобой

Настроить индикаторную скобу на нуль. Индикаторная скоба настраивается на нуль по блоку концевых мер перемещением переставной пятки. Необходимо только при установке переставной пятки ее после касания обеих пяток с блоком концевых мер по направлению к индикатору на 1,5...2 мм, после чего закреплять винтом. Затем выполняется поворот шкалы индикатора до совмещения нулевого деления со стрелкой.

Выполнить измерение детали в трех различных сечениях. Деталь слегка прижимают к переставной пятке. Покачиванием устраняют перекося, т.е. определяют правильное положение измерительных поверхностей относительно проверяемых.

Масса скобы не должна передаваться на подвижную пятку.

Данные измерений занести в форму отчета. Дать заключение о годности детали, если наружный размер должен быть выполнен по h8, d8, js9, d9, h10, d11 и др. (указываются преподавателем). Построить схему расположения полей допусков.

#### Контрольные вопросы:

1. В чем сущность относительного метода измерений?
2. Расскажите устройство индикаторной скобы.
3. Как настраивается индикаторная скоба на нуль?
4. Расскажите о плоскопараллельных концевых мерах длины

#### Форма отчета

| Работа 4              |  | Измерение наружного диаметра скобой |    |  |
|-----------------------|--|-------------------------------------|----|--|
| Данные о приборе      |  | Данные о детали                     |    |  |
| Наименование          |  | Наименование                        |    |  |
| Цена деления, мм      |  | Номинальный размер, мм              |    |  |
| Пределы измерения, мм |  | Предельные отклонения, мкм          | es |  |
|                       |  |                                     | ei |  |

Продолжение

| Размеры набранного блока А, мм                      |   | Показания прибора, Δх, мм | Измеренный диаметр,<br>$d = A + \Delta x$ , мм |
|-----------------------------------------------------|---|---------------------------|------------------------------------------------|
|                                                     | 1 |                           |                                                |
|                                                     | 2 |                           |                                                |
|                                                     | 3 |                           |                                                |
|                                                     |   |                           |                                                |
| Схема полей допусков и заключение о годности детали |   |                           |                                                |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

### Измерение диаметра отверстия индикаторным нутромером

Цель работы: изучить устройство и получить навыки измерения индикаторным нутромером.

Приборы и принадлежности: нутромер индикаторный, плоскопараллельные концевые меры длин с набором принадлежностей.

Индикаторный нутромер служит для измерения внутренних размеров цилиндрических изделий.

Индикаторный нутромер представляет собой сочетание индикатора 1 (рисунок 19) с рычажной трубкой 2 и принадлежит к группе сравнительных измерительных приборов. Набором из десяти индикаторных нутромеров можно измерять диаметры от 6 до 1000 мм. Каждый нутромер охватывает определенный диапазон диаметров, в частности: 6-10, 10-18, 18-35, 35-50, 50-100, 100-160 мм и т. п.

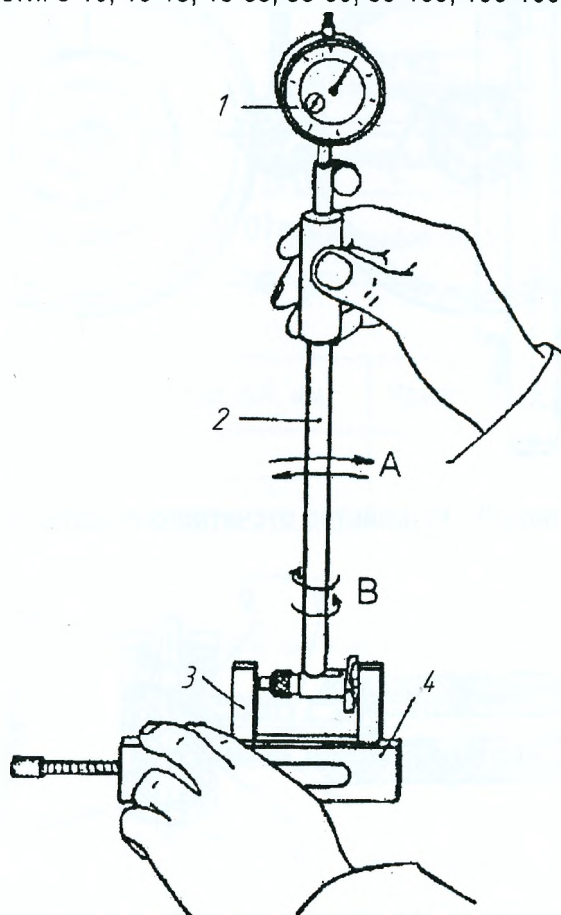


Рисунок 19-Индикаторный нутромер

Предельная погрешность показаний индикаторного нутромера не должна превышать 0,012-0,020 мкм в зависимости от пределов измерения.

В комплект каждого нутромера входит набор измерительных штифтов и шайб, применяемых в соответствии с измеряемым диаметром. Размеры сменных штифтов обычно отличаются друг от друга на 5 мм, сменные шайбы равны 0,5; 1; 2 и 3 мм.

Отсчетным устройством является индикатор часового типа, принципиальная схема которого представлена на рисунке 20. Как следует из приведенной схемы, перемещение измерительного наконечника, имеющего в средней части зубчатую рейку, передается через шестерни Z2 и Z3, которые сидят на одной оси с малой стрелкой 3, шестерне Z1, несущей большую стрелку 4. Один оборот большой стрелки соответствует перемещению измерительного наконечника на 1 мм. Шкала у большой стрелки имеет 100 делений, поэтому цена деления этой шкалы будет равна 0,01 мм. Целые миллиметры отсчитываются малой стрелкой. Шестерня Z4 со спиральной пружиной 5 обеспечивают работу зубчатой передачи прибора по одной стороне профиля зубьев, т. е. устраняется мертвый ход. Винтовая пружина 2 создает измерительное усилие.

Рычажная трубка 4 (рисунок 21) оканчивается тройником 3, в котором находятся два штифта: измерительный 10 и неподвижный 2. Перемещение измерительного штифта через рычаг 9 и стержни 8 и 6 действует на индикатор, закрепленный с другого конца трубки стопорным винтом 7. Пружина 5 обеспечивает постоянство мерительного усилия и надежный контакт стержней. Сменный штифт 2 неподвижно закрепляется в тройнике гайкой 1. Со стороны подвижного штифта 10 имеется центрирующий мостик 11, необходимый для установки нутромера в положение, при котором оси штифтов будут располагаться не по хорде, а по диаметру измеряемого отверстия.

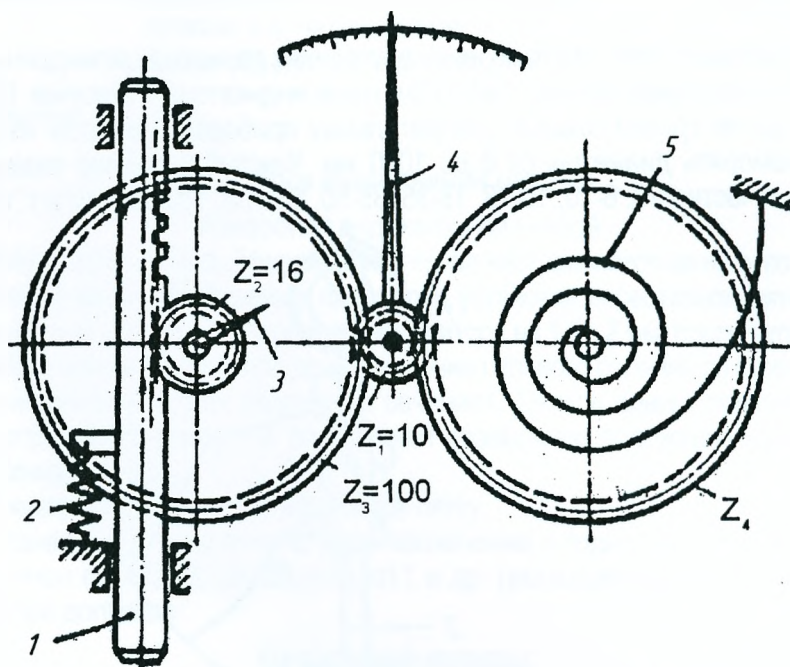


Рисунок 20 - Устройство отсчетного приспособления

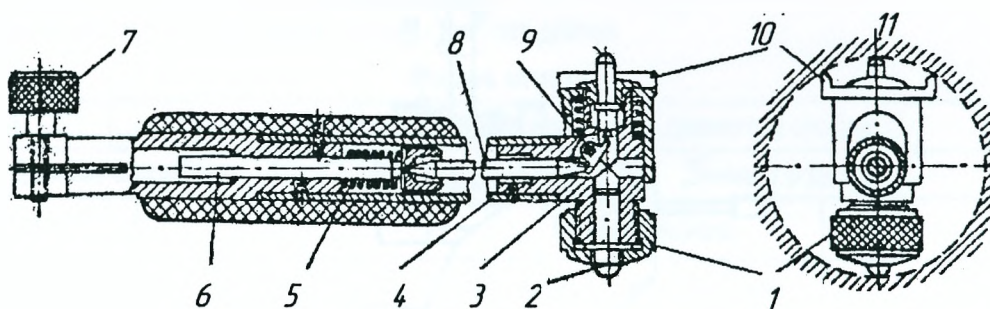


Рисунок 21 - Рычажная трубка и тройник

### Порядок выполнения работы

Измерить штангенциркулем диаметр контролируемого отверстия, если не указан номинальный размер измеряемой детали.

Подобрать сменный штифт и сменные шайбы так, чтобы их суммарный размер (согласно маркировке) отличался от размера, определенного штангенциркулем, не более чем на 0,5-1 мм, и установить их в тройник. Для этого отвинтить гайку 1, вставить в гнездо тройника сменный штифт, с предварительно одетыми на него сменными шайбами и закрепить их гайкой.

Установить в гнездо рычажной трубки индикатор так, чтобы при этом большая стрелка повернулась на 1 оборот. В этом положении закрепить индикатор винтом.

В соответствии с номинальным диаметром отверстия набрать блок плиток, притереть к ним боковички 3 и зажать в струбцину 4 (см. рисунок 19).

Настроить индикаторный нутромер на нуль. Для этого поместить мерительные наконечники индикаторного нутромера между боковичками; покачивая нутромер по стрелке А и поворачивая его по стрелке В, найти положение, при котором будет наименьшее показание индикатора. В этом положении повернуть циферблат индикатора до совмещения нулевого деления со стрелкой.

Измерить диаметр отверстия детали. Для этого наклонить нутромер относительно отверстия в сторону центрирующего мостика, ввести его в этом положении в измеряемое отверстие, а затем расположить ось трубки нутромера параллельно оси отверстия. Покачивая прибор, найти положение, соответствующее наименьшему показанию индикатора. Произвести отсчет. Следует иметь в виду, что отклонение стрелки от нуля "по часовой стрелке" указывает на уменьшение размера. Измерение выполнить три раза в трех различных сечениях.

Дать заключение о годности детали, если отверстие должно быть изготовлено по К6, М7, Н8, Js7 и др. (указывается преподавателем).

Заполнить форму отчета.

### Форма отчета

| Работа 5          |  | Измерение диаметра отверстия нутромером |    |  |
|-------------------|--|-----------------------------------------|----|--|
| Данные о приборе  |  | Данные о детали                         |    |  |
| Наименование      |  | Наименование                            |    |  |
| Цена деления      |  | Номинальный размер                      |    |  |
| Пределы измерения |  | Предельные отклонения                   | ES |  |
|                   |  |                                         | EI |  |

Продолжение

| Размеры набранного блока $A$ , мм            | Показания прибора, $\Delta X$ , мм |  | Измеренный диаметр, $D = A + \Delta X$ , мм |
|----------------------------------------------|------------------------------------|--|---------------------------------------------|
|                                              | 1                                  |  |                                             |
|                                              | 2                                  |  |                                             |
|                                              | 3                                  |  |                                             |
|                                              |                                    |  |                                             |
| Схема полей допусков и заключение о годности |                                    |  |                                             |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Измерение радиального, торцевого биений и погрешности формы вала

Цель работы: определить численные значения отклонений формы и расположения поверхностей вала.

Приборы и принадлежности: приспособление для измерения биений, отклонений формы.

Радиальным биением согласно ГОСТ 24642-81 называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной поверхности до базовой оси вращений в сечении, перпендикулярном к этой оси. Радиальное биение является результатом смещения центра (эксцентриситета) рассматриваемого сечения относительно оси вращения (эксцентриситет вызывает вдвое большее по величине радиальное биение) и некруглости.

Торцевым биением называется разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек реальной торцевой поверхности, расположенных на окружности заданного диаметра, до плоскости, перпендикулярной к базовой оси вращения. Если диаметр не задан, то торцевое биение определяется на наибольшем диаметре торцевой поверхности.

Торцевое биение является результатом отклонения от перпендикулярности торцевой поверхности к базовой оси и отклонений формы торца по линии измерения.

Таким образом, погрешности взаимного расположения, в том числе и биение, должны задаваться конструктором и контролироваться от баз (база -совокупность поверхностей, линий и точек, по отношению к которым определяется расположение рассматриваемой поверхности).

Очевидно, что контроль биений необходимо проводить относительно тех поверхностей, которыми деталь базируется в механизме.

Базовыми поверхностями у валов могут быть:

одна цилиндрическая поверхность (консольный вал); в этом случае биения всех остальных цилиндрических поверхностей должны определяться при установке детали на призму данной базовой поверхностью;

две цилиндрические поверхности (двухопорный вал); в этом случае биения всех остальных поверхностей должны задаваться и контролироваться относительно так называемой оси, проходящей через середины осей двух базовых поверхностей. В этом случае при контроле биений вал должен устанавливаться на две узкие призмы серединами базовых шеек.

Однако на практике конструкторы и контроллеры довольно часто отходят от этих принципиально правильных схем, а задают и контролируют биения относительно центровых отверстий детали.

Центровые отверстия являются вспомогательной технологической базой, и такой метод контроля оправдан только на операциях предварительной обработки.

Отклонение формы в общем случае характеризуется наибольшим расстоянием между реальным и прилегающим геометрическим профилем. В поперечном сечении вала обычно рассматривают некруглость или овальность и огранку.

Таблица 2 - Отклонение формы и расположения поверхности вала

| Пример обозначения по ГОСТ 2.308-79        |  | Схема измерения |                 |
|--------------------------------------------|--|-----------------|-----------------|
| Радиальное биение относительно оси центров |  |                 |                 |
| Торцевое биение относительно оси центров   |  |                 | Торцевое биение |
| Радиальное биение относительно общей оси   |  |                 |                 |

|                                                  |  |  |
|--------------------------------------------------|--|--|
| Торцовое биение относительно общей оси           |  |  |
| Радиальное биение относительно оси базовой шейки |  |  |
| Торцовое биение относительно оси базовой шейки   |  |  |
| Отклонение от круглости, овальности, огранки     |  |  |

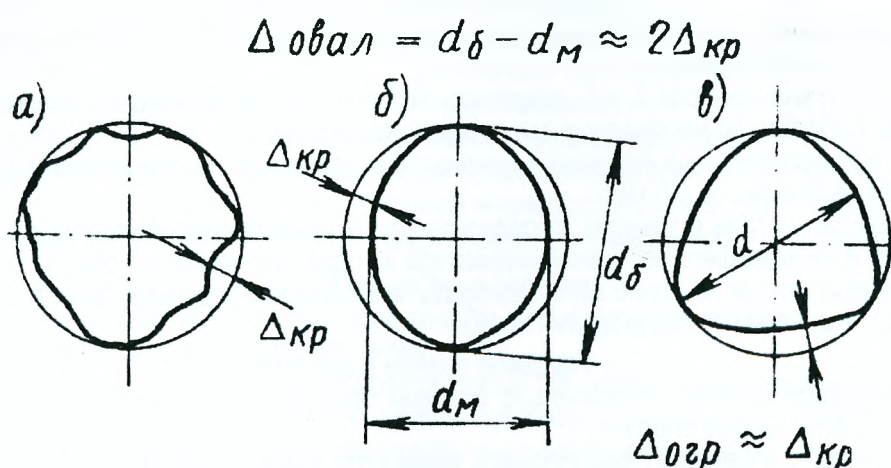


Рисунок 22 - Параметры некруглости

Некруглостью называется наибольшее расстояние от точек реального профиля до идеальной прилегающей окружности (рисунок 22, а). Некруглость, которая характеризует совокупность всех отклонений формы поперечного сечения, можно определить при помощи специальных приборов - кругломеров. Однако о поперечной погрешности формы можно судить, если определить элементарные погрешности некруглости - овальность и огранку.

Овальность - отклонение, при котором реальный профиль представляет собой овальную фигуру. За величину овальности принимается разность между наибольшим и наименьшим диаметрами сечения, т.е. удвоенная величина некруглости (рисунок 22, б). Очевидно, что величину овальности можно определить, если базировать цилиндр на плоскость и при вращении делами определить разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора, установленного перпендикулярно плоскости.

Огранка — отклонение, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру с нечетным числом граней (рисунок 22, в). Величину огранки можно определить, если базировать цилиндр на призму (аналог прилегающей поверхности) и при вращении цилиндра определить разность показате-

лей индикатора, установленного по направлению биссектрисы угла. Строго говоря, в этом случае показания индикатора будут зависеть не только от величины некруглости, но и от числа граней профиля и угла призмы. Так, при угле призмы  $90^\circ$  показания индикатора будут равны удвоенной величине погрешности формы трех- и пятигранного профиля.

В данной работе рассматриваются отдельные приемы контроля формы поверхности, радиального и торцевого биения на специальном приспособлении (рисунок 23). На станине 1 установлены две бабки с центрами 2 и 5, которые перемещаются и закрепляются в нужном положении. На той же станине укреплен стойка 4 с индикатором 3, при помощи которого производят измерение биения и погрешности формы. Кроме центров на направляющих станины могут устанавливаться различные призмы: широкая - для контроля погрешности формы и проверки биения рассматриваемой поверхности относительно базовой, а также две узкие - для контроля биений относительно общей оси. При контроле торцевого биения на стойке индикатора закрепляется регулируемый упор.

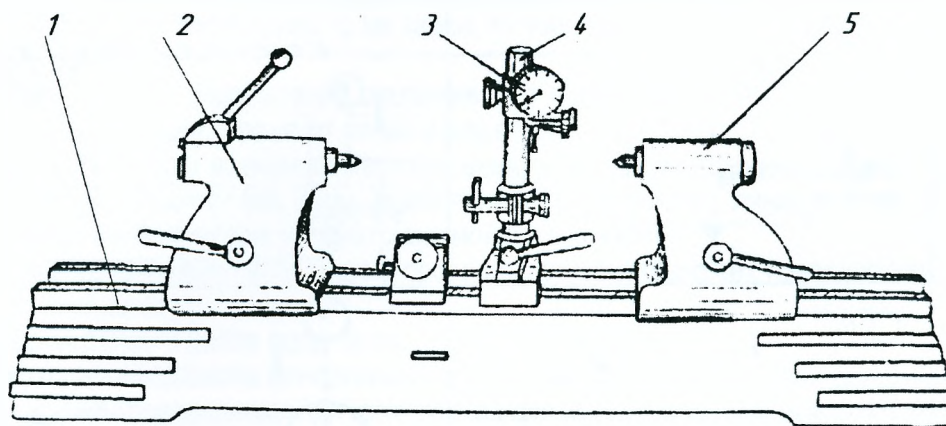


Рисунок 23 - Приспособление для измерения биений

### Порядок выполнения работы

#### *Радиальное биение в центрах*

Определить радиальное биение поверхностей всех шеек вала относительно оси центровых отверстий (таблица 2). Для этого необходимо:

- 1) установить деталь в центрах 2 и 5, закрепить бабки в нужном положении зажимами; если призма мешает установке бабок, то ее необходимо снять с направляющих;
- 2) расположить измерительный наконечник индикатора примерно по оси детали над контролируемой шейкой и добиться натяга около 0,5 мм;
- 3) медленно вращая деталь в центрах, определить радиальное биение контролируемой шейки как разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора за один или несколько оборотов детали; повторить измерения в различных местах по длине шейки, выбрать наибольшее и результат занести в таблицу отчета;
- 4) повторить пп. 2 и 3 при контроле других шеек.

#### *Торцевое биение в центрах*

Определить торцевое биение относительно базовой оси центровых отверстий (торцы указываются преподавателем). С этой целью следует:

- 1) установить деталь в центрах, расположить индикатор таким образом, чтобы его измерительный стержень располагался вдоль оси и касался измеряемого торца на возможно большем расстоянии от оси. Добиться натяга индикатора примерно 0,5 мм;
- 2) медленно вращая деталь, определить торцевое биение как разность между наибольшим и наименьшим показаниями индикатора.

#### *Радиальное биение относительно общей оси*

Определить радиальное биение всех шеек вала, относительно общей оси базовых шеек (базовые шейки указываются преподавателем). Для этого необходимо:

- 1) установить на направляющих прибора две узкие призмы (при необходимости раздвинуть бабки с центрами); на призмы установить базовые шейки вала так, чтобы призмы касались шеек приблизительно в средней части; призмы закрепить;
- 2) расположить измерительный наконечник индикатора примерно по оси детали над контролируемой шейкой и добиться натяга около 0,5 мм;
- 3) медленно вращая деталь на призмах, определить радиальное биение контролируемой шейки. Повторить измерения в разных местах по длине шейки, выбрать наибольшее и результат занести в таблицу отчета;
- 4) повторить пп. 2 и 3 при контроле других шеек.

### *Торцевое биение относительно общей оси*

Определить торцевое биение указанного преподавателем торца относительно общей оси. Для этого необходимо:

- 1) установить деталь базовыми шейками на призмы;
- 2) переместить призмы с валиком так, чтобы стойка с индикатором оказалась в районе контролируемого торца и закрепить на стойке индикатор; переместить упор так, чтобы шарик упора касался контролируемого торца снизу и в этом положении закрепить;
- 3) расположить индикатор так, чтобы измерительный стержень был направлен вдоль оси детали, а измерительный наконечник касался измеряемого торца детали в диаметрально противоположной от упора точке, на возможно большем расстоянии от оси детали; добиться натяга индикатора 0,5 мм;
- 4) медленно вращая деталь на призмах и слегка прижимая ее рукой к шарiku упора, определить по индикатору разность между наибольшим и наименьшим показаниями за один или несколько оборотов детали. Следует иметь в виду, что при этой схеме измерения полученная разность показаний является удвоенной величиной торцевого биения. Поэтому за величину торцевого биения следует брать половину этой разности показаний.

### *Радиальное биение на призме*

Определить радиальное биение заданной поверхности относительно базовой.

Для этого необходимо:

- 1) установить широкую призму на направляющие и закрепить винтом; если этому мешают бабки с центрами, то их надо раздвинуть;
- 2) измеряемую деталь установить на призму базовой поверхностью;
- 3) расположить измерительный наконечник индикатора примерно по оси измеряемой поверхности детали и добиться натяга измерительного наконечника индикатора примерно на 0,5 мм;
- 4) медленно вращая деталь в призме, найти по индикатору радиальное биение как разность между его наибольшим и наименьшим показаниями за один или несколько оборотов детали. Повторить измерения в разных местах по длине шейки, выбрать наибольшее и результат занести в таблицу отсчета.

### *Торцевое биение на призме*

Определить торцевое биение среднего торца относительно базовой поверхности. С этой целью следует:

- 1) установить деталь на призме таким образом, чтобы измеряемый торец детали упирался в сферический упор, имеющийся на призме, как это показано на схеме измерения;
- 2) расположить индикатор так, чтобы измерительный наконечник его был расположен вдоль оси детали и касался бы измеряемого торца детали в диаметрально противоположной от сферического упора точке на возможно большем расстоянии от оси детали; добиться натяга индикатора 0,5 мм;
- 3) медленно вращать деталь в призме и, слегка прижимая ее рукой к сферическому упору, определить по индикатору разность между его наибольшим и наименьшим показаниями за один или несколько оборотов детали. При этой схеме измерения полученная разность показаний индикатора является удвоенной величиной торцевого биения. Поэтому за величину торцевого биения следует брать половину разности показаний по индикатору.

### *Овальность и огранка*

Определить овальность и огранку базовой поверхности. Для этого необходимо:

- 1) установить измеряемую поверхность на призму;
- 2) расположить индикатор над измеряемой поверхностью так, чтобы измерительный стержень индикатора был перпендикулярен одной из плоскостей призмы и добиться натяга около 0,5 мм;
- 3) медленно вращая деталь на призме, определить овальность шейки вала, как разность между наибольшим и наименьшим показаниями за один или несколько оборотов;
- 4) расположить индикатор над измеряемой поверхностью так, чтобы измерительный стержень был направлен по биссектрисе угла призмы и добиться натяга 0,5 мм;
- 5) медленно вращая деталь на призме, определить разность показаний за один или несколько оборотов и подсчитать огранку, как половину разности показаний. По результатам измерений найти степени точности детали по каждому контролируруемому параметру в соответствии с ГОСТ 24643—81.

### **Форма отчета**

| Работа 6             |  | Измерение радиального, торцевого биения и погрешности формы вала |  |
|----------------------|--|------------------------------------------------------------------|--|
| Данные об индикаторе |  | Данные о детали                                                  |  |
| Цена деления         |  | Эскиз детали с указанием размеров                                |  |
| Предел измерения     |  |                                                                  |  |

Продолжение

| Результаты измерения |                               |                               |                        |                  |
|----------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|
| Измеряемый диаметр   | Схема измерения (см. таблицу) | Разность показаний индикатора | Измеренная погрешность | Степень точности |
|                      |                               |                               |                        |                  |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

### Измерение гладкого калибра микрокатером (оптикатором)

Цель работы: определить размеры гладкого калибра-пробки и дать заключение о годности.

Приборы и принадлежности: микрокатер (оптикатор) на стойке, плоскопараллельные концевые меры длины, калибр-пробка.

Измерительная пружинная головка (микрокатер) служит для измерения наружных размеров гладких точных изделий и калибров. По конструкции эти приборы являются механическими приборами, по методу измерения - сравнительными измерительными приборами.

Микрокатер работает на основе использования упругих свойств плоской скрученной ленты. Толщина бронзовой ленты 0,004 - 0,006 мм, ширина 0,15 - 0,30 мм. Эта плоская лента 6 (рисунок 24), скрученная от середины в разных направлениях (правый и левый винт), прикреплена с одной стороны к неподвижному кронштейну 7, а с другой - к угольнику 4, который может покачиваться вокруг точки А на двух плоских пружинах 2 и 3. В средней части ленты приклеена тонкая стеклянная стрелка. Измерительный стержень 8 подвешен в корпусе прибора на двух плоских пружинах 2, 9 и совершает поступательное движение. При этом перемещении измерительного стержня происходит поворот угольника и растяжение ленты. При растяжении лента раскручивается, что и вызывает поворот стрелки вокруг оси ленты. Измерительное усилие создается пружиной 1.

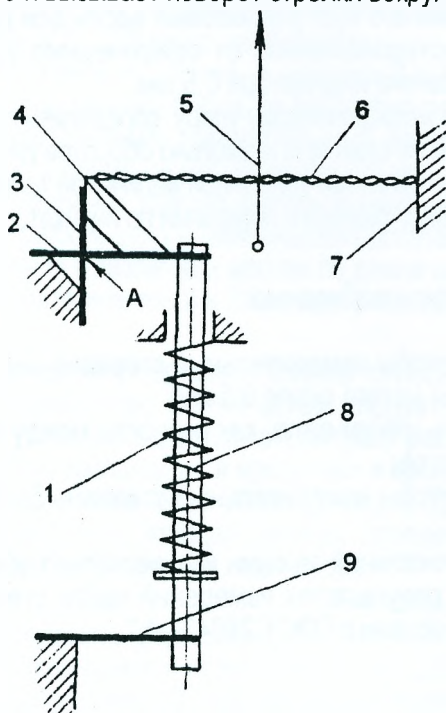


Рисунок 24 - Схема работы микрокатера

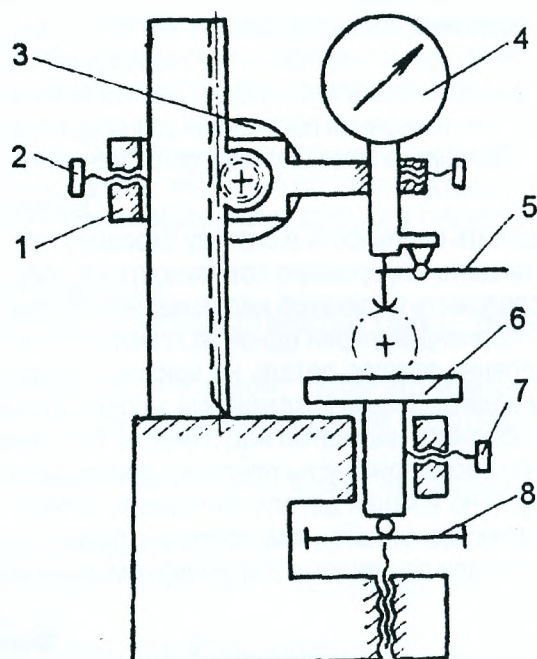


Рисунок 25 - Микрокатер

Микрокатеры выпускаются с ценой деления шкалы 0,1; 2; 5 и 10 мкм. В данной работе используется микрокатер 1-ИГП, т. е. с ценой деления 1 мкм. В этом случае пределы измерения по шкале прибора составляют  $\pm 30$  мкм, а допускаемая погрешность 0,5 мкм. При измерении калибра-пробки микрокатер устанавливается на стойке с плоским столиком (рисунок 25).

### Пружинно-оптические головки (оптикаторы) типа П

Оптикаторы предназначены для точных измерений линейных размеров, а также для измерений отклонений формы. Головки используют со стойками типа С-1 и измерительными приспособлениями с присоединительным диаметром 28 мм. Передаточный механизм аналогичен механизмам пружинных головок. На закрученной пружинной ленте 1 (рисунок 26) укреплено зеркало 8 размером 1,5 x 1,5 x 0,1 мм. В корпусе головки находится осветительное устройство, формирующее световую полосу в виде штриха. Световое устройство состоит из лампочки 9, конденсора 7, диафрагмы 10 и объектива 11. На средней части диафрагмы натянута нить, поэтому световой луч несет изображение нити в виде темного штриха. Отразившись от зеркала 8, штрих падает на шкалу 13 оптикатора, фиксируя отсчет измеряемого допуска изделия. В качестве указателей границ поля допуска изделия применены красный и зеленый светофильтры или цветные шторки, управление которыми осуществляется кнопками 12.

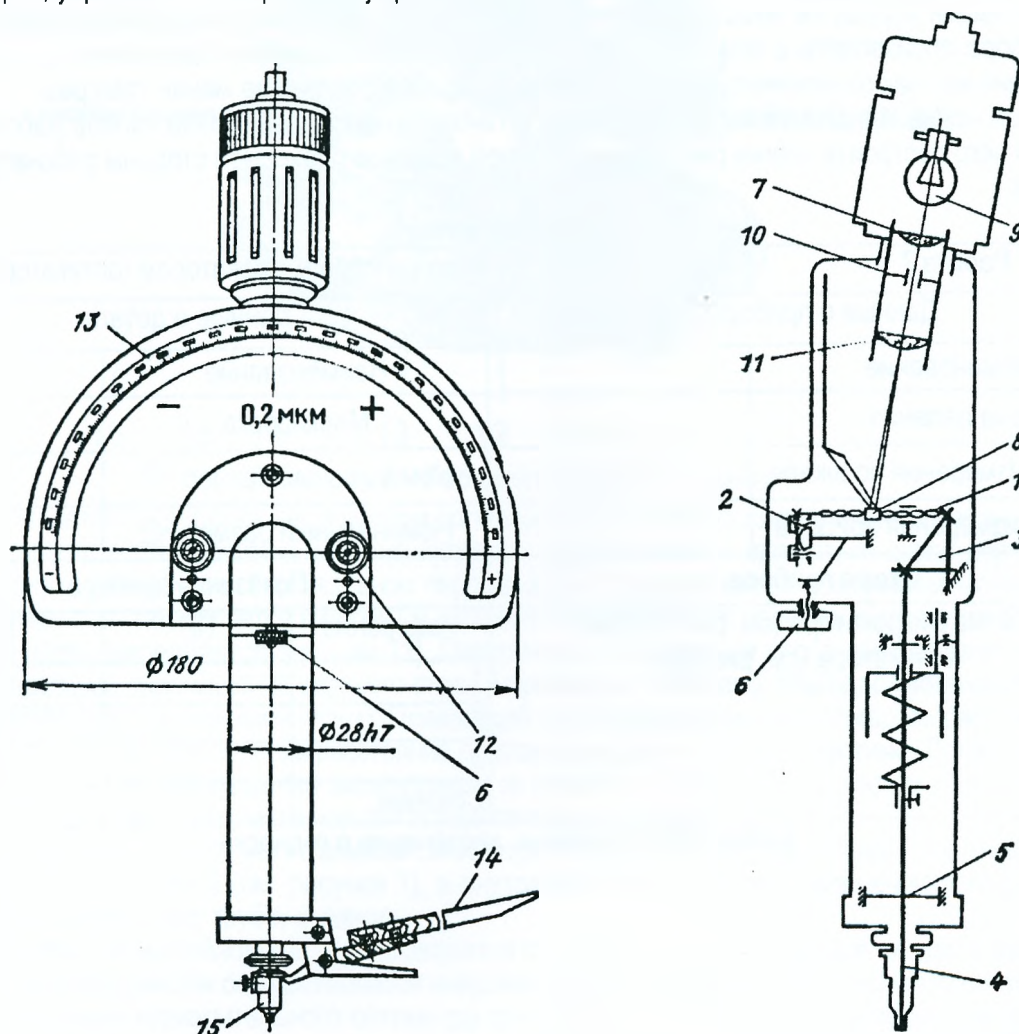


Рисунок 26 – Оптикатор

При измерении размера перемещается измерительный наконечник 15, закрепленный на стержне 4, который подвешен на плоской пружине 5. Перемещение стержня 4 вызывает растяжение пружинной ленты 1, расположенной в опорах 2 и 3, и поворот зеркала 8, что ведет к перемещению светового штриха по шкале 13 оптикатора. Головка с помощью винта 6 может быть установлена на нулевую отметку. Рычаг арретира 14 предназначен для поднятия и опускания измерительного стержня 4 с наконечником 15.

### Порядок выполнения работы

Согласно номинальному размеру контролируемого калибра набрать блок концевых мер.

По блоку концевых мер настроить прибор на нуль. Для этого установить блок на столик 6 прибора. Отпустить винт 2.

Плавным перемещением кронштейна 1 по колонне с помощью маховичка 3 установить микрокатор 4 так, чтобы между измерительным наконечником и плоскостью меры остался зазор 0,5—1 мм и закрепить кронштейн на стойке стопорным винтом.

Отпустить стопорный винт 7 столика и вращением микровинта 8 поднимать столик до тех пор, пока стрелка прибора не совместится с нулевым штрихом шкалы, после чего закрепить столик. Если стрелка несколько не совпадает с нулевым штрихом, то поворотом шкалы винтом, расположенным с правой стороны микрокатора, можно добиться этого совпадения.

Проверить стабильность установки, для этого несколько раз нажать и отпустить арретир 5. Если стрелка прибора сместится с установленного положения, необходимо проверить крепление стопорных винтов и снова установить шкалу на нуль.

Нажать на арретир и снять блокмер со столика.

Измерить диаметр калибра, для чего установить деталь на столик под измерительный наконечник. При этом необходимо прижимать калибр к столику не за рукоятку, а за рабочую часть так, чтобы образующая измеряемой поверхности плотно прилегала к плоскости столика. Для определения диаметра детали (наибольшей хорды) ее необходимо перемещать или перекачивать по столику прибора. Отсчет по шкале прибора производить в момент, соответствующий максимальному показанию; при отсчете обратить внимание на знак отклонения. Измерять диаметр калибра следует не менее трех раз.

Дать заключение о годности калибра, а также установить, является данный калибр рабочим или приемным, для чего построить схемы расположения полей допусков проходной стороны рабочего и приемного калибров.

#### Форма отчета

| Работа 7                                                     |  | Измерение гладкого калибра микрокатором (оптикатором) |    |    |
|--------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------|----|----|
| Данные о приборе                                             |  | Данные о детали                                       |    |    |
| Наименование                                                 |  | Наименование                                          |    |    |
| Цена деления                                                 |  | Маркировка                                            |    |    |
| Пределы измерения по шкале                                   |  | Номинальный размер ПР                                 |    |    |
| Пределы измерения прибора                                    |  | Номинальный размер НЕ                                 |    |    |
| Схема прибора                                                |  | Показания прибора                                     |    |    |
| Схема микрокатора (см. рис. 24) или оптикатора (см. рис. 26) |  | Измерение                                             | ПР | НЕ |
|                                                              |  | 1                                                     |    |    |
|                                                              |  | 2                                                     |    |    |
|                                                              |  | 3                                                     |    |    |
|                                                              |  | Среднее                                               |    |    |
| Схема полей допусков, заключение о годности                  |  |                                                       |    |    |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

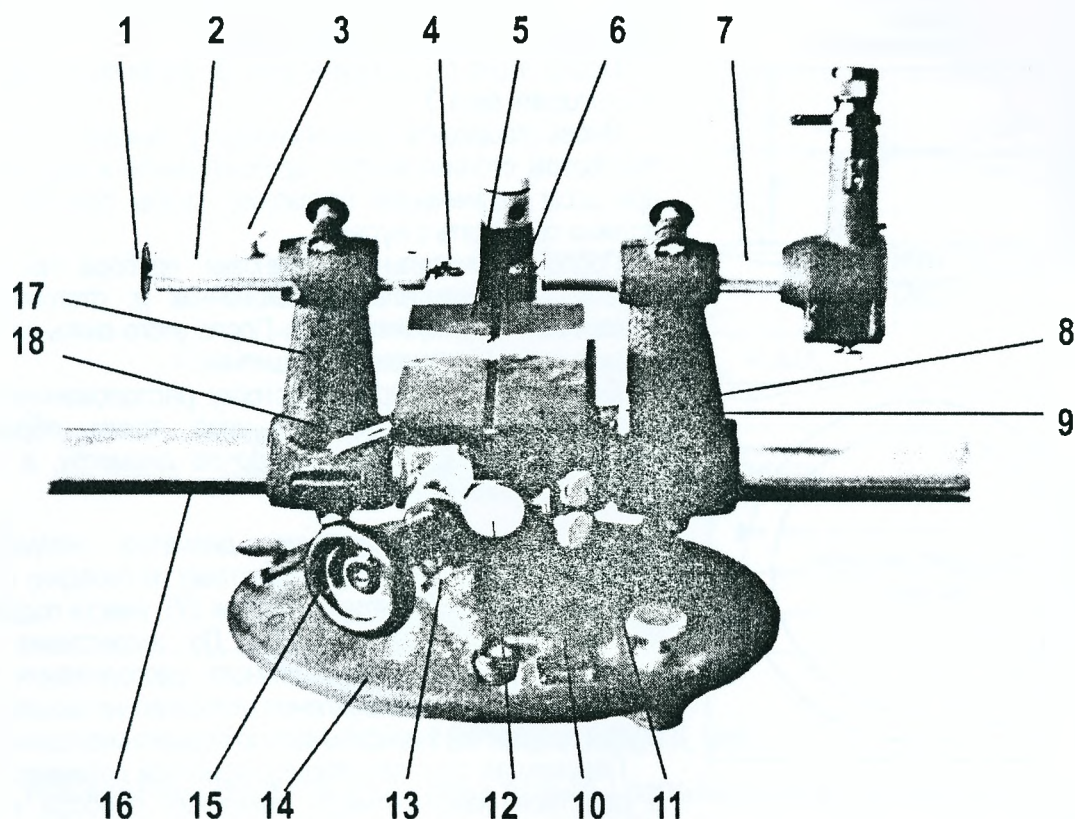
### Измерение внутреннего диаметра подшипника на горизонтальном оптиметре

Цель работы: знакомство с плоскопараллельными мерами длины, изучение устройства горизонтального оптиметра.

Приборы и принадлежности: набор плоскопараллельных мер длины (концевых), горизонтальный оптиметр, принадлежности к концевым мерам, объекты измерений.

Горизонтальный оптиметр дает возможность производить как наружные, так и внутренние измерения. Горизонтальный оптиметр состоит из горизонтального штатива и оптиметровой трубки.

Как видно из рисунка 27, на массивном основании 14 покоится вал 16, по которому могут перемещаться кронштейны 9 и 17. В правом кронштейне укрепляется оптиметровая трубка 7, в левом — пиноль 2. Измеряемая деталь, блок из концевых мер или трубка укрепляются на столике специальными прижимами.



**Рисунок 27 – Горизонтальный оптиметр**

Для установки детали или блока мер в нужном положении относительно измерительных наконечников стол может перемещаться в трех взаимно перпендикулярных направлениях и вращаться около вертикальной и поперечной горизонтальной оси. Вертикальное перемещение осуществляется вращением маховичка 15 (в нужном положении стол закрепляется винтом 13). Величина вертикального перемещения может быть ограничена упорами (упоры закрепляются винтами 11). Поперечное перемещение стола производится вращением рукоятки 8. Продольное перемещение верхнего стола 5 происходит свободно, благодаря установке его на шариковых направляющих («плавающий стол»). Плавающий стол дает возможность измерять расстояние от пинולי, «жесткий столик» фиксировал бы расстояние относительно стола, что недопустимо. Покачивание стола около горизонтальной оси производится эксцентриком за рукоятку 12 (фиксация в нужном положении — винтом 10). Поворот стола около вертикальной оси осуществляется рукояткой 18.

Наружные поверхности на горизонтальном оптиметре измеряются наконечниками оптиметра 6 и регулируемого стержня пинולי 4 (см. рисунок 1), а внутренние поверхности — наконечниками дуг, которые надеваются на оптиметровую трубку и пиноль.

Грубая установка кронштейнов 9 и 17 производится от руки путем перемещения их вдоль вала. Точная установка наконечника пинולי осуществляется микрометрическим винтом 1 (фиксируется винтом 3).

Пределы измерения горизонтального оптиметра при измерении наружных размеров — от 0 до 300 мм внутренних размеров — от 13 до 150 мм. Пределы измерения по шкале прибора составляют  $\pm 100$  мкм.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Настроить оптиметр на нуль, для чего:

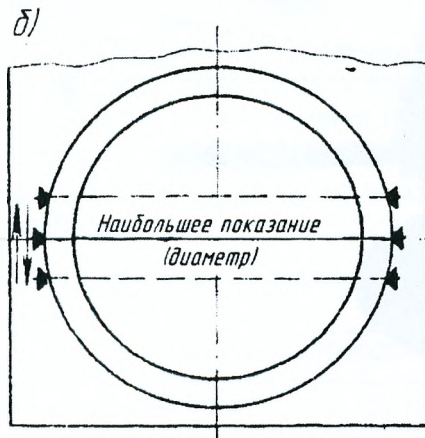
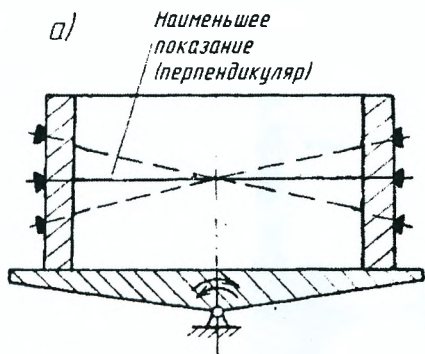
Набрать блок концевых мер в соответствии с номинальным размером наружного кольца подшипника (измерить штангенциркулем).

Установить набранный блок на столик оптиметра.

Привести в соприкосновение с измерительными поверхностями плиток измерительные наконечники, отрегулировав столик по высоте так, чтобы касание происходило примерно по средней плоскости блока.

Если необходимо переместить пиноль на значительную величину, ее перемещают вместе с кронштейном 17 (рисунок 27) при открепленном стопоре. На незначительные расстояния можно перемещать только пиноль, предварительно отпустив зажимной винт.

После касания (момент касания с измерительными наконечниками будет замечен по движению шкалы в поле зрения окуляра) отпустить винт 3 и, вращая за накатную головку микрометрического винта 1 пинולי, установить шкалу оптиметра на нуль и застопорить винтом 3. Для того, чтобы прибор был установлен на нуль именно по размерам блока, необходимо выверить положение блока при помощи поворотов измерительного столика



вокруг горизонтальной и вертикальной осей, зафиксировав положение при наименьшем показании.

После этого отstopорить винт 3, установить шкалу на нуль и заstopорить винт 3.

Вновь проверить правильность установки прибора на нуль поворотом столика вокруг горизонтальной и вертикальной осей, при этом наименьшее показание шкалы при обоих поворотах должно совпадать с нулем.

После окончательной установки прибора на нуль отжать арретиром измерительный наконечник и, отstopорив винт 13, маховичком 15 отпустить стол. После этого снять со столика блок концевых мер и установить подшипник.

Для удобства измерений в стойку, расположенную за столиком устанавливают специальный упор таким образом, чтобы измерение размера происходило по диаметру, а не по хорде кольца подшипника.

2. Выполнить измерение диаметра наружного кольца подшипника, установив его на подставку на середину стола. Подняв стол (при нажатом арретире, рисунок 27), ввести подшипник между измерительными наконечниками. До закрепления подшипника прижимом добиться симметричного расположения плавающего стола в продольном направлении относительно нижней части стола. В этом положении закрепить кольцо подшипника прижимом.

Перемещая стол перпендикулярно оси оптиметра за рукоятку 8 добиться максимального показания прибора и не снимая

отсчета, оставить стол в этом положении (рисунок 28,б).

Покачивая стол вокруг горизонтальной оси за рукоятку 12 найти минимальное показание оптиметра и только после этого произвести отсчет (рисунок 28,а).

Измерения выполнить в двух крайних сечениях (крайнее сечение – сечение отстоящее от плоскости, прилегающих к торцу кольца подшипника на расстояние, равное удвоенной величине номинальной координаты фаски), а в каждом сечении – в шести направлениях (после каждого измерения наружное кольцо поворачивать примерно на 30°). Результаты измерений, а также некоторые данные о приборе и объекте измерений заносятся в форму отчета.

3. Дать заключение о годности наружного кольца подшипника в соответствии с требованием ГОСТ 520-89. Подшипник считается годным, если измеренные значения  $D_{\min}^{\text{изм}}$  и  $D_{\max}^{\text{изм}}$  (по обоим сечениям) укладываются в ус-

становленные границы для  $D$ , и средний диаметр  $D_{\text{cp}} = \frac{D_{\max}^{\text{изм}} + D_{\min}^{\text{изм}}}{2}$  укладывается в допуск среднего диаметра  $D_{\text{cp}}$ .

Значения  $D_{\max}^{\text{изм}}$  и  $D_{\min}^{\text{изм}}$  – наибольший и наименьший измеренные диаметры, выбранные из ряда измерений по обоим сечениям. Допуски и предельные отклонения  $D$  и  $D_{\text{cp}}$  для подшипников классов точности 0, 6, 5 приведены в таблицах приложения. Дать схему поля допуска.

#### Форма отчета

| Работа 8                       |  | Измерение наружного диаметра подшипника на горизонтальном оптиметре |    |  |  |
|--------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------|----|--|--|
| Данные о приборе               |  | Данные о детали                                                     |    |  |  |
| Наименование                   |  | Наименование и маркировка                                           |    |  |  |
| Цена деления, мм               |  | Номинальный диаметр, мм                                             |    |  |  |
| Пределы измерения по шкале, мм |  | Предельные отклонения диаметра $D$ , мкм                            | es |  |  |
|                                |  |                                                                     | ei |  |  |
| Пределы измерения прибора, мм  |  | Предельные отклонения диаметра $D_{cp}$ , мкм                       | es |  |  |
|                                |  |                                                                     | ei |  |  |
| Схема измерения                |  | Показания прибора, $\Delta D_i^{изм}$ , мм                          |    |  |  |

Продолжение

|                                                                                           | I сечение |  | II сечение |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--|------------|--|
|                                                                                           | 1         |  | 1          |  |
|                                                                                           | 2         |  | 2          |  |
|                                                                                           | 3         |  | 3          |  |
|                                                                                           | 4         |  | 4          |  |
|                                                                                           | 5         |  | 5          |  |
|                                                                                           | 6         |  | 6          |  |
| $D_{\max} =$ $D_{\min} =$ $\Delta D_{cp} = \frac{\Delta D_{\max} + \Delta D_{\min}}{2} =$ |           |  |            |  |
| Схемы полей допусков и заключение о годности.                                             |           |  |            |  |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9

### Измерение среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром

Цель работы: дать заключение о годности резьбового изделия.

Приборы и принадлежности: а) штангенциркуль; б) резьбовой микрометр; в) объекты измерений.

#### Методы и средства измерения элементов резьбы

Контроль точности цилиндрических резьб осуществляют комплексными и дифференциальными (т.е. поэлементными) методами.

Комплексный метод контроля применяют для резьбовых деталей, допуск среднего диаметра которых является суммарным допуском. Этот метод основан на одновременном контроле среднего диаметра, шага, половины угла, а также внутреннего и наружного диаметров резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельными. Это достигается при помощи предельных калибров, а для резьб малых размеров - при помощи проекторов.

В производственных условиях обычно применяют комплексный метод контроля резьбовыми калибрами как самый производительный и экономичный.

При дифференцированном методе контроля отдельно проверяют собственно диаметр, шаг и половину угла профиля. Годность резьбового изделия в этом случае определяют по приведенному среднему диаметру резьбы, который подсчитывают по результатам измерений отдельных его составляющих.

При дифференцированном методе контроля возможно измерить любой элемент резьбы. Такие приборы называют универсальными. Существуют и специальные приборы, которые позволяют измерить только один элемент резьбы.

Дифференцированный контроль параметров резьбы применяют как для наружных, так и для внутренних резьб. При измерении параметров болтов используют резьбовые микрометры со вставками для измерения собственно среднего диаметра резьб  $d_2$  с пределами измерений 0-25 мм, 25 - 50 мм и т.д. (до 350 мм) через 25 мм.

Резьбовые микрометры со вставками позволяют измерять средний диаметр резьбы непосредственно в процессе ее изготовления, контроля при ремонте и в других случаях неточного измерения.

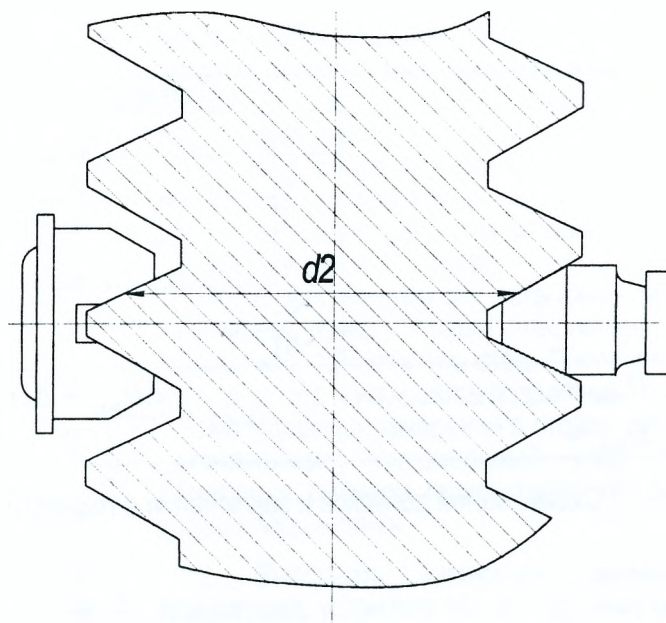
Погрешность контроля резьбовым микрометром может достигать 0,2 мм.

Более точным методом измерения среднего диаметра резьбы является метод трех проволок. При этом методе в зависимости от требуемой точности измерения проводят гладким микрометром, оптиметром или длинномером. Результат измерения не дает непосредственного значения среднего диаметра резьбы (косвенный метод измерения). Величина  $d_2$  определяется расчетом.

Шаг резьбы и половину угла профиля резьбы контролируют в основном на микроскопах или проекторах. Для измерения шага резьбы иногда применяют стационарные или накладные шагомеры.

#### Измерение резьбовым микрометром

Средним диаметром резьбы ( $d_2$ ) с нечетным числом заходов можно назвать расстояние между параллельными боковыми сторонами профиля витков, измеренное перпендикулярно к оси резьбы (рисунок 29).



**Рисунок 29 - Схема измерения резьбы**

Резьбовой микрометр служит для измерения среднего диаметра крепежных резьб. По конструкции этот микрометр (рисунок 30) аналогичен гладкому микрометру и отличается от последнего главным образом устройством пятки и микровинта. В пятке 2 и конце микровинта 3 резьбового микрометра имеются отверстия, в которые вставляются сменные вставки. Барабан резьбового микрометра выполнен составным, что облегчает установку микрометра на нуль; встречаются конструкции с регулируемой пяткой 2.

При изменении диаметра резьбы применяются две вставки, одна из которых имеет конусообразную форму, другая - призматическую (рисунок 30,а). Каждая пара вставок предназначена для измерения резьб определенного шага: 0,4 - 0,5; 0,6 - 0,8; 1-1,5; 1,75 - 2,5 и 3 - 4,5 мм.

Выпускаются микрометры для измерения резьб диаметром от 0 до 350 мм. Цена деления барабана 0,01 мм. Предельная погрешность микрометра зависит от шага и диаметра резьбы и может составлять от +/- 10 до +/- 30 мкм.

#### **Порядок выполнения работы**

1. Определить при помощи резьбомера или штангенциркуля шаг резьбы, подлежащей измерению.
2. Отобрать соответствующие вставки. Вставку с конусом поместить в гнездо микровинта, а вставку призматическую - в гнездо пятки.

3. Проверить установку микрометра на нуль, для чего отпустить стопорную гайку микровинта 4 (см. рисунок 30, б) и, вращая микровинт за трещотку 11, добиться контакта между вставками.

Контакт считается правильным при трехкратном прощелкивании трещотки. Если при этом нулевой штрих барабана не совпадает с осевой риской на стебле 5 микрометра, то необходимо отрегулировать положение шкал. Для этого надо выполнить следующее:

а) зафиксировать положение микровинта стопорной гайкой; отвернуть кольцо барабана 7 и, придерживая другую часть барабана 8 за накатку колпачка 10, выдвинуть часть барабана со шкалой 6 и установить ее так, чтобы нулевой штрих этой части барабана совпадал с осевой риской на стебле микрометра, а торец барабана - с нулевым делением стебля; в этом положении поворотом кольца 6 закрепить часть барабана со шкалой;

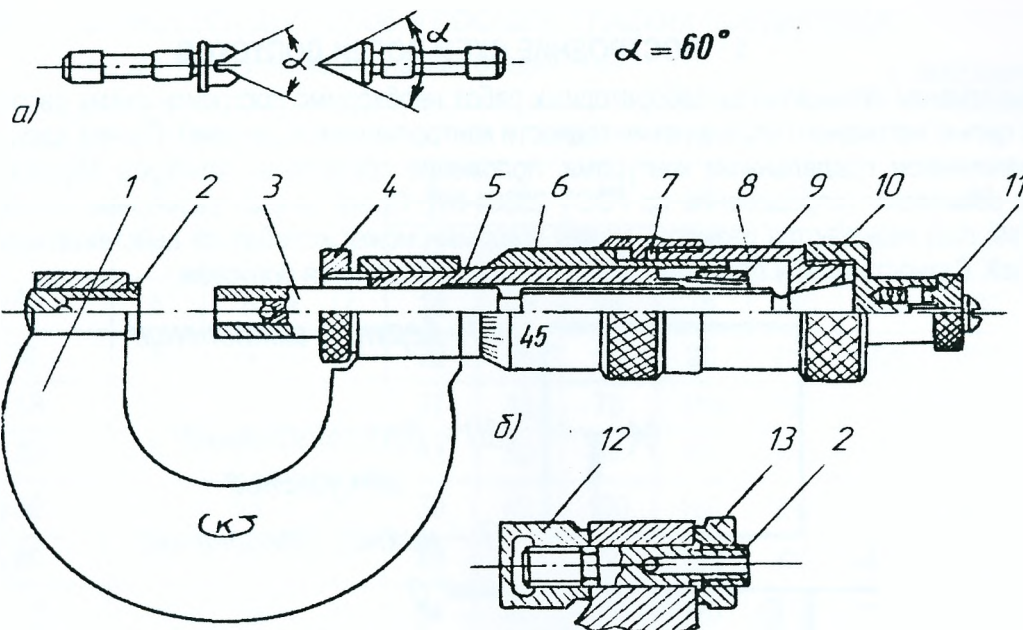
б) отпустить стопор 4 и отвернуть микровинт на 1 - 2 оборота, после чего, вновь добившись контакта вставок, проверить правильность нулевого показания. При необходимости повторить установку.

В некоторых конструкциях микровинтов установка на нуль производится не барабаном, а регулируемой пяткой 2. Регулировка производится так:

а) установить нулевое показание по обеим шкалам и в этом положении застопорить микровинт стопором 4; отпустить контргайку 12 регулируемой пятки и выдвинуть ее гайкой 13 до соприкосновения вставок; в этом положении закрепить пятку контргайкой;

б) отпустить стопор 4 и отвернуть микровинт на 1 - 2 оборота, после чего вращением за трещотку вновь добиться контакта вставок и проверить правильность нулевого показания.

4. Ввести проверяемую резьбу между наконечниками (см. рисунок 27) и, пользуясь трещоткой, измерить средний диаметр.



**Рисунок 30 - Резьбовой микрометр**

С целью самоконтроля рекомендуется после измерения зафиксировать положение микровинта стопором 4 и между вставками микрометра осторожно прокатить проверяемую резьбу. В этом случае, если резьба проходит между вставками микрометра с легким усилием, то измерение проведено правильно. Если же усилие при прокатывании резьбы чрезмерно велико или отсутствует, то измерение следует повторить. Произвести отсчет по шкалам. Измерение выполнить 3 раза.

5. Дать заключение о годности резьбового изделия, если оно выполнено по степени точности 6g, 7d, 4h (задается преподавателем).

Для того, чтобы дать заключение о годности резьбового изделия, необходимо сравнить результаты измерений со стандартными значениями. Для этого по таблице 15П определяется номинальный средний диаметр, а по таблице 16П - величина допуска на  $d_2$ . В том случае, если измеренные значения входят в допуск на средний диаметр, изделие признается годным.

Контрольные вопросы:

1. Что называется средним диаметром?
2. Как можно определить шаг резьбы?
3. В каком случае резьбовое изделие признается годным?
4. Как установить микрометр на нуль?

#### Форма отчета

| Работа 9                                     |  | Измерение среднего диаметра резьбы микрометром |  |
|----------------------------------------------|--|------------------------------------------------|--|
| Данные о приборе                             |  | Данные о детали                                |  |
| Наименование                                 |  | Наименование и маркировка                      |  |
| Цена деления                                 |  | Шаг резьбы                                     |  |
| Пределы измерения                            |  | Номинальный средний диаметр                    |  |
| Схема измерения                              |  | Показания прибора                              |  |
|                                              |  | 1                                              |  |
|                                              |  | 2                                              |  |
|                                              |  | 3                                              |  |
|                                              |  | Среднее                                        |  |
| Схема полей допусков и заключение о годности |  |                                                |  |

## 1. ПОСТРОЕНИЕ СХЕМ ПОЛЕЙ ДОПУСКОВ

При выполнении большинства лабораторных работ необходимо построить схему расположения поля допуска с целью наглядного определения годности контролируемых деталей. Полем допуска называется поле, ограниченное предельными контурами; положение предельных контуров обуславливается предельными размерами (определение по ГОСТ 25364-89). Предельными размерами (наибольший  $d_{max}$  и наименьший  $d_{min}$ ) называются размеры, между которыми может колебаться действительный размер годных деталей. Разность между предельными размерами называется *допуском*.

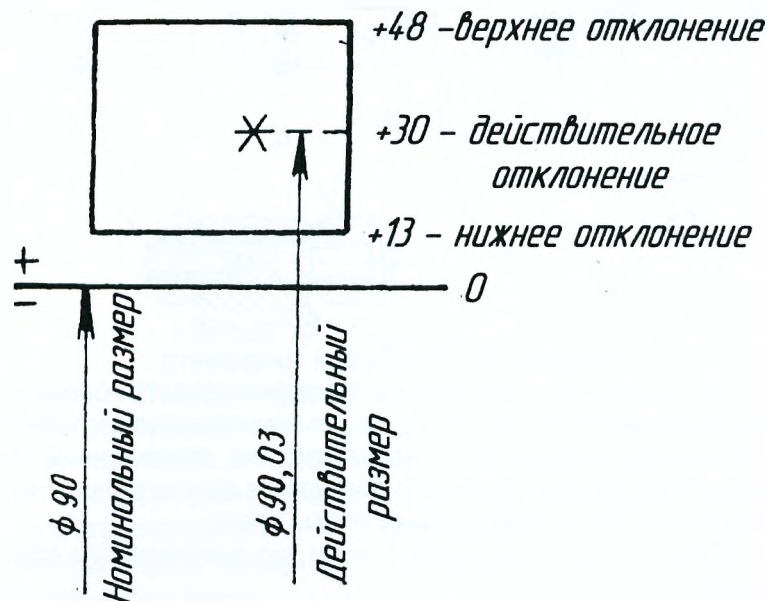


Рисунок 1П – Схема поля допуска

Действительным размером  $d_d$  называется размер детали, полученный в результате непосредственного измерения с допустимой погрешностью (обычно не более 20—30% допуска). Обычно расположение поля допуска задается не предельными размерами, а номинальным размером и двумя предельными отклонениями.

Номинальный размер  $d$  служит началом отсчета отклонений. Он указывается на чертежах исходя из расчетов или конструктивных соображений в соответствии с существующими стандартами. При выполнении лабораторных работ номинальный размер может быть определен по-разному: либо он прямо дан в инструкции, либо приведена формула для его расчета, либо он указан в маркировке детали, либо его надо найти в прилагаемых таблицах.

При построении схемы поля допуска вначале проводится нулевая линия (ось абсцисс), соответствующая номинальному размеру. От нулевой линии в определенном масштабе откладываются отклонения в соответствии с их знаком (по оси ординат).

Отклонением размера называется алгебраическая разность между размером и его номинальным значением, поэтому: верхнее отклонение  $es = d_{max} - d$ ; нижнее  $ei = d_{min} - d$ ; действительное  $e_d = d_d - d$ ; допуск  $Td = es - ei$ . Верхнее и нижнее отклонения даны в прилагаемых таблицах соответствующих стандартов. Действительное отклонение определяется по результату измерения детали и отмечается на схеме поля допуска знаком X.

Детали считаются годными, если действительное отклонение будет между верхним и нижним отклонениями, т. е. в пределах поля допуска.

## 2. СИСТЕМА ДОПУСКОВ И ПОСАДОК ГЛАДКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Таблица 1П – Значение допусков и посадок гладких соединений

в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Квалитет |    |    |    |     |     |     |     |     |      |      |
|-----------------------------------|----------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
|                                   | 5        | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14   | 15   |
| До 3                              | 4        | 6  | 10 | 14 | 25  | 40  | 60  | 100 | 140 | 250  | 400  |
| Св. 3 до 6                        | 5        | 8  | 12 | 18 | 30  | 48  | 75  | 120 | 180 | 300  | 480  |
| Св. 6 до 10                       | 6        | 9  | 15 | 22 | 36  | 58  | 90  | 150 | 220 | 360  | 580  |
| Св. 10 до 18                      | 8        | 11 | 18 | 27 | 43  | 70  | 110 | 180 | 270 | 430  | 700  |
| Св. 18 до 30                      | 9        | 13 | 21 | 33 | 52  | 84  | 130 | 210 | 330 | 520  | 840  |
| Св. 30 до 50                      | 11       | 16 | 25 | 39 | 62  | 100 | 160 | 250 | 390 | 620  | 1000 |
| Св. 50 до 80                      | 13       | 19 | 30 | 46 | 74  | 120 | 190 | 300 | 460 | 740  | 1200 |
| Св. 80 до 120                     | 15       | 22 | 35 | 54 | 87  | 140 | 220 | 350 | 540 | 870  | 1400 |
| Св. 120 до 180                    | 18       | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 | 1600 |
| Св. 180 до 250                    | 20       | 29 | 46 | 72 | 115 | 185 | 290 | 460 | 720 | 1150 | 1850 |
| Св. 250 до 315                    | 23       | 32 | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 | 810 | 1300 | 2100 |
| Св. 315 до 400                    | 25       | 36 | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 | 890 | 1400 | 2300 |
| Св. 400 до 500                    | 27       | 40 | 63 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 | 970 | 1550 | 2500 |

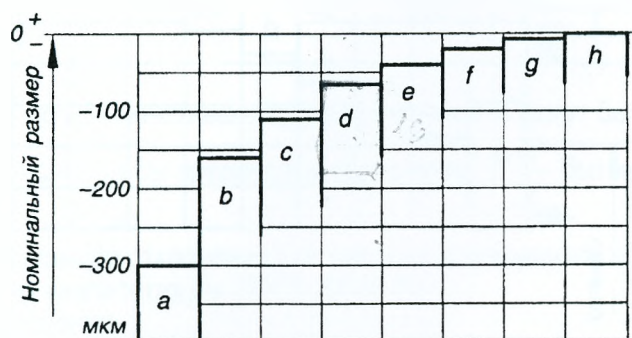


Таблица 2П – Значения основных отклонений валов (верхние отклонения es со знаком «-»)

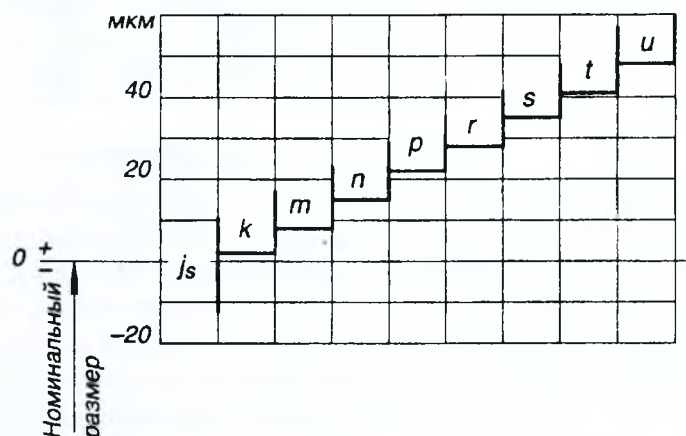
в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Основные отклонения |     |     |     |    |    |    |   |
|-----------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|----|----|----|---|
|                                   | a                   | b   | c   | d   | e  | f  | g  | h |
| До 3                              | 270                 | 140 | 60  | 20  | 14 | 6  | 2  | 0 |
| Св. 3 до 6                        | 270                 | 140 | 70  | 30  | 20 | 10 | 4  | 0 |
| Св. 6 до 10                       | 280                 | 150 | 80  | 40  | 25 | 13 | 5  | 0 |
| Св. 10 до 18                      | 290                 | 150 | 95  | 50  | 32 | 16 | 6  | 0 |
| Св. 18 до 30                      | 300                 | 160 | 110 | 65  | 40 | 20 | 7  | 0 |
| Св. 30 до 40                      | 310                 | 170 | 120 | 80  | 50 | 25 | 9  | 0 |
| Св. 40 до 50                      | 320                 | 180 | 130 |     |    |    |    |   |
| Св. 50 до 65                      | 340                 | 190 | 140 | 100 | 60 | 30 | 10 | 0 |
| Св. 65 до 80                      | 360                 | 200 | 150 |     |    |    |    |   |

Продолжение таблицы 2П

|                |      |     |     |     |     |    |    |   |
|----------------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|---|
| Св. 80 до 100  | 380  | 220 | 170 | 120 | 72  | 36 | 12 | 0 |
| Св. 100 до 120 | 410  | 240 | 180 |     |     |    |    |   |
| Св. 120 до 140 | 460  | 260 | 200 | 145 | 85  | 43 | 14 | 0 |
| Св. 140 до 160 | 520  | 280 | 210 |     |     |    |    |   |
| Св. 160 до 180 | 580  | 310 | 230 | 170 | 100 | 50 | 15 | 0 |
| Св. 180 до 200 | 660  | 340 | 240 |     |     |    |    |   |
| Св. 200 до 225 | 740  | 380 | 260 | 190 | 110 | 50 | 17 | 0 |
| Св. 225 до 250 | 820  | 420 | 280 |     |     |    |    |   |
| Св. 250 до 280 | 920  | 480 | 300 | 210 | 125 | 62 | 18 | 0 |
| Св. 280 до 315 | 1050 | 540 | 330 |     |     |    |    |   |
| Св. 315 до 355 | 1200 | 600 | 360 | 230 | 135 | 68 | 20 | 0 |
| Св. 355 до 400 | 1350 | 680 | 400 |     |     |    |    |   |
| Св. 400 до 450 | 1500 | 760 | 440 | 230 | 135 | 68 | 20 | 0 |
| Св. 450 до 500 | 1650 | 840 | 480 |     |     |    |    |   |

Примечание: Таблица приведена в сокращении

Таблица 3П – Значения основных отклонений валов (нижние отклонения  $e_i$  со знаком «+»)

в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Основные отклонения                       |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------------------------------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|                                   | $j_s$                                     | $k$ | $m$ | $n$ | $p$ | $r$ | $s$ | $t$ | $u$ |
| До 3                              | Предельные отклонения = $\pm 1/2$ допуска | 0   | 2   | 4   | 6   | 10  | 14  | —   | 18  |
| Св. 3 до 6                        |                                           | 1   | 4   | 8   | 12  | 15  | 19  | —   | 23  |
| Св. 6 до 10                       |                                           | 1   | 6   | 10  | 15  | 19  | 23  | —   | 28  |
| Св. 10 до 18                      |                                           | 1   | 7   | 12  | 18  | 23  | 28  | —   | 33  |
| Св. 18 до 24                      |                                           | 2   | 8   | 15  | 22  | 28  | 35  | —   | 41  |
| Св. 24 до 30                      |                                           |     |     |     |     |     |     | 41  | 48  |
| Св. 30 до 40                      |                                           | 2   | 9   | 17  | 26  | 34  | 43  | 48  | 60  |

Продолжение Таблицы 3П

|                |  |   |    |    |    |     |     |     |     |
|----------------|--|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| Св. 40 до 50   |  | 2 | 9  | 17 | 26 | 34  | 34  | 54  | 70  |
| Св. 50 до 65   |  | 2 | 11 | 20 | 32 | 41  | 53  | 66  | 87  |
| Св. 65 до 80   |  |   |    |    |    | 43  | 59  | 75  | 102 |
| Св. 80 до 100  |  | 3 | 13 | 23 | 37 | 51  | 71  | 91  | 124 |
| Св. 100 до 120 |  |   |    |    |    | 54  | 79  | 104 | 144 |
| Св. 120 до 140 |  | 3 | 15 | 27 | 43 | 63  | 92  | 122 | 170 |
| Св. 140 до 160 |  |   |    |    |    | 65  | 100 | 134 | 190 |
| Св. 160 до 180 |  |   |    |    |    | 68  | 108 | 146 | 210 |
| Св. 180 до 200 |  | 4 | 17 | 31 | 50 | 77  | 122 | 166 | 236 |
| Св. 200 до 225 |  |   |    |    |    | 80  | 130 | 180 | 258 |
| Св. 225 до 250 |  |   |    |    |    | 84  | 140 | 196 | 284 |
| Св. 250 до 280 |  | 4 | 20 | 34 | 56 | 94  | 158 | 218 | 315 |
| Св. 280 до 315 |  |   |    |    |    | 98  | 170 | 240 | 350 |
| Св. 315 до 355 |  | 4 | 21 | 37 | 62 | 108 | 190 | 268 | 390 |
| Св. 355 до 400 |  |   |    |    |    | 114 | 208 | 294 | 435 |
| Св. 400 до 450 |  | 5 | 23 | 40 | 68 | 126 | 232 | 330 | 490 |
| Св. 450 до 500 |  |   |    |    |    | 132 | 252 | 360 | 540 |

Примечания:

1. Для полей допусков от js7 до js11 нечетные числовые значения IT могут быть округлены до ближайшего меньшего четного числа, чтобы предельные отклонения  $\pm \frac{IT}{2}$  были выражены целым числом микрометров.

2. Числовые значения для основного отклонения k приведены для квалитетов от 4 до 7, значения основных отклонений в других квалитетах см. ГОСТ 25346-89

3. Таблица приведена в сокращении.

Таблица 4П – Значения основных отклонений отверстий (нижние отклонения EI со знаком «+»)

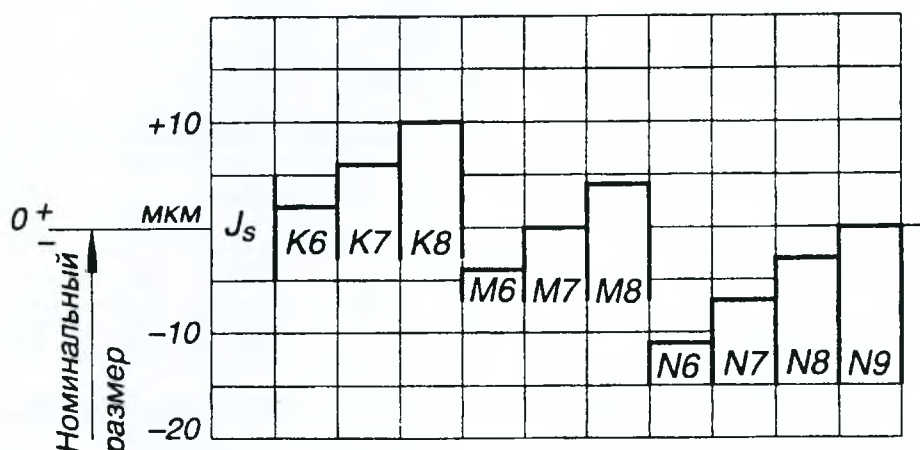
в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Основные отклонения |     |     |     |    |    |    |   |
|-----------------------------------|---------------------|-----|-----|-----|----|----|----|---|
|                                   | A                   | B   | C   | D   | E  | F  | G  | H |
| До 3                              | 270                 | 140 | 60  | 20  | 14 | 6  | 2  | 0 |
| Св. 3 до 6                        | 270                 | 140 | 70  | 30  | 20 | 10 | 4  | 0 |
| Св. 6 до 10                       | 280                 | 150 | 80  | 40  | 25 | 13 | 5  | 0 |
| Св. 10 до 18                      | 290                 | 150 | 95  | 50  | 32 | 16 | 6  | 0 |
| Св. 18 до 30                      | 300                 | 160 | 110 | 65  | 40 | 20 | 7  | 0 |
| Св. 30 до 40                      | 310                 | 170 | 120 | 80  | 50 | 25 | 9  | 0 |
| Св. 40 до 50                      | 320                 | 180 | 130 |     |    |    |    |   |
| Св. 50 до 65                      | 340                 | 190 | 140 | 100 | 60 | 30 | 10 | 0 |
| Св. 65 до 80                      | 360                 | 200 | 150 |     |    |    |    |   |
| Св. 80 до 100                     | 380                 | 220 | 170 | 120 | 72 | 36 | 12 | 0 |
| Св. 100 до 120                    | 410                 | 240 | 180 |     |    |    |    |   |

Продолжение Таблицы 4П

|                |      |     |     |     |     |    |    |   |
|----------------|------|-----|-----|-----|-----|----|----|---|
| Св. 120 до 140 | 460  | 260 | 200 | 145 | 85  | 43 | 14 | 0 |
| Св. 140 до 160 | 520  | 280 | 210 |     |     |    |    |   |
| Св. 160 до 180 | 580  | 310 | 230 |     |     |    |    |   |
| Св. 180 до 200 | 660  | 340 | 240 | 170 | 100 | 50 | 15 | 0 |
| Св. 200 до 225 | 740  | 380 | 260 |     |     |    |    |   |
| Св. 225 до 250 | 820  | 420 | 280 |     |     |    |    |   |
| Св. 250 до 280 | 920  | 480 | 300 | 190 | 110 | 56 | 17 | 0 |
| Св. 280 до 315 | 1050 | 540 | 330 |     |     |    |    |   |
| Св. 315 до 355 | 1200 | 600 | 360 |     |     |    |    |   |
| Св. 355 до 400 | 1350 | 680 | 400 | 210 | 125 | 62 | 18 | 0 |
| Св. 400 до 450 | 1500 | 760 | 440 |     |     |    |    |   |
| Св. 450 до 500 | 1650 | 840 | 480 |     |     |    |    |   |

Примечание: Таблица приведена в сокращении.

Таблица 5П – Значения основных отклонений отверстий (верхние отклонения  $ES$ )

в микрометрах

| Интервал<br>номинальных<br>размеров, мм | Основные отклонения                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                         | $J_s$                                        | $K6$ | $K7$ | $K8$ | $M6$ | $M7$ | $M8$ | $N6$ | $N7$ | $N8$ | $N9$ |
| До 3                                    | Предельные отклонения = $\pm 1/2$<br>допуска | 0    | 0    | 0    | -2   | -2   | —    | -4   | -4   | -4   | -4   |
| Св. 3 до 6                              |                                              | +2   | +3   | +5   | -1   | 0    | +2   | -5   | -4   | -2   | 0    |
| Св. 6 до 10                             |                                              | +2   | +5   | +6   | -3   | 0    | +1   | -7   | -4   | -3   | 0    |
| Св. 10 до 18                            |                                              | +2   | +6   | +8   | -4   | 0    | +2   | -9   | -5   | -3   | 0    |
| Св. 18 до 24                            |                                              | +2   | +6   | +10  | -4   | 0    | +4   | -11  | -7   | -3   | 0    |
| Св. 24 до 30                            |                                              | +2   | +6   | +10  | -4   | 0    | +4   | -11  | -7   | -3   | 0    |
| Св. 30 до 40                            |                                              | +3   | +7   | +12  | -4   | 0    | +5   | -12  | -8   | -3   | 0    |
| Св. 40 до 50                            |                                              | +3   | +7   | +12  | -4   | 0    | +5   | -12  | -8   | -3   | 0    |

Продолжение Таблицы 5П

|                |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
|----------------|-------------------------------------------|----|-----|-----|-----|---|-----|-----|-----|----|---|
| Св. 50 до 65   | Предельные отклонения = $\pm 1/2$ допуска | +4 | +9  | +14 | -5  | 0 | +5  | -14 | -9  | -4 | 0 |
| Св. 65 до 80   |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 80 до 100  |                                           | +4 | +10 | +16 | -6  | 0 | +6  | -16 | -10 | -4 | 0 |
| Св. 100 до 120 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 120 до 140 |                                           | +4 | +12 | +20 | -8  | 0 | +8  | -20 | -12 | -4 | 0 |
| Св. 140 до 160 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 160 до 180 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 180 до 200 |                                           | +5 | +13 | +22 | -8  | 0 | +9  | -22 | -14 | -5 | 0 |
| Св. 200 до 225 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 225 до 250 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 250 до 280 |                                           | +5 | +16 | +25 | -9  | 0 | +9  | -25 | -14 | -5 | 0 |
| Св. 280 до 315 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 315 до 355 |                                           | +7 | +17 | +28 | -10 | 0 | +11 | -26 | -16 | -5 | 0 |
| Св. 355 до 400 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |
| Св. 400 до 450 |                                           | +8 | +18 | +29 | -10 | 0 | +11 | -27 | -17 | -6 | 0 |
| Св. 450 до 500 |                                           |    |     |     |     |   |     |     |     |    |   |

Примечание: Таблица приведена в сокращении.

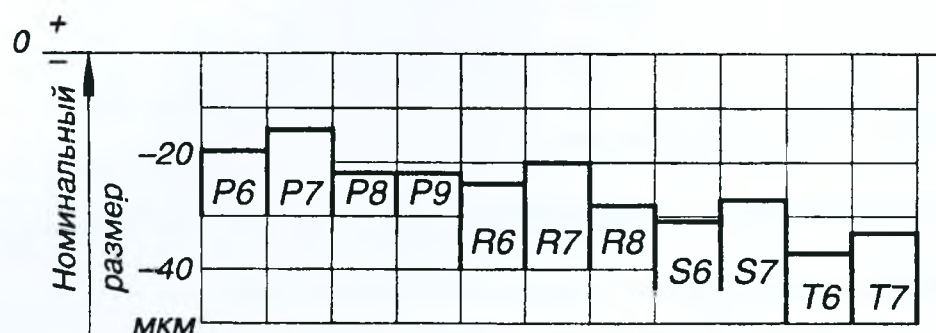


Таблица 6П – Значения основных отклонений отверстий (верхние отклонения  $es$  со знаком «-») в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Основные отклонения |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                   | $P6$                | $P7$ | $P8$ | $P9$ | $R6$ | $R7$ | $R8$ | $S6$ | $S7$ | $T6$ | $T7$ |
| До 3                              | 6                   | 6    | 6    | 6    | 10   | 10   | 10   | 14   | 14   | —    | —    |
| Св. 3 до 6                        | 9                   | 8    | 12   | 12   | 12   | 11   | 15   | 16   | 15   | —    | —    |
| Св. 6 до 10                       | 12                  | 9    | 15   | 15   | 16   | 13   | 19   | 20   | 17   | —    | —    |
| Св. 10 до 18                      | 15                  | 11   | 18   | 18   | 20   | 16   | 23   | 25   | 21   | —    | —    |
| Св. 18 до 24                      | 18                  | 14   | 22   | 22   | 24   | 20   | 28   | 31   | 27   | —    | —    |
| Св. 24 до 30                      |                     |      |      |      |      |      |      |      |      | 33   | 33   |
| Св. 30 до 40                      | 21                  | 17   | 26   | 26   | 29   | 25   | 34   | 38   | 34   | 43   | 39   |
| Св. 40 до 50                      |                     |      |      |      |      |      |      |      |      | 49   | 45   |
| Св. 50 до 65                      | 26                  | 21   | 32   | 32   | 35   | 30   | 41   | 47   | 42   | 60   | 55   |
| Св. 65 до 80                      |                     |      |      |      | 37   | 32   | 43   | 53   | 48   | 69   | 64   |
| Св. 80 до 100                     | 30                  | 24   | 37   | 37   | 44   | 38   | 51   | 64   | 58   | 84   | 78   |
| Св. 100 до 120                    |                     |      |      |      | 47   | 41   | 54   | 72   | 66   | 97   | 91   |
| Св. 120 до 140                    | 36                  | 28   | 43   | 43   | 56   | 48   | 63   | 85   | 77   | 115  | 107  |
| Св. 140 до 160                    |                     |      |      |      | 58   | 50   | 65   | 93   | 85   | 127  | 119  |
| Св. 160 до 180                    |                     |      |      |      | 61   | 53   | 68   | 101  | 93   | 139  | 131  |
| Св. 180 до 200                    | 41                  | 33   | 50   | 50   | 68   | 60   | 77   | 113  | 105  | 157  | 149  |
| Св. 200 до 225                    |                     |      |      |      | 71   | 63   | 80   | 121  | 113  | 171  | 163  |
| Св. 225 до 250                    |                     |      |      |      | 75   | 67   | 84   | 131  | 123  | 187  | 179  |
| Св. 250 до 280                    | 47                  | 36   | 56   | 56   | 85   | 74   | 94   | 149  | 138  | 209  | 198  |
| Св. 280 до 315                    |                     |      |      |      | 89   | 78   | 98   | 161  | 150  | 231  | 220  |
| Св. 315 до 355                    | 51                  | 41   | 62   | 62   | 97   | 87   | 108  | 179  | 169  | 257  | 247  |
| Св. 355 до 400                    |                     |      |      |      | 103  | 93   | 114  | 197  | 187  | 283  | 273  |
| Св. 400 до 450                    | 55                  | 45   | 68   | 68   | 113  | 103  | 126  | 219  | 209  | 317  | 307  |
| Св. 450 до 500                    |                     |      |      |      | 119  | 109  | 132  | 239  | 229  | 347  | 337  |

Примечание: Таблица приведена в сокращении.

### 3. ДОПУСКИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ (ГОСТ 24643—81)

Таблица 7П – Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей в микрометрах

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.1  | 0.12 | 0.16 | 0.2  | 0.25 | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.8  |
| 1    | 1.2  | 1.6  | 2    | 2.5  | 3    | 4    | 5    | 6    | 8    |
| 10   | 12   | 16   | 20   | 25   | 30   | 40   | 50   | 60   | 80   |
| 100  | 120  | 160  | 200  | 250  | 300  | 400  | 500  | 600  | 800  |
| 1000 | 1200 | 1600 | 2000 | 2500 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 8000 |

Таблица 8П – Допуски плоскостности и прямолинейности

в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм                                                                                                                                                                                                                                     | Степень точности |     |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  | 8  | 9  | 10  | 11  | 12  | 13   | 14   | 15   | 16   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                       | мкм              |     |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     | мм   |      |      |      |
| До 10                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0.25             | 0.4 | 0.6 | 1   | 1.6 | 2.5 | 4  | 6  | 10 | 16  | 25  | 40  | 0.06 | 0.1  | 0.16 | 0.25 |
| Свыше 10 до 16                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.3              | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 5  | 8  | 12 | 20  | 30  | 50  | 0.08 | 0.12 | 0.2  | 0.3  |
| Свыше 16 до 25                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.4              | 0.6 | 1   | 1.6 | 2.5 | 4   | 6  | 10 | 16 | 25  | 40  | 60  | 0.1  | 0.16 | 0.25 | 0.4  |
| Свыше 25 до 40                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.5              | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8  | 12 | 20 | 30  | 50  | 80  | 0.12 | 0.2  | 0.3  | 0.5  |
| Свыше 40 до 63                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.6              | 1   | 1.6 | 2.5 | 4   | 6   | 10 | 16 | 25 | 40  | 60  | 100 | 0.16 | 0.25 | 0.4  | 0.4  |
| Свыше 63 до 100                                                                                                                                                                                                                                                       | 0.8              | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8   | 12 | 20 | 30 | 50  | 80  | 120 | 0.2  | 0.3  | 0.5  | 0.8  |
| Свыше 100 до 160                                                                                                                                                                                                                                                      | 1                | 1.6 | 2.5 | 4   | 6   | 10  | 16 | 25 | 40 | 60  | 100 | 160 | 0.25 | 0.4  | 0.6  | 1    |
| Свыше 160 до 250                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.2              | 2   | 3   | 5   | 8   | 12  | 20 | 30 | 50 | 80  | 120 | 200 | 0.3  | 0.5  | 0.8  | 1.2  |
| Свыше 250 до 400                                                                                                                                                                                                                                                      | 1.6              | 2.5 | 4   | 6   | 10  | 16  | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 0.4  | 0.6  | 1    | 1.6  |
| Примечание: Под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка. Если нормируемый участок не задан, то под номинальным размером понимается номинальная длина большей стороны поверхности или номинальный больший диаметр торцевой поверхности. |                  |     |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     |      |      |      |      |

Таблица 9П – Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения

в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Степень точности |     |     |     |     |    |    |    |    |     |     |     |      |      |      |     |
|-----------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
|                                   | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9  | 10  | 11  | 12  | 13   | 14   | 15   | 16  |
|                                   | МКМ              |     |     |     |     |    |    |    |    |     |     |     | ММ   |      |      |     |
| До 3                              | 0.3              | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 2   | 3  | 5  | 8  | 12 | 20  | 30  | 50  | 0.08 | 0.12 | 0.2  | 0.3 |
| Свыше 3 до 10                     | 0.4              | 0.6 | 1   | 1.6 | 2.5 | 4  | 6  | 10 | 16 | 25  | 40  | 60  | 0.1  | 0.16 | 0.25 | 0.4 |
| Свыше 10 до 18                    | 0.5              | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 5  | 8  | 12 | 20 | 30  | 50  | 80  | 0.12 | 1.2  | 0.3  | 0.5 |
| Свыше 18 до 30                    | 0.6              | 1   | 1.6 | 2.5 | 4   | 6  | 10 | 16 | 25 | 40  | 60  | 100 | 0.16 | 0.25 | 0.4  | 0.6 |
| Свыше 30 до 50                    | 0.8              | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8  | 12 | 20 | 30 | 50  | 80  | 120 | 0.2  | 0.3  | 0.5  | 0.8 |
| Свыше 50 до 120                   | 1                | 1.6 | 2.5 | 4   | 6   | 10 | 15 | 25 | 40 | 60  | 100 | 160 | 0.25 | 0.4  | 0.6  | 1   |
| Свыше 120 до 250                  | 1.2              | 2   | 3   | 5   | 8   | 12 | 20 | 30 | 50 | 80  | 120 | 200 | 0.3  | 0.5  | 0.8  | 1.2 |
| Свыше 250 до 400                  | 1.6              | 2.5 | 4   | 6   | 10  | 16 | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 0.4  | 0.6  | 1    | 1.6 |

Примечание: Под номинальным размером понимается номинальный диаметр поверхности.

Таблица 10П – Допуски параллельности, перпендикулярности, торцового биения

в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм | Степень точности |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     |     |      |      |      |     |
|-----------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|
|                                   | 1                | 2   | 3   | 4   | 5   | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  | 13   | 14   | 15   | 16  |
|                                   | МКМ              |     |     |     |     |    |    |    |     |     |     |     | ММ   |      |      |     |
| До 10                             | 0.4              | 0.6 | 1   | 1.6 | 2.5 | 4  | 6  | 10 | 16  | 25  | 40  | 60  | 0.1  | 0.16 | 0.25 | 0.4 |
| Свыше 10 до 16                    | 0.5              | 0.8 | 1.2 | 2   | 3   | 5  | 8  | 12 | 20  | 30  | 50  | 80  | 0.12 | 0.2  | 0.3  | 0.5 |
| Свыше 16 до 25                    | 0.6              | 1   | 1.6 | 2.5 | 4   | 6  | 10 | 16 | 25  | 40  | 60  | 100 | 0.16 | 0.25 | 0.4  | 0.6 |
| Свыше 25 до 40                    | 0.8              | 1.2 | 2   | 3   | 5   | 8  | 12 | 20 | 30  | 50  | 80  | 120 | 0.2  | 0.3  | 0.5  | 0.8 |
| Свыше 40 до 63                    | 1                | 1.6 | 2.5 | 4   | 6   | 10 | 16 | 25 | 40  | 60  | 100 | 160 | 0.25 | 0.4  | 0.6  | 1   |
| Свыше 63 до 100                   | 1.2              | 2   | 3   | 5   | 8   | 12 | 20 | 30 | 50  | 80  | 120 | 200 | 0.3  | 0.5  | 0.8  | 1.2 |
| Свыше 100 до 160                  | 1.6              | 2.5 | 4   | 6   | 10  | 16 | 25 | 40 | 60  | 100 | 160 | 250 | 0.4  | 0.6  | 1    | 1.6 |
| Свыше 160 до 250                  | 2                | 3   | 5   | 8   | 12  | 20 | 30 | 50 | 80  | 120 | 200 | 300 | 0.5  | 0.8  | 1.2  | 2   |
| Свыше 250 до 400                  | 2.5              | 4   | 6   | 10  | 16  | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 400 | 0.6  | 1    | 1.6  | 2.5 |

Примечание: При назначении допусков параллельности и перпендикулярности под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка или номинальная длина всей рассматриваемой поверхности, если нормируемый участок не задан. При назначении допусков торцового биения под номинальным размером понимается заданный номинальный диаметр или номинальный больший диаметр торцовой поверхности.

Таблица 11П – Допуски радиального биения, соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральном выражении

в микрометрах

| Интервал номинальных размеров, мм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Степень точности |     |     |    |    |    |    |     |     |     |     |     |      |     |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----|-----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 1                | 2   | 3   | 4  | 5  | 6  | 7  | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13   | 14  | 15  | 16  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | мкм              |     |     |    |    |    |    |     |     |     |     |     | мм   |     |     |     |
| До 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 0.8              | 1.2 | 2   | 3  | 5  | 8  | 12 | 20  | 30  | 50  | 80  | 120 | 0.2  | 0.3 | 0.5 | 0.8 |
| Свыше 3 до 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1                | 1.6 | 2.5 | 4  | 6  | 10 | 16 | 25  | 40  | 60  | 100 | 160 | 0.25 | 0.4 | 0.6 | 1   |
| Свыше 10 до 18                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1.2              | 2   | 3   | 5  | 8  | 12 | 20 | 30  | 50  | 80  | 120 | 200 | 0.3  | 0.5 | 0.8 | 1.2 |
| Свыше 18 до 30                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 1.6              | 2.5 | 4   | 6  | 10 | 16 | 25 | 40  | 60  | 100 | 160 | 250 | 0.4  | 0.6 | 1   | 1.6 |
| Свыше 30 до 50                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 2                | 3   | 5   | 8  | 12 | 20 | 30 | 50  | 80  | 120 | 200 | 300 | 0.5  | 0.8 | 1.2 | 2   |
| Свыше 50 до 120                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 2.5              | 4   | 6   | 10 | 16 | 25 | 40 | 60  | 100 | 160 | 250 | 400 | 0.6  | 1   | 1.6 | 2.5 |
| Свыше 120 до 250                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 3                | 5   | 8   | 12 | 20 | 30 | 50 | 80  | 120 | 200 | 300 | 500 | 0.8  | 1.2 | 2   | 3   |
| Свыше 250 до 400                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 4                | 6   | 10  | 16 | 25 | 40 | 60 | 100 | 160 | 250 | 400 | 600 | 1    | 1.6 | 2.5 | 4   |
| Примечание: При назначении допусков радиального биения под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности. При назначении допусков соосности, симметричности, пересечения осей под номинальным размером понимается номинальный диаметр рассматриваемой поверхности вращения или номинальный размер между поверхностями, образующими рассматриваемый симметричный элемент. Если база не указывается, то допуск определяется по элементу с большим размером. |                  |     |     |    |    |    |    |     |     |     |     |     |      |     |     |     |

#### 4. УГЛЫ И КОНУСЫ

Таблица 12П – Нормальные углы (ГОСТ 8908—2000)

в градусах

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

Таблица 13П – Предельные отклонения углов ( $\pm$ ) (ГОСТ 8908—2000)

в градусах

| Интервалы длин меньшей стороны угла, мм | Степень точности |     |     |     |       |       |       |     |     |     |
|-----------------------------------------|------------------|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-----|
|                                         | 1                | 2   | 3   | 4   | 5     | 6     | 7     | 8   | 9   | 10  |
| Св. 12 До 20                            | 15"              | 25" | 40" | 1'  | 1'30" | 2'30" | 4'    | 10' | 25' | 1°  |
| Св. 20 До 32                            | 12"              | 20" | 30" | 50" | 1'15" | 2'    | 3'    | 8'  | 20' | 50' |
| Св. 32 До 50                            | 10"              | 15" | 25" | 40" | 1'    | 1'30" | 2'30" | 6'  | 15' | 40' |
| Св. 50 До 80                            | 8"               | 12" | 20" | 30" | 50"   | 1'15" | 2'    | 5'  | 12' | 30' |
| Св. 80 До 120                           | 6"               | 10" | 15" | 25" | 40"   | 1'    | 1'30" | 4'  | 10' | 25' |

#### 5. ПОДШИПНИКИ КАЧЕНИЯ

Таблица 14П – Предельные отклонения наружного диаметра колец шариковых и роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных (по ГОСТ 3476-79)

в микрометрах

| Интервалы номинальных диаметров, $D$ , мм | Допускаемые отклонения наружного диаметра кольца |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------------------------|--------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                                           | $D_{cp}$                                         |      |      | $D$  |      |      |      |
|                                           | Классы точности подшипников                      |      |      |      |      |      |      |
|                                           | 0,6                                              | 0    | 6    | 0    |      | 6    |      |
|                                           | $es$                                             | $ei$ | $ei$ | $es$ | $ei$ | $es$ | $ei$ |
| Свыше 18 до 30                            | 0                                                | -9   | -8   | +2   | -11  | +1   | -9   |
| Свыше 30 до 50                            | 0                                                | -11  | -9   | +3   | -14  | +2   | -11  |
| Свыше 50 до 80                            | 0                                                | -13  | -11  | +4   | -17  | +2   | -13  |
| Свыше 80 до 120                           | 0                                                | -15  | -13  | +5   | -20  | +2   | -15  |
| Свыше 120 до 150                          | 0                                                | -18  | -15  | +6   | -24  | +3   | -18  |
| Свыше 150 до 180                          | 0                                                | -25  | -18  | +7   | -32  | +3   | -21  |

#### 6. РЕЗЬБЫ

Таблица 15П – Основные размеры резьб (ГОСТ 8724—81)

в миллиметрах

| Шаг резьбы, $S$ | Наружный диаметр $d$ для резьб |                | Средний диаметр, $d_2$  | Внутренний диаметр, $d_1$ |
|-----------------|--------------------------------|----------------|-------------------------|---------------------------|
|                 | с крупным шагом                | с мелким шагом |                         |                           |
| 1               | 6                              | 8<br>10        | 5,350<br>7,350<br>9,350 | 4,918<br>6,918<br>8,918   |

Продолжение таблицы 15П

|      |                |                            |                                                                    |                                                                    |
|------|----------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1,25 | 8              | 10                         | 7,188<br>9,188                                                     | 6,647<br>8,647                                                     |
| 1,5  | 10             | 12<br>14<br>16             | 9,026<br>11,026<br>13,026<br>15,026                                | 8,376<br>10,376<br>12,376<br>14,376                                |
| 1,75 | 12             |                            | 10,863                                                             | 10,106                                                             |
| 2    | 14<br>16       | 18<br>20<br>22<br>24       | 12,701<br>14,701<br>16,701<br>18,701<br>20,701<br>22,701           | 11,835<br>13,835<br>15,835<br>17,835<br>19,835<br>21,835           |
| 2,5  | 18<br>20<br>22 |                            | 16,376<br>18,376<br>20,376                                         | 15,294<br>17,294<br>19,294                                         |
| 3    | 24<br>27       | 30<br>33<br>40<br>42<br>45 | 22,051<br>25,051<br>28,051<br>31,051<br>38,051<br>40,051<br>43,051 | 20,752<br>23,752<br>26,752<br>29,752<br>36,752<br>38,752<br>41,752 |
| 3,5  | 30<br>33       |                            | 27,727<br>30,727                                                   | 26,211<br>29,211                                                   |

Таблица 16П – Допуски и отклонения среднего, наружного и внутреннего диаметра резьбы  
(по ГОСТ 16093—81)

в микрометрах

| Шаг резьбы S, мм | Номинальный диаметр резьбы d, мм    | Верхнее отклонение d, d <sub>1</sub> и d <sub>2</sub> |     |     |      | Допуск среднего диаметра d <sub>2</sub> |            |            |            | Допуск наружного диаметра d <sub>1</sub> |     |     |
|------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----|-----|------|-----------------------------------------|------------|------------|------------|------------------------------------------|-----|-----|
|                  |                                     | поля допусков                                         |     |     |      | Степень точности                        |            |            |            | степень точности                         |     |     |
|                  |                                     | h                                                     | g   | e   | d    | 4                                       | 6          | 7          | 8          | 4                                        | 6   | 8   |
| 1                | св. 5,6 до 11,2<br>св. 11,2 до 22,4 | 0                                                     | -26 | -60 | 290  | 71<br>75                                | 112<br>118 | 140<br>150 | 180<br>190 | 112                                      | 180 | 280 |
| 1,25             | св. 5,6 до 11,2<br>св. 11,2 до 22,4 | 0                                                     | -28 | -63 | -95  | 75<br>85                                | 118<br>132 | 150<br>170 | 190<br>212 | 132                                      | 212 | 335 |
| 1,5              | св. 5,6 до 11,2<br>св. 11,2 до 22,4 | 0                                                     | -32 | -67 | -95  | 85<br>90                                | 132<br>140 | 170<br>180 | 212<br>224 | 150                                      | 236 | 375 |
| 1,75             | св. 11,2 до 22,4                    | 0                                                     | -34 | -71 | -100 | 95                                      | 150        | 190        | 236        | 170                                      | 265 | 425 |
| 2                | св. 11,2 до 22,4<br>св. 22,4 до 45  | 0                                                     | -38 | -71 | -100 | 100<br>106                              | 160<br>170 | 200<br>212 | 250<br>265 | 180                                      | 285 | 450 |
| 2,5              | св. 11,2 до 22,4                    | 0                                                     | -42 | -80 | -106 | 106                                     | 170        | 212        | 265        | 212                                      | 335 | 530 |
| 3                | св. 22,4 до 45                      | 0                                                     | -48 | -85 | -112 | 125                                     | 200        | 250        | 315        | -236                                     | 375 | 600 |
| 3,5              | св. 22,4 до 45                      | 0                                                     | -53 | -90 | -118 | 132                                     | 212        | 265        | 335        | 265                                      | 425 | 670 |

## 7. КАЛИБРЫ ГЛАДКИЕ ДЛЯ ОТВЕРСТИЙ

Таблица 17П – Формулы для вычисления исполнительных размеров предельных калибров с номинальными размерами изделий до 500 мм

| Вид калибра и условное обозначение                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                          | Номинальные размеры изделия, мм    |                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                          | До 180                             | Свыше 180 до 500                              |
| Калибр-пробка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | Проходной новый Р-ПР <sub>исп</sub>      | $(D_{\min} + z + 0,5H)_{-H}$       | $(D_{\min} + z + 0,5H)_{-H}$                  |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Проходной изношенный Р-ПР <sub>изн</sub> | $D_{\min} - y$                     | $D_{\min} - y + \alpha$                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Непроходной Р-НЕ <sub>исп</sub>          | $(D_{\max} + 0,5H)_{-H}$           | $(D_{\max} - \alpha + 0,5H)_{-H}$             |
| Калибр-скоба                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | Проходной новый Р-ПР <sub>исп</sub>      | $(d_{\max} - z_1 - 0,5H_1)^{+H_1}$ | $(d_{\max} - z_1 - 0,5H_1)^{+H_1}$            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Проходной изношенный Р-ПР <sub>изн</sub> | $d_{\max} + y_1$                   | $d_{\max} + y_1 - \alpha_1$                   |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Непроходной Р-НЕ <sub>исп</sub>          | $(d_{\min} - 0,5H_1)^{+H_1}$       | $(d_{\min} + \alpha_1 - 0,5H_1)^{+H_1}$       |
| Контрольный калибр                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Проходной новый К-ПР <sub>исп</sub>      | $(d_{\max} - z_1 + 0,5H_1)_{-H_p}$ | $(d_{\max} - z_1 + 0,5H_1)_{-H_p}$            |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Проходной изношенный К-ПР <sub>изн</sub> | $(d_{\max} + y_1 + 0,5H_p)_{-H_p}$ | $(d_{\max} + y_1 - \alpha_1 + 0,5H_p)_{-H_p}$ |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Непроходной К-НЕ <sub>исп</sub>          | $(d_{\min} + 0,5H_1)_{-H_p}$       | $(d_{\min} + \alpha_1 + 0,5H_1)_{-H_p}$       |
| Примечание: Исполнительные размеры калибров округляют по следующим правилам: размеры рабочих калибров для изделий квалитетов 15...17 – до целого микрометра; для изделий квалитетов 6...14 и всех контрольных приборов – до значений, кратных 0,5 мкм, при этом допуск на калибры сохраняется; размеры, оканчивающиеся на 0,25 и 0,75 мкм округляют до значений, кратных 0,5 мкм, в сторону сокращения производственного допуска изделия. |                                          |                                    |                                               |

Таблица 18П – Допуски и отклонения калибров (по СТ СЭВ 157-75)

в микрометрах

| Квалитет | Обозначения параметров           | Интервалы размеров, мм |            |             |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                | Допуск на форму |
|----------|----------------------------------|------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
|          |                                  | До 3                   | Св. 3 до 6 | Св. 6 до 10 | Св. 10 до 18 | Св. 18 до 30 | Св. 30 до 50 | Св. 50 до 80 | Св. 80 до 120 | Св. 120 до 180 | Св. 180 до 250 | Св. 250 до 315 | Св. 315 до 400 | Св. 400 до 500 |                 |
| 6        | z                                | 1                      | 1,5        | 1,5         | 2            | 2            | 2,5          | 2,5          | 3             | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | —               |
|          | y                                | 1                      | 1          | 1           | 1,5          | 1,5          | 2            | 2            | 3             | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | —               |
|          | α, α <sub>1</sub>                | 0                      | 0          | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0             | 0              | 2              | 3              | 4              | 5              | —               |
|          | z <sub>1</sub>                   | 1,5                    | 2          | 2           | 2,5          | 3            | 3,5          | 4            | 5             | 6              | 7              | 8              | 10             | 11             | —               |
|          | y <sub>1</sub>                   | 1,5                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 3            | 3            | 3            | 4             | 4              | 5              | 6              | 6              | 7              | —               |
|          | H; H <sub>S</sub>                | 1,2                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             | 5              | 7              | 8              | 9              | 10             | IT1             |
|          | H <sub>1</sub>                   | 2                      | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 4            | 5            | 6             | 8              | 10             | 12             | 13             | 15             | IT2             |
|          | H <sub>P</sub>                   | 0,8                    | 1          | 1           | 1,2          | 1,5          | 1,5          | 2            | 2,5           | 3,5            | 4,5            | 6              | 7              | 8              | IT1             |
| 7        | z, z <sub>1</sub>                | 1,5                    | 2          | 2           | 2,5          | 3            | 3,5          | 4            | 5             | 6              | 7              | 8              | 10             | 11             | —               |
|          | y, y <sub>1</sub>                | 1,5                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 3            | 3            | 3            | 4             | 4              | 6              | 7              | 8              | 9              | —               |
|          | α, α <sub>1</sub>                | 0                      | 0          | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0             | 0              | 3              | 4              | 6              | 7              | —               |
|          | H; H <sub>1</sub>                | 2                      | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 4            | 5            | 6             | 8              | 10             | 12             | 13             | 15             | IT2             |
|          | H <sub>S</sub>                   | —                      | —          | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             | 5              | 7              | 8              | 9              | 10             | IT1             |
|          | H <sub>P</sub>                   | 0,8                    | 1          | 1           | 1,2          | 1,5          | 1,5          | 2            | 2,5           | 3,5            | 4,5            | 6              | 7              | 8              | IT1             |
|          |                                  |                        |            |             |              |              |              |              |               |                |                |                |                |                |                 |
| 8        | z, z <sub>1</sub>                | 2                      | 3          | 3           | 4            | 5            | 6            | 7            | 8             | 9              | 12             | 14             | 16             | 18             | —               |
|          | y, y <sub>1</sub>                | 3                      | 3          | 3           | 4            | 4            | 5            | 5            | 6             | 6              | 7              | 9              | 9              | 11             | —               |
|          | α, α <sub>1</sub>                | 0                      | 0          | 0           | 0            | 0            | 0            | 0            | 0             | 0              | 4              | 6              | 7              | 9              | —               |
|          | H                                | 2                      | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 4            | 5            | 6             | 8              | 10             | 12             | 13             | 15             | IT2             |
|          | H <sub>1</sub>                   | 3                      | 4          | 4           | 5            | 6            | 7            | 8            | 10            | 12             | 14             | 16             | 18             | 20             | IT3             |
|          | H <sub>S</sub> *; H <sub>P</sub> | 1,2                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             | 5              | 7              | 8              | 9              | 10             | IT1             |

|    |                    |     |     |     |    |     |     |    |    |    |    |    |    |    |     |
|----|--------------------|-----|-----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 9  | $z; z_1$           | 5   | 6   | 7   | 8  | 9   | 11  | 13 | 15 | 18 | 21 | 24 | 28 | 32 | —   |
|    | $\alpha; \alpha_1$ | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 4  | 6  | 7  | 9  | —   |
|    | $H$                | 2   | 2,5 | 2,5 | 3  | 4   | 4   | 5  | 6  | 8  | 10 | 12 | 13 | 15 | IT2 |
|    | $H_1$              | 3   | 4   | 4   | 5  | 6   | 7   | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | IT3 |
|    | $H_S^*; H_P$       | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 2  | 2,5 | 2,5 | 3  | 4  | 5  | 7  | 8  | 9  | 10 | IT1 |
| 10 | $z; z_1$           | 5   | 6   | 7   | 8  | 9   | 11  | 13 | 15 | 18 | 24 | 27 | 32 | 37 | —   |
|    | $\alpha; \alpha_1$ | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 7  | 9  | 11 | 14 | —   |
|    | $H$                | 2   | 2,5 | 2,5 | 3  | 4   | 4   | 5  | 6  | 8  | 10 | 12 | 13 | 15 | IT2 |
|    | $H_1$              | 3   | 4   | 4   | 5  | 6   | 7   | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | IT3 |
|    | $H_S^*; H_P$       | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 2  | 2,5 | 2,5 | 3  | 4  | 5  | 7  | 8  | 9  | 10 | IT1 |
| 11 | $z; z_1$           | 10  | 12  | 14  | 16 | 19  | 22  | 25 | 28 | 32 | 40 | 45 | 50 | 55 | —   |
|    | $\alpha; \alpha_1$ | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0  | 0  | 0  | 10 | 15 | 15 | 20 | —   |
|    | $H; H_1$           | 4   | 5   | 6   | 8  | 9   | 11  | 15 | 15 | 18 | 20 | 23 | 25 | 27 | IT4 |
|    | $H_S$              | —   | —   | 4   | 5  | 6   | 7   | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | IT3 |
|    | $H_P$              | 1,2 | 1,5 | 1,5 | 2  | 2,5 | 2,5 | 3  | 4  | 5  | 7  | 8  | 9  | 10 | IT1 |

\*К размерам до 6 мм не относится

Примечания: 1.Числовые значения стандартных допусков принимают по ГОСТ 25346-89.

2.Для квалитетов с 9 по 11 у и у<sub>1</sub> равны нулю.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Якушев А.И., Воронцов Л.Н., Федотов Н.М. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения. – М.: Машиностроение, 1987.

2. Соломахо В.Л., Цитович Б.В. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. – Мн.: Дизайн ПРО, 2004.

3. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Лаб. практикум/Б.В. Цитович, В.Л. Соломахо, Л.Д. Ковалев. – Мн.: Выш. шк., 1987.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....                                                                                                                                               | 3  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Измерение наружных и внутренних размеров детали штангенинструментом.....                                                           | 4  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Измерение углов угломерами.....                                                                                                    | 7  |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Измерение наружных и внутренних размеров детали микрометрическим инструментом.....                                                 | 10 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Измерение размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей относительным методом. Плоскопараллельные концевые меры длины..... | 14 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5. Измерение диаметра отверстия индикаторным нутромером.....                                                                           | 17 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Измерение радиального, торцевого биений и погрешности формы вала.....                                                              | 20 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Измерение гладкого калибра микрокатером (оптикатором).....                                                                         | 24 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8. Измерение наружного диаметра подшипника на горизонтальном оптиметре.....                                                            | 26 |
| ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9. Измерение среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром.....                                                                       | 29 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....                                                                                                                                             | 32 |
| 1. Построение схем полей допусков.....                                                                                                                      | 32 |
| 2. Система допусков и посадок гладких соединений.....                                                                                                       | 33 |
| 3. Допуски формы и расположения поверхностей (ГОСТ 24643—81).....                                                                                           | 38 |
| 4. Углы и конусы.....                                                                                                                                       | 42 |
| 5. Подшипники качения.....                                                                                                                                  | 42 |
| 6. Резьбы.....                                                                                                                                              | 42 |
| 7. Калибры гладкие для отверстий.....                                                                                                                       | 44 |
| ЛИТЕРАТУРА.....                                                                                                                                             | 47 |

**Учебное издание**

Составители: Григорьев Владимир Федорович  
Хоронжевский Юрий Анатольевич

# **Нормирование точности и технические измерения**

Методическое пособие к лабораторным работам для студентов  
машиностроительных специальностей

## **ЧАСТЬ I**

### **Методы и средства линейно-угловых измерений**

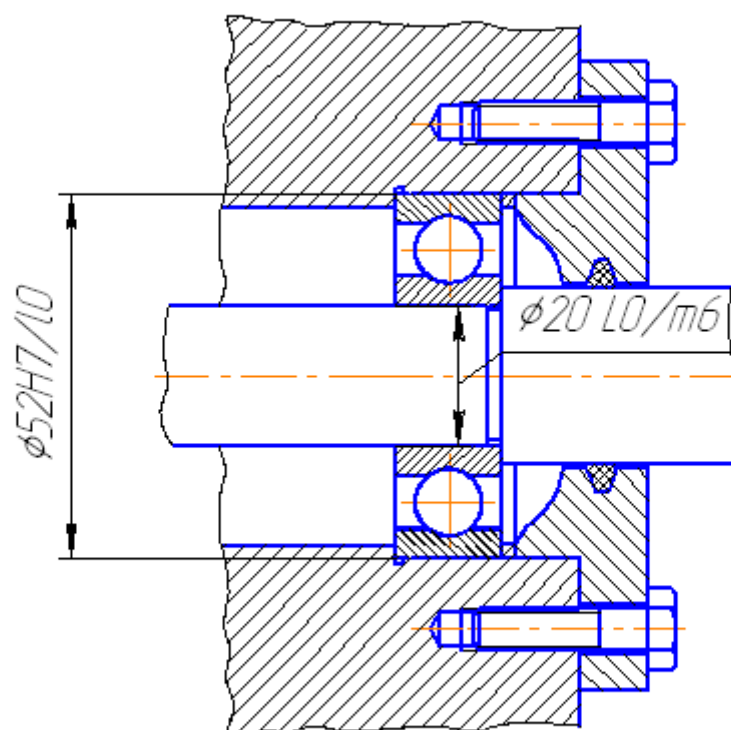
Ответственный за выпуск: Григорьев В.Ф.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Компьютерный набор: Волощук А.А.  
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 30.03.2006 г. Формат 60х84 1/8. Бумага «Океан». Усл. п. л. 5,6.  
Уч.-изд. л. 6,0. Заказ № 323. Тираж 120 экз. Отпечатано на ризографе учреждения  
образования «Брестский государственный технический университет».  
224017, г.Брест, ул. Московская, 267.

В.Ф. Григорьев  
Ю.А. Хоронжевский

# ***Нормирование точности и технические измерения***



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

Кафедра машиноведения

## **Нормирование точности и технические измерения**

**Методическое пособие к выполнению  
расчётно-графических и курсовых работ  
для студентов машиностроительных  
специальностей  
2-е издание, исправленное и дополненное**

Брест 2008

УДК 621 – 182.8

Методическое пособие к выполнению *расчётно-графических и курсовых работ* для студентов машиностроительных специальностей.

Одобрено на заседании кафедры и  
рекомендовано к изданию

Составители: Григорьев В. Ф., доцент, к. т. н.  
Хоронжевский Ю. А., ст. преподаватель

Рецензент: З.В. Кучур, руководитель лаборатории геометрических измерений СП  
ОАО «Брестгазоаппарат»

Учреждение образования  
© «Брестский государственный технический университет», 2008

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                | с. |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1. Гладкие сопряжения и калибры . . . . .                      | 5  |
| 2. Расчёт и выбор посадок подшипника качения. . . . .          | 15 |
| 3. Шероховатость, отклонения формы и расположения поверхностей | 21 |
| 4. Допуски и посадки шпоночных и шлицевых соединений. . . . .  | 31 |
| 5. Резьбовые соединения . . . . .                              | 41 |
| 6. Допуски и контроль зубчатых передач. . . . .                | 49 |
| 7. Расчёт размерных цепей . . . . .                            | 55 |
| Литература . . . . .                                           | 68 |

# 1. ГЛАДКИЕ СОПРЯЖЕНИЯ И КАЛИБРЫ

## 1.1 Расчет допусков и посадок гладких цилиндрических сопряжений

### 1.1.1 Задание

Определить систему и тип посадки, предельные размеры валов и отверстий для заданных посадок, параметры посадок (максимальный и минимальный зазоры, натяги в соединениях), рассчитать допуски валов, отверстий, посадок и проверить правильность расчётов, выполнить схемы предложенных посадок и проставить размеры на эскизах.

Для одной из заданных посадок выполнить расчёт калибров: составить схему расположения полей допусков предельных калибров, рассчитать исполнительные размеры калибров, разработать эскизы рассчитанных калибров с простановкой исполнительных размеров, маркировки и шероховатости рабочих поверхностей.

Таблица 1 – Исходные данные к разделу

| №<br>вар | Посадка                                                                                           | №<br>вар | Посадка                                                                                            | №<br>вар | Посадка                                                                                            | №<br>вар | Посадка                                                                                             | №<br>вар | Посадка                                                                                            |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | $\varnothing 24H6/g5$<br>$\varnothing 45S6/h6$<br>$\varnothing 67H7/m6$<br>$\varnothing 42H7/h8$  | 11       | $\varnothing 30H6/f7$<br>$\varnothing 44H7/u6$<br>$\varnothing 77E8/s7$<br>$\varnothing 90H11/h10$ | 21       | $\varnothing 36H7/r7$<br>$\varnothing 46H6/m6$<br>$\varnothing 63F9/h10$<br>$\varnothing 57H9/h8$  | 31       | $\varnothing 22G7/g6$<br>$\varnothing 40U8/h8$<br>$\varnothing 47H8/m7$<br>$\varnothing 75H6/h6$    | 41       | $\varnothing 26H8/f8$<br>$\varnothing 40H8/u7$<br>$\varnothing 55H7/k6$<br>$\varnothing 75H6/h6$   |
| 2        | $\varnothing 40H8/x7$<br>$\varnothing 65H6/h5$<br>$\varnothing 25D8/h8$<br>$\varnothing 53N8/js7$ | 12       | $\varnothing 28H9/u8$<br>$\varnothing 85P8/e7$<br>$\varnothing 120E8/h8$<br>$\varnothing 42H9/h9$  | 22       | $\varnothing 19H6/g6$<br>$\varnothing 48H8/k7$<br>$\varnothing 35H5/r5$<br>$\varnothing 71H7/h6$   | 32       | $\varnothing 80H6/g6$<br>$\varnothing 63H5/r5$<br>$\varnothing 60H7/m7$<br>$\varnothing 38H7/h6$    | 42       | $\varnothing 70F8/h7$<br>$\varnothing 38H9/s8$<br>$\varnothing 56H7/k6$<br>$\varnothing 44H10/h9$  |
| 3        | $\varnothing 38H8/k7$<br>$\varnothing 24E8/h8$<br>$\varnothing 40S7/n6$<br>$\varnothing 60H6/h6$  | 13       | $\varnothing 56H6/k5$<br>$\varnothing 70S6/h7$<br>$\varnothing 105F7/h7$<br>$\varnothing 55H5/h6$  | 23       | $\varnothing 34H7/t6$<br>$\varnothing 55F9/h8$<br>$\varnothing 70H8/m7$<br>$\varnothing 39H10/h9$  | 33       | $\varnothing 85H7/d6$<br>$\varnothing 60H6/r5$<br>$\varnothing 56H7/m6$<br>$\varnothing 20H7/h7$    | 43       | $\varnothing 35H8/x7$<br>$\varnothing 50H7/m6$<br>$\varnothing 70E8/f7$<br>$\varnothing 42H9/h9$   |
| 4        | $\varnothing 35H8/u8$<br>$\varnothing 56H7/m7$<br>$\varnothing 20H6/g5$<br>$\varnothing 45H7/h6$  | 14       | $\varnothing 25H6/f6$<br>$\varnothing 60R8/h7$<br>$\varnothing 53H6/k6$<br>$\varnothing 38H7/h8$   | 24       | $\varnothing 32H9/d9$<br>$\varnothing 60R7/h7$<br>$\varnothing 67H7/k7$<br>$\varnothing 73H9/h9$   | 34       | $\varnothing 100H7/f6$<br>$\varnothing 90H6/t6$<br>$\varnothing 55M7/js7$<br>$\varnothing 35H10/h9$ | 44       | $\varnothing 40P7/h7$<br>$\varnothing 22H8/d8$<br>$\varnothing 37H7/js7$<br>$\varnothing 65H7/h7$  |
| 5        | $\varnothing 19H9/c8$<br>$\varnothing 34H7/s7$<br>$\varnothing 53H7/k5$<br>$\varnothing 21H8/h7$  | 15       | $\varnothing 30A9/f8$<br>$\varnothing 67N9/h8$<br>$\varnothing 73E10/s8$<br>$\varnothing 36H9/h8$  | 25       | $\varnothing 71T7/h8$<br>$\varnothing 56F8/h8$<br>$\varnothing 40H7/m6$<br>$\varnothing 30H8/h7$   | 35       | $\varnothing 17F8/g7$<br>$\varnothing 80H8/s7$<br>$\varnothing 53H7/m6$<br>$\varnothing 34H7/h6$    | 45       | $\varnothing 21H9/f8$<br>$\varnothing 34H7/x8$<br>$\varnothing 48H7/m6$<br>$\varnothing 65H8/h8$   |
| 6        | $\varnothing 18H8/e7$<br>$\varnothing 34R7/h6$<br>$\varnothing 40F8/k7$<br>$\varnothing 50H9/h8$  | 16       | $\varnothing 27H6/f5$<br>$\varnothing 35H7/u6$<br>$\varnothing 48H8/k7$<br>$\varnothing 100H8/h7$  | 26       | $\varnothing 15H6/g5$<br>$\varnothing 28H7/p6$<br>$\varnothing 63K7/k6$<br>$\varnothing 19H11/h10$ | 36       | $\varnothing 32S7/h8$<br>$\varnothing 75H7/u7$<br>$\varnothing 100H9/e8$<br>$\varnothing 16H6/h5$   | 46       | $\varnothing 55P7/h6$<br>$\varnothing 32H8/u7$<br>$\varnothing 100E7/f6$<br>$\varnothing 43H10/h9$ |
| 7        | $\varnothing 30H6/t5$<br>$\varnothing 20G5/h5$<br>$\varnothing 32R7/f6$<br>$\varnothing 48H7/h6$  | 17       | $\varnothing 34F9/f8$<br>$\varnothing 45JS9/x8$<br>$\varnothing 95E8/s7$<br>$\varnothing 110H8/h8$ | 27       | $\varnothing 65T7/h7$<br>$\varnothing 60K6/k6$<br>$\varnothing 26H8/d8$<br>$\varnothing 36H7/h7$   | 37       | $\varnothing 74H7/r6$<br>$\varnothing 40F7/h7$<br>$\varnothing 48H6/k6$<br>$\varnothing 33H9/h8$    | 47       | $\varnothing 28H7/z7$<br>$\varnothing 63H8/d8$<br>$\varnothing 19JS7/g6$<br>$\varnothing 35H7/h7$  |

## Продолжение таблицы 1

| №<br>вар | Посадка                                                                                           | №<br>вар | Посадка                                                                                           | №<br>вар | Посадка                                                                                           | №<br>вар | Посадка                                                                                            | №<br>вар | Посадка                                                                                             |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 8        | $\varnothing 18H7/e7$<br>$\varnothing 30P7/h7$<br>$\varnothing 28H8/r7$<br>$\varnothing 37H10/h9$ | 18       | $\varnothing 20H6/e7$<br>$\varnothing 32H7/u6$<br>$\varnothing 90G7/n6$<br>$\varnothing 63H10/h9$ | 28       | $\varnothing 67U8/h7$<br>$\varnothing 17N7/js7$<br>$\varnothing 23H7/g6$<br>$\varnothing 55H9/h8$ | 38       | $\varnothing 70H6/s6$<br>$\varnothing 90H7/f8$<br>$\varnothing 45H5/k5$<br>$\varnothing 28H12/h11$ | 48       | $\varnothing 76H7/n6$<br>$\varnothing 20D10/h9$<br>$\varnothing 63H8/k7$<br>$\varnothing 38H6/h6$   |
| 9        | $\varnothing 15H7/f7$<br>$\varnothing 26H6/p6$<br>$\varnothing 42H7/m6$<br>$\varnothing 17H8/h8$  | 19       | $\varnothing 95R7/h7$<br>$\varnothing 19H6/g5$<br>$\varnothing 43H8/k7$<br>$\varnothing 30H6/h6$  | 29       | $\varnothing 56K6/m5$<br>$\varnothing 46F7/h6$<br>$\varnothing 34H6/k5$<br>$\varnothing 70H8/h7$  | 39       | $\varnothing 56H8/x8$<br>$\varnothing 30H7/m7$<br>$\varnothing 14D9/h9$<br>$\varnothing 40H12/h11$ | 49       | $\varnothing 38B11/h10$<br>$\varnothing 75H8/u8$<br>$\varnothing 85H6/js6$<br>$\varnothing 58H8/h9$ |
| 10       | $\varnothing 25H5/u5$<br>$\varnothing 80E6/h6$<br>$\varnothing 95M7/js7$<br>$\varnothing 45H6/h7$ | 20       | $\varnothing 17H5/g4$<br>$\varnothing 23H7/p6$<br>$\varnothing 32H8/m7$<br>$\varnothing 60H5/h5$  | 30       | $\varnothing 80H8/f9$<br>$\varnothing 65H7/s7$<br>$\varnothing 42H6/m6$<br>$\varnothing 25H10/h9$ | 40       | $\varnothing 30P6/h6$<br>$\varnothing 53F6/h7$<br>$\varnothing 48H9/m8$<br>$\varnothing 25H10/h10$ | 50       | $\varnothing 50G7/h6$<br>$\varnothing 30T7/h7$<br>$\varnothing 36H6/m7$<br>$\varnothing 53H9/h8$    |

### 1.1.2 Методические указания

Посадки образуются путём сочетания допусков отверстия и вала. Обозначается посадка в виде дроби, при этом числителем является обозначение допуска отверстия, а знаменателем – допуска вала, например:  $\varnothing 75 \frac{H7}{h6}$ ;  $\varnothing 60 \frac{F8}{h7}$ .

Рассмотрим условную запись посадки гладкого цилиндрического соединения  $\varnothing 75 \frac{H7}{h6}$ :

$\varnothing 75$  – номинальный размер отверстия и вала, мм;

$H$  – основное отклонение отверстия;

7 – квалитет отверстия;

$h$  – основное отклонение вала;

6 – квалитет вала.

Условные схемы полей допусков отверстия, вала и посадки соединения приведены на рисунке 1.

Посадки могут быть осуществлены как в системе отверстия  $H$  ( $El=0$ ), так и в системе вала  $h$  ( $es=0$ ).

При выборе посадок необходимо учитывать конкретные условия эксплуатации, возможность монтажа. Например, если при эксплуатации температура втулки выше, чем температура вала (сопрягаемые детали сделаны из одного материала), то зазоры должны быть уменьшены, а натяги увеличены, а если температура вала больше, чем втулки – то зазоры соответственно должны быть увеличены, а натяги уменьшены. На практике чаще сочетаются поля допусков одного квалитета, однако в связи с большой трудоёмкостью обеспечения точности изготовления отверстия допуск на него может быть назначен на квалитет грубее допуска вала.

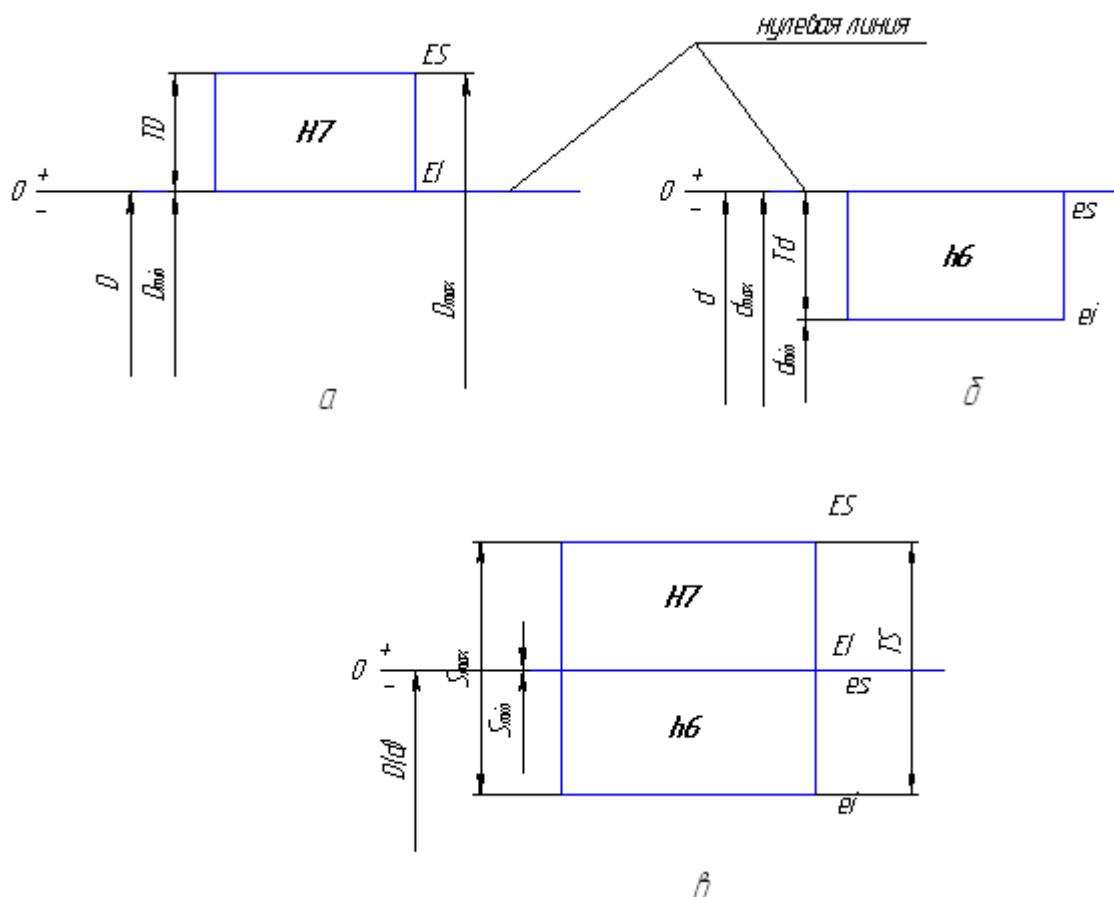


Рисунок 1 – Схемы полей допусков: а – отверстия; б – вала; в – посадки

$ES, es$  – верхние отклонения отверстия и вала соответственно, мкм;  
 $EI, ei$  – нижние отклонения отверстия и вала соответственно, мкм;  
 $D, d$  – номинальный диаметр отверстия и вала, мм;  
 $D_{max}, d_{max}$  – максимальные предельные размеры отверстия и вала, мм;  
 $D_{min}, d_{min}$  – минимальные предельные размеры отверстия и вала, мм;  
 $TD, td$  – допуск размера отверстия и вала соответственно, мм;  
 $TS$  – допуск посадки с зазором, мм;  
 $S_{max}$  – максимальный зазор в соединении, мм;  
 $S_{min}$  – минимальный зазор в соединении, мм.

Применяются следующие типы посадок: с зазором, с натягом, переходная.

Соединения с натягом широко применяются в машиностроении, когда требуется передача значительных осевых усилий, крутящих моментов или нагрузок от их совместного действия. Сопротивление взаимному смещению деталей в этих соединениях создаётся и поддерживается за счёт сил трения в сопряжении. В таких соединениях диаметр вала до сборки всегда больше диаметра отверстия.

Посадки с зазором предназначены для получения подвижных и неподвижных соединений. В неподвижных соединениях посадки с зазором применяются для выполнения беспрепятственной сборки сменных деталей, относительная неподвижность которых обеспечивается шпонками, болтами, штифтами и т. п. Подвижные посадки характеризуются наличием гарантированного зазора, позволяющего свободно перемещаться сопрягаемым деталям относительно друг друга, компенсировать температурные деформации и отклонения формы поверхностей.

Переходные посадки используются взамен посадок с натягом, когда необходимо проводить разборку и сборку сопряжения при его эксплуатации. Если требуется обеспечить неподвижное соединение вала и отверстия с помощью переходной посадки, то обычно требуется дополнительное крепление сопрягаемых деталей, поскольку предельные натяги невелики.

Расчётные формулы для параметров посадок:

$$D_{max}=D+ES, \quad D_{min}=D+EI$$

$$d_{max}=d+es, \quad d_{min}=d+ei$$

$$TD= D_{max}-D_{min}, \quad Td= d_{max}-d_{min}$$

а) с зазором

$$S_{max}=D_{max}-d_{min}=ES-ei$$

$$S_{min}=D_{min}-d_{max}=EI-es$$

$$TS=S_{max}-S_{min}=TD+Td;$$

б) с натягом

$$N_{max}=d_{max}-D_{min}=es-EI$$

$$N_{min}=d_{min}-D_{max}=ei-ES$$

$$TN=N_{max}-N_{min}=Td+TD;$$

в) переходной

$$S_{max}=D_{max}-d_{min}=ES-ei$$

$$N_{max}=d_{max}-D_{min}=es-EI$$

$$S_{min}=-N_{max}$$

$$N_{min}=-S_{max}$$

$$TS(N)= S_{max}+ N_{max}=Td+TD.$$

### 1.1.3 Пример выполнения задания

Задана посадка  $\varnothing 35P7/h6$ .

Используется система вала, т. к. основное отклонение вала  $h$  ( $es=0$ ). Посадка с натягом, так как обозначение основного отклонения отверстия - P.

Для отверстия  $\varnothing 35P7$ : верхнее отклонение  $ES=-17$  мкм; нижнее отклонение  $EI=-42$  мкм [5]. Допуск  $TD=ES-EI=-17-(-42)=25$  мкм.

Для вала  $\varnothing 35h6$ : верхнее отклонение  $es=0$  мкм; нижнее отклонение  $ei=-16$  мкм [5]. Допуск  $Td=es-ei=0-(-16)=16$  мкм.

Предельные размеры отверстия и вала:

$$D_{max}=D+ES=35-0,017=34,983 \text{ мм}$$

$$D_{min}=D+EI=35-0,042=34,958 \text{ мм}$$

$$d_{max}=d+es=35+0=35 \text{ мм}$$

$$d_{min}=d+ei=35-0,016=34,984 \text{ мм}$$

Параметры посадки с натягом:

$$N_{max}=d_{max}-D_{min}=35-34,958=0,042 \text{ мм}$$

$$N_{min}=d_{min}-D_{max}=34,984-34,983=0,001 \text{ мм}$$

$$TN= N_{max}-N_{min}=0,042-0,001=0,041 \text{ мм}$$

Проверка: допуск посадки  $T_{\text{пос}}=Td+TD;$

$$0,041=0,025+0,016$$

Результаты расчётов необходимо свести в таблицы и по данным расчётов построить схемы полей допусков рассчитанных посадок.

Таблица 2 – Типы и параметры посадок

в миллиметрах

| Обозначение<br>посадки | Предельные размеры |           |           |           | Параметры посадок |           |           |           | Тип<br>посадки | Допуск<br>посадки |
|------------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-----------|-----------|-----------|----------------|-------------------|
|                        | отверстия          |           | вала      |           | зазор             |           | натяг     |           |                |                   |
|                        | $D_{max}$          | $D_{min}$ | $d_{max}$ | $d_{min}$ | $S_{max}$         | $S_{min}$ | $N_{max}$ | $N_{min}$ |                |                   |
| $\varnothing 35P7/h6$  | 34,983             | 34,958    | 35,0      | 34,984    | –                 | –         | 0,042     | 0,001     | с натягом      | 0,041             |

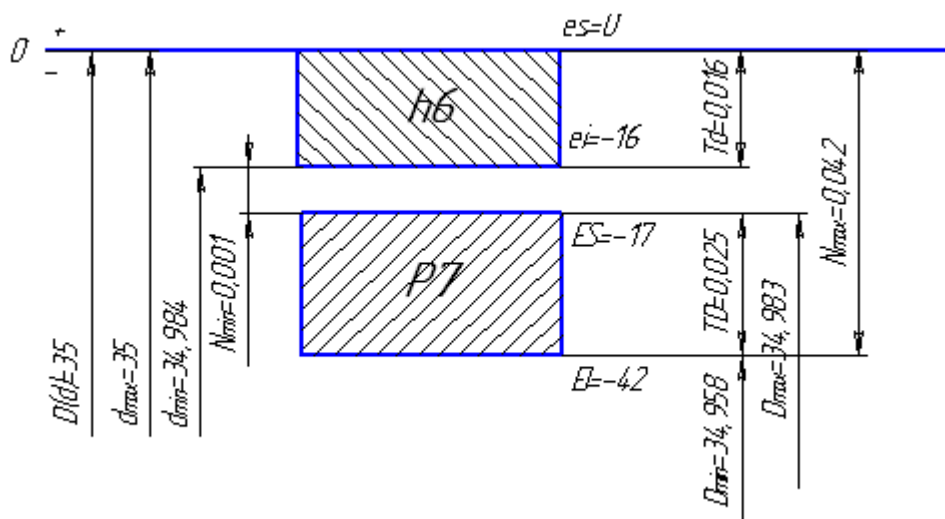
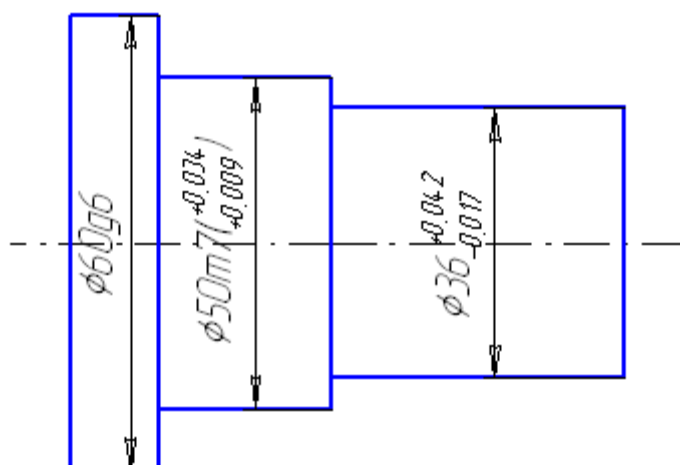


Рисунок 2 – Схема посадки с натягом  $\varnothing 35 \frac{P7}{h6}$

Выполнить простановку посадок на эскизах (рисунок 3).



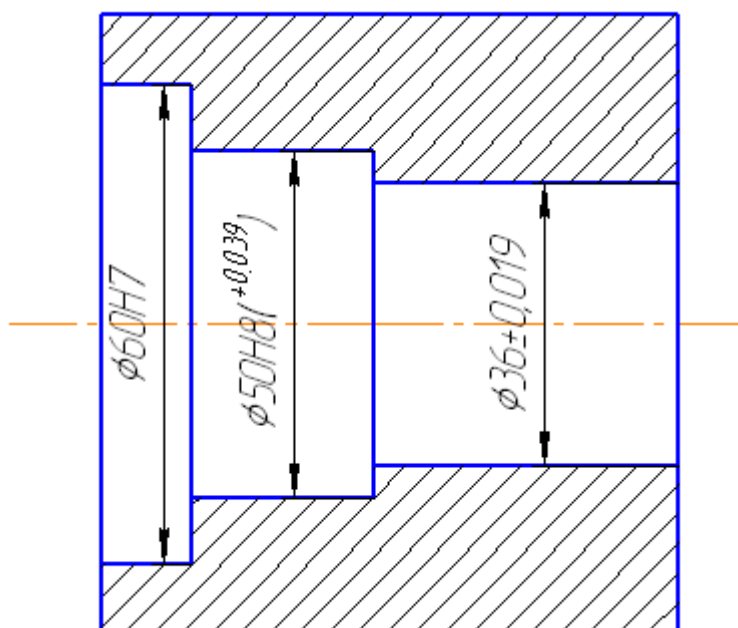


Рисунок 3 – Эскизы сопрягаемых деталей (пример)

Предпочтительным обозначением полей допусков на чертежах являются  $\phi 50m7 \begin{pmatrix} +0.034 \\ +0.009 \end{pmatrix}$  и  $\phi 50H8 \begin{pmatrix} +0.039 \\ \end{pmatrix}$ .

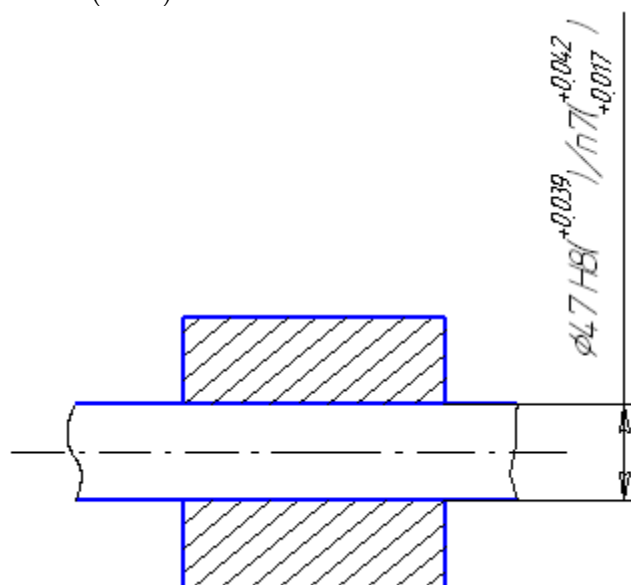


Рисунок 4 – Обозначение посадок на чертежах

## 1.2 Расчет калибров для контроля гладких цилиндрических соединений

### 1.2.1 Задание

Рассчитать комплект гладких предельных калибров для контроля вала и отверстия, составляющих одну из посадок задания 1.1:

-построить схемы полей допусков выбранных деталей, а также рабочих и контрольных калибров для контроля этих деталей;

- на схемах указать предельные отклонения и допуски деталей и калибров, предельные размеры калибров;
- выполнить чертежи рабочих калибров, указать маркировку, исполнительные размеры и шероховатость рабочих поверхностей калибров.

## 1.2.2 Методические указания

При массовом и крупносерийном производстве контроль точности изготовления с допусками IT6...IT17 выполняется калибрами: валов – скобами, отверстий – пробками. Комплекты рабочих калибров для контроля готовых изделий состоят из проходного ПР и непроходного НЕ, зачастую совмещённых.

Деталь считается годной, если под собственным весом или действием силы, равной весу, проходной калибр проходит, а непроходной – не проходит по проверяемым поверхностям. Проходной стороной ПР калибров контролируют проходной предел – максимальный предельный размер  $d_{max}$  у валов и минимальный предельный размер  $D_{min}$  у отверстий, т. е. размеры, соответствующие максимуму материала деталей. Непроходной стороной НЕ калибров контролируют непроходной предел – минимальный предельный размер  $d_{min}$  валов и максимальный предельный размер  $D_{max}$  отверстий, т. е. размеры, соответствующие минимуму материала деталей.

Для контроля величины износа нерегулируемых и установки регулируемых калибров-скоб применяют контрольные калибры – пробки. По СТ СЭВ 157-75 на изготовление гладких калибров установлены обозначения отклонений и допусков (по 2...4 квалитетам):

$H$  – допуск новых калибров для отверстий;

$H_s$  – допуск калибров со сферическими измерительными поверхностями, мкм;

$H_1$  – допуск новых калибров для вала, мкм;

$H_p$  – допуск контрольных калибров для скоб, мкм;

$Z$  – отклонение середины поля допуска проходного калибра-пробки относительно наименьшего предельного размера контролируемого отверстия, мкм;

$Z_1$  – отклонение середины поля допуска проходного калибра-кольца или калибра скобы относительно наибольшего предельного размера контролируемого вала, мкм;

$Y$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра-пробки за границу поля допуска изделия, мкм;

$Y_1$  – допустимый выход размера изношенного проходного калибра-кольца или калибра скобы, мкм;

$\alpha$  и  $\alpha_1$  – величина для компенсации погрешности контроля калибрами соответственно отверстий или валов с размерами выше 180 мм. При размерах отверстий или валов менее 180 мм  $\alpha = \alpha_1 = 0$ .

Для изделий от 9-го до 17-го квалитетов граница износа проходных калибров совпадает с пределом максимума материала изделия  $Y = Y_1 = 0$ .

Исполнительными называют предельные размеры калибра по которым изготавливают новый калибр. Для калибров-пробок исполнительными размерами ПР и НЕ сторон калибра являются наибольшие предельные размеры с допусками «в минус», т. е. в «тело» калибра.

Формулы для расчёта исполнительных размеров калибров-пробок  $ПР_{max}$  и  $НЕ_{max}$ , калибров-скоб  $ПР_{min}$  и  $НЕ_{min}$  и контрольных калибров  $K-I_{max}$ ,  $K-ПР_{max}$ ,  $K-НЕ_{max}$ :

$$ПР_{max} = D_{min} + Z + \frac{H}{2}; \quad ПР_{min} = d_{max} - Z_1 - \frac{H_1}{2};$$

$$HE_{\max} = D_{\max} - \alpha + \frac{H}{2}; \quad HE_{\min} = d_{\min} + \alpha_1 - \frac{H_1}{2};$$

$$K-I_{\max} = d_{\max} + Y_1 - \alpha_1 + \frac{H_p}{2};$$

$$K-PR_{\max} = d_{\max} - Z_1 + \frac{H_p}{2};$$

$$K-HE_{\max} = d_{\min} + \alpha_1 + \frac{H_p}{2}.$$

На калибрах маркируются номинальный размер детали, условное обозначение поля допуска контролируемого размера, тип ПР или HE, числовые значения предельных отклонений контролируемого размера (рисунок 6).

Таблица 3 – Допуски калибров

в микрометрах

| Квалитет допуска изделия | Обозначение допуска калибра | Интервалы размеров, мм |            |             |              |              |              |              |               |
|--------------------------|-----------------------------|------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                          |                             | До 3                   | Св. 3 до 6 | Св. 6 до 10 | Св. 10 до 18 | Св. 18 до 30 | Св. 30 до 50 | Св. 50 до 80 | Св. 80 до 120 |
| 1                        | 2                           | 3                      | 4          | 5           | 6            | 7            | 8            | 9            | 10            |
| 6                        | $H, H_s$                    | 1,2                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             |
|                          | $H_1$                       | 2                      | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 4            | 5            | 6             |
|                          | $H_p$                       | 0,8                    | 1          | 1           | 1,2          | 1,5          | 1,5          | 2            | 2,5           |
| 7                        | $H, H_1$                    | 2                      | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 4            | 5            | 6             |
|                          | $H_s$                       | –                      | –          | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             |
|                          | $H_p$                       | 0,8                    | 1          | 1           | 1,2          | 1,5          | 1,5          | 2            | 2,5           |
| 8, 9 и 10                | $H$                         | 2                      | 2,5        | 2,5         | 3            | 4            | 4            | 5            | 6             |
|                          | $H_1$                       | 3                      | 4          | 4           | 5            | 6            | 7            | 8            | 10            |
|                          | $H_s, H_p$                  | 1,2                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 2,5          | 2,5          | 3            | 4             |

Таблица 4 – Величины, определяющие расположение полей допусков калибров

в микрометрах

| Квалитет допуска изделия | Обозначение отклонения калибра | Интервалы размеров, мм |            |             |              |              |              |              |               |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------|------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
|                          |                                | До 3                   | Св. 3 до 6 | Св. 6 до 10 | Св. 10 до 18 | Св. 18 до 30 | Св. 30 до 50 | Св. 50 до 80 | Св. 80 до 120 |
| 6                        | $Z$                            | 1                      | 1,5        | 1,5         | 2            | 2            | 2,5          | 2,5          | 3             |
|                          | $Y$                            | 1                      | 1          | 1           | 1,5          | 1,5          | 2            | 2            | 3             |
|                          | $Z_1$                          | 1,5                    | 2          | 2           | 2,5          | 3            | 3,5          | 4            | 5             |
|                          | $Y_1$                          | 1,5                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 3            | 3            | 3            | 4             |
| 7                        | $Z, Z_1$                       | 1,5                    | 2          | 2           | 2,5          | 3            | 3,5          | 4            | 5             |
|                          | $Y, Y_1$                       | 1,5                    | 1,5        | 1,5         | 2            | 3            | 3            | 3            | 4             |
| 8                        | $Z, Z_1$                       | 2                      | 3          | 3           | 4            | 5            | 6            | 7            | 8             |
|                          | $Y, Y_1$                       | 3                      | 3          | 3           | 4            | 4            | 5            | 5            | 6             |
| 9 и 10                   | $Z, Z_1$                       | 5                      | 6          | 7           | 8            | 9            | 11           | 13           | 15            |

### 1.2.3 Пример выполнения задания

Разработаем предельные калибры для контроля сопряжения  $\varnothing 35P7/h6$ .  
Устанавливаем допуски на изготовление предельных калибров по таблице 3 и 4:

для отверстия  $\varnothing 35 P7 H=4$  мкм,  $Z=3,5$  мкм,  $\alpha=0$ .

для вала  $\varnothing 35 h6 H_1=4$  мкм,  $Z_1=3,5$  мкм,  $H_p=1,5$  мкм,  $\alpha_1=0$ ,  $Y_1=3$ .

Исполнительный размер проходной стороны калибра-пробки:

$$ПР_{\max} = D_{\min} + Z + \frac{H}{2} = 34,958 + 0,0035 + 0,004/2 = 34,9635 \text{ мм};$$

размер на чертеже  $\varnothing 34,9635_{-0,004} \text{ мм}$ .

Исполнительный размер непроходной стороны калибра-пробки:

$$НЕ_{\max} = D_{\max} - \alpha + \frac{H}{2} = 34,983 - 0 + 0,004/2 = 34,985 \text{ мм};$$

размер на чертеже  $\varnothing 34,985_{-0,004} \text{ мм}$ .

Исполнительный размер проходной стороны калибра-скобы:

$$ПР_{\min} = d_{\max} - Z_1 - \frac{H_1}{2} = 35,0 - 0,0035 - 0,004/2 = 34,9945 \text{ мм};$$

размер на чертеже  $\varnothing 34,9945^{+0,004} \text{ мм}$ .

Исполнительный размер непроходной стороны калибра-скобы:

$$НЕ_{\min} = d_{\min} + \alpha_1 - \frac{H_1}{2} = 34,984 + 0 - 0,004/2 = 34,982 \text{ мм};$$

размер на чертеже  $\varnothing 34,982^{+0,004} \text{ мм}$ .

Исполнительный размер контрольного калибра для контроля износа рабочего калибра-скобы ПР:

$$К-И_{\max} = d_{\max} + Y_1 - \alpha_1 + \frac{H_p}{2} = 35,0 + 0,003 - 0 + 0,0015/2 = 35,00375 \text{ мм, округляем до величины, кратной } 0,0005 \text{ мм};$$

размер на чертеже  $\varnothing 35,0035_{-0,0015} \text{ мм}$ .

Исполнительный размер контрольного калибра для рабочей скобы ПР:

$$К-ПР_{\max} = d_{\max} - Z_1 + \frac{H_p}{2} = 35,0 - 0,0035 + 0,0015/2 = 34,99725 \text{ мм, с округлением } 34,997 \text{ мм};$$

размер на чертеже  $\varnothing 34,997_{-0,0015} \text{ мм}$ .

Исполнительный размер контрольного калибра для рабочей скобы НЕ:

$$К-НЕ_{\max} = d_{\min} + \alpha_1 + \frac{H_p}{2} = 34,984 + 0,0015/2 + 0 = 34,98475 \text{ мм, с округлением } 34,9845;$$

размер на чертеже  $\varnothing 34,9845_{-0,0015} \text{ мм}$ .

Строим схемы полей допусков для предельных калибров (рисунок 5)

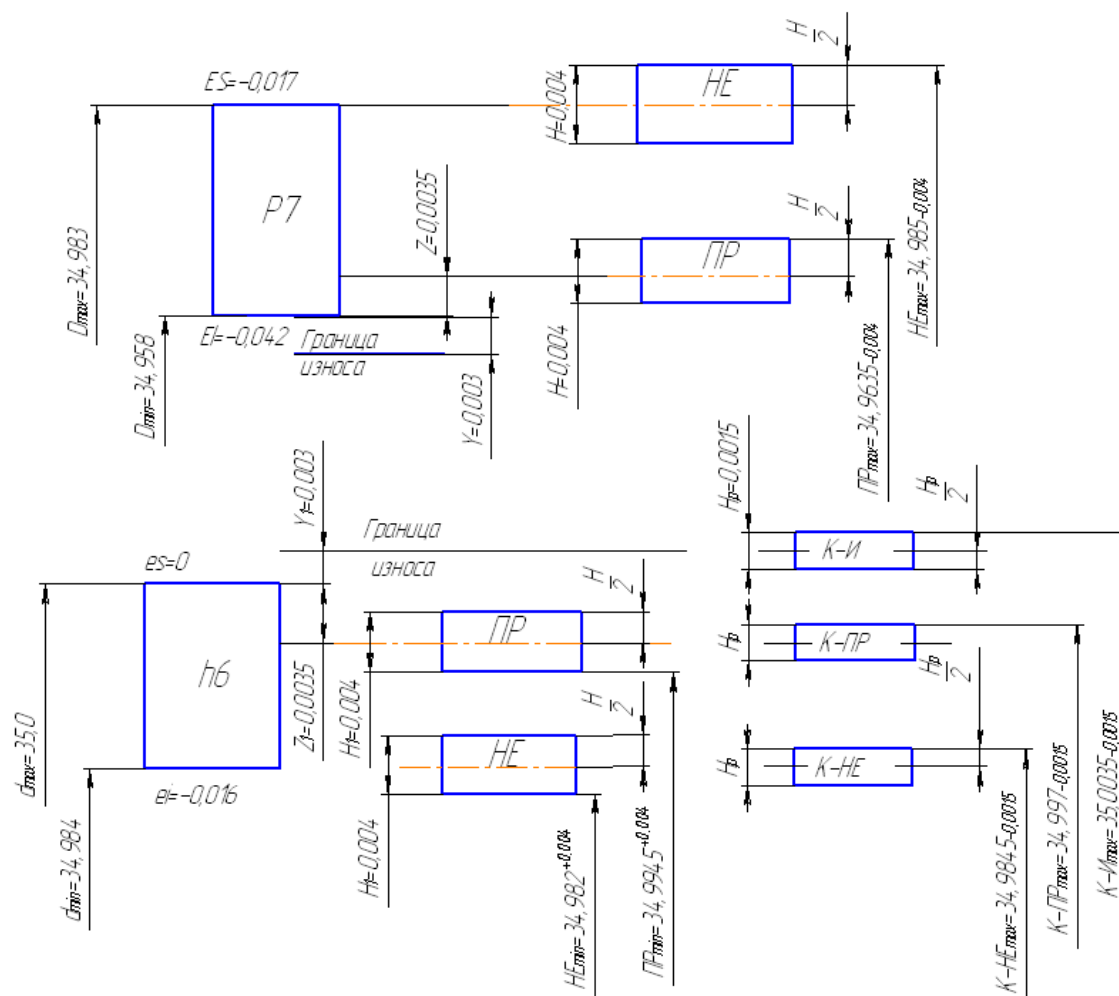


Рисунок 5 – Схемы полей допусков предельных калибров

Шероховатость рабочих поверхностей калибров:

$$R_a \leq 0,012 T_{\text{разм}} (H, H_1), H = H_1 = 4 \text{ мкм}$$

для калибра-пробки  $R_a \leq 0,012 \cdot 4 = 0,048 \text{ мкм}$ ,

принимаем  $R_a = 0,04 \text{ мкм}$  из стандартного ряда [5];

для калибра-скобы  $R_a \leq 0,012 \cdot 4 = 0,048 \text{ мкм}$ ,

принимаем  $R_a = 0,04 \text{ мкм}$ .

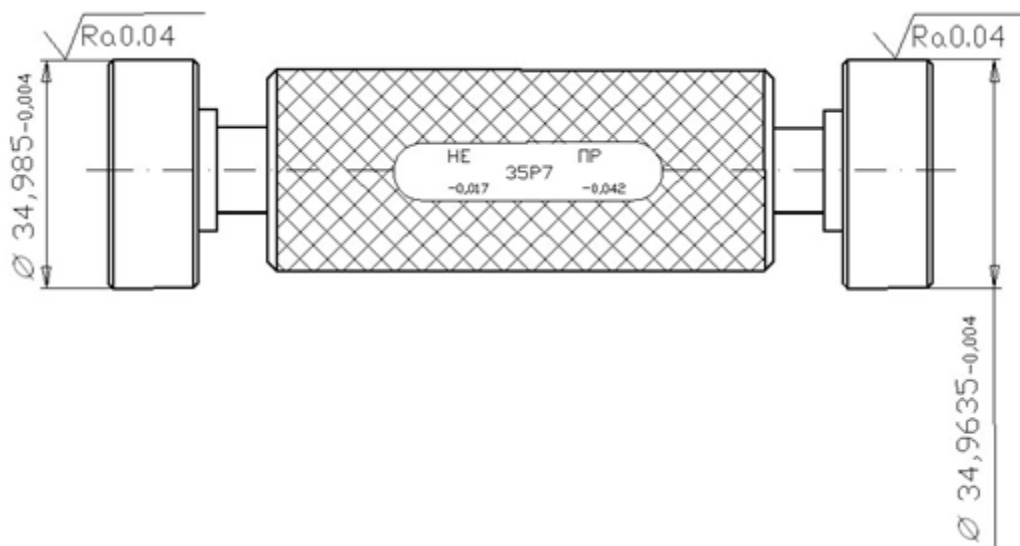


Рисунок 6 – Калибр-пробка для контроля отверстия  $\varnothing 35P7$

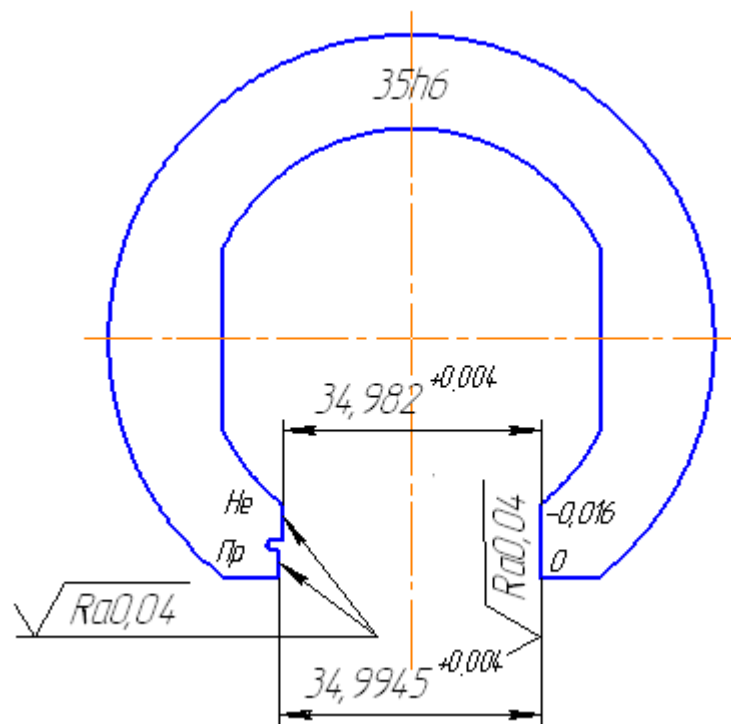


Рисунок 7 – Калибр-скоба для контроля вала  $\varnothing 35h6$

## 2. РАСЧЁТ И ВЫБОР ПОСАДОК ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

### 2.1 Задание

1. Расшифровать маркировку подшипника качения.
2. Определить минимальный и максимальный допустимые натяги для внутреннего кольца подшипника (при вращении наружного кольца подшипника производится расчёт только минимального допустимого натяга).
3. Подобрать из числа рекомендуемых посадку для вращающегося кольца подшипника.
4. Определить минимальный и максимальный натяги в соединении.
5. Выбрать посадку для невращающегося кольца подшипника.
6. Построить схемы полей допусков, выбранных посадок, для колец подшипника качения.

Вариант для выполнения индивидуального задания по данному разделу студент выбирает из таблицы 5.

Таблица 5 – Исходные данные варианта

| № вар | Подшипник | Класс точности | Радиальн. нагрузка, Н | Вращающееся кольцо | № вар | Подшипник | Класс точности | Радиальн. нагрузка, Н | Вращающееся кольцо |
|-------|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|-------|-----------|----------------|-----------------------|--------------------|
| 1     | 204       | 0              | 1500                  | наружное           | 31    | 414       | 0              | 5800                  | внутрен.           |
| 2     | 205       | 0              | 1700                  | внутрен.           | 32    | 410       | 6              | 6000                  | внутрен.           |
| 3     | 206       | 6              | 1800                  | наружное           | 33    | 416       | 0              | 6300                  | наружное           |
| 4     | 207       | 6              | 2000                  | наружное           | 34    | 218       | 6              | 2700                  | внутрен.           |
| 5     | 208       | 6              | 2100                  | внутрен.           | 35    | 311       | 0              | 4650                  | наружное           |
| 6     | 209       | 0              | 2500                  | внутрен.           | 36    | 413       | 0              | 6250                  | наружное           |
| 7     | 210       | 6              | 3000                  | внутрен.           | 37    | 213       | 6              | 3050                  | внутрен.           |
| 8     | 211       | 6              | 2700                  | наружное           | 38    | 217       | 6              | 4350                  | наружное           |
| 9     | 212       | 0              | 3200                  | наружное           | 39    | 219       | 0              | 3530                  | внутрен.           |
| 10    | 307       | 0              | 3500                  | внутрен.           | 40    | 304       | 6              | 4000                  | наружное           |
| 11    | 308       | 6              | 4300                  | внутрен.           | 41    | 305       | 6              | 3000                  | внутрен.           |
| 12    | 314       | 6              | 2300                  | внутрен.           | 42    | 309       | 6              | 2900                  | внутрен.           |
| 13    | 310       | 0              | 3600                  | наружное           | 43    | 314       | 0              | 1550                  | внутрен.           |
| 14    | 313       | 0              | 4000                  | внутрен.           | 44    | 319       | 0              | 2350                  | наружное           |
| 15    | 318       | 6              | 3800                  | внутрен.           | 45    | 404       | 0              | 2050                  | внутрен.           |
| 16    | 405       | 0              | 5300                  | внутрен.           | 46    | 411       | 6              | 3180                  | внутрен.           |
| 17    | 406       | 0              | 5900                  | внутрен.           | 47    | 412       | 6              | 2730                  | внутрен.           |
| 18    | 312       | 6              | 5000                  | наружное           | 48    | 415       | 6              | 3370                  | наружное           |
| 19    | 214       | 0              | 4700                  | внутрен.           | 49    | 416       | 0              | 4560                  | наружное           |
| 20    | 215       | 6              | 6300                  | внутрен.           | 50    | 417       | 0              | 5400                  | внутрен.           |
| 21    | 407       | 0              | 7100                  | наружное           | 51    | 418       | 0              | 6000                  | внутрен.           |
| 22    | 408       | 0              | 3000                  | наружное           | 52    | 306       | 0              | 1850                  | внутрен.           |
| 23    | 409       | 0              | 4000                  | внутрен.           | 53    | 210       | 6              | 2660                  | наружное           |
| 24    | 320       | 0              | 5300                  | внутрен.           | 54    | 408       | 0              | 3350                  | внутрен.           |
| 25    | 317       | 6              | 2400                  | наружное           | 55    | 310       | 6              | 2580                  | наружное           |
| 26    | 316       | 6              | 1500                  | наружное           | 56    | 212       | 0              | 1350                  | внутрен.           |
| 27    | 306       | 6              | 3500                  | внутрен.           | 57    | 208       | 0              | 2210                  | внутрен.           |
| 28    | 220       | 0              | 4800                  | наружное           | 58    | 215       | 0              | 3000                  | внутрен.           |
| 29    | 216       | 6              | 3500                  | наружное           | 59    | 416       | 6              | 5930                  | наружное           |
| 30    | 315       | 0              | 4100                  | внутрен.           | 60    | 316       | 6              | 5100                  | внутрен.           |

## 2.2 Методические указания

В сборочных единицах машин и механизмов широко применяются подшипники качения (ПК). При этом от точности изготовления подшипников и правильности выбора их посадки на вал и в корпус во многом зависят работоспособность и долговечность машин. Поэтому допуски и посадки ПК оговорены специальными стандартами. В ГОСТе 520-89 установлены классы точности подшипников: 0; 6; 5; 4; 2; Т. Перечень классов точности дан в порядке повышения точности. Для механизмов общего назначения используются подшипники классов 0 и 6. ПК классов точности 5, 4 и 2 применяются при больших частотах вращения и в тех случаях, когда требуется высокая точность вращения: для шпинделей станков, высокооборотных двигателей и т. п.

Посадки колец ПК на валы и в корпуса выбираются по ГОСТ 3325-85. Выбор посадки кольца подшипника определяется характером его нагружения (местное, циркуляционное, колебательное), зависящим от того, вращается или не вращается кольцо относительно действующей на него нагрузки.

Местно-нагруженные кольца должны иметь соединение с зазором или незначительным натягом между кольцом и сопрягаемой деталью.

Циркуляционно-нагруженные кольца должны иметь неподвижное соединение с сопрягаемой деталью.

Колебательно-нагруженные кольца должны устанавливаться с незначительным зазором между соединяемой деталью.

В таблице 6 приведены поля допусков для установки радиальных подшипников в зависимости от условий монтажа и видов нагружения.

Таблица 6 – Поля допусков для установки радиальных подшипников по ГОСТ 3325-85

| Вид нагружения колец | Вал (под внутреннее кольцо подшипника)  | Отверстие корпуса (под наружное кольцо подшипника) |
|----------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------|
| Местное              | <i>js5; js6; h5; h6; g6; f7</i>         | <i>Js6; Js7; H6; H7; H8; H9; G9</i>                |
| Циркуляционное       | <i>n5; m5; k5; js5; n6; m6; k6; js6</i> | <i>N6; M6; K6; N7; M7; K7; P7</i>                  |
| Колебательное        | <i>js5; js6</i>                         | <i>Js6; Js7</i>                                    |

Посадки подшипников качения имеют свою специфику:

- во-первых, они более точные; ПК изготавливаются на специализированных заводах по IT0...IT3 и не обрабатываются при образовании посадок;

- во-вторых, расположение полей допусков на посадочные места ПК отличается от принятого в ЕСДП для гладких соединений (поле допуска на внутренний диаметр  $d$  подшипника перевёрнуто относительно нулевой линии, т. е. допуски на размер  $d$  даются в минус, а не в плюс, как это принято для отверстия в системе отверстия);

- в-третьих, из-за небольших толщин колец, подшипники очень чувствительны к колебаниям значений натягов в соединении. Допуски на диаметры  $D$  и  $d$  подшипника не соответствуют значениям по ГОСТ 25347-82 на гладкие цилиндрические сопряжения.

Для обеспечения равномерности износа элементов качения подшипника и беговых дорожек его колец при образовании посадки подшипника необходимо руководствоваться следующим:

- 1) кольцо подшипника, вращающегося по отношению к вектору нагрузки, должно устанавливаться с натягом;

- 2) кольцо подшипника, не вращающегося по отношению к вектору нагрузки, должно устанавливаться с зазором.

Посадки подшипников качения осуществляются с малыми натягами и зазорами. Это необходимо как для обеспечения работоспособности соединения, так и для возможности осевого перемещения при монтаже и температурных деформациях валов.

Расчёт минимального натяга, мкм:

$$N_{\min} = \frac{13 \cdot F_r \cdot k}{10^3 \cdot (B - 2 \cdot r)},$$

где  $F_r$  – наибольшая радиальная сила, действующая на подшипник, Н;

$k$  – коэффициент: для лёгкой серии подшипников  $k=2,8$ ; для средней серии  $k=2,3$ ; для тяжёлой серии  $k=2,0$ ;

$B$  – ширина подшипника;

$r$  – радиус скругления кромок отверстия внутреннего и наружного колец (таблица 7), мм.

Для того, чтобы избежать разрыва внутреннего кольца подшипника, максимальный натяг этого кольца не должен превышать допустимый, который приближённо определяется:

$$N_{\max} = \frac{5,7 \cdot [\sigma_p] \cdot k \cdot d}{10^3 \cdot (k - 1)}, \text{ мкм,}$$

где  $[\sigma_p]$  – допустимое напряжение на растяжение для материала внутренней обоймы подшипника: для подшипников стали ШХ15 –  $[\sigma_p] = 400 \text{ Н/мм}^2$ ;  
 $d$  – внутренний диаметр подшипника, мм.

Таблица 7 – Параметры подшипников радиальных ГОСТ 8338-75

| в миллиметрах  |     |     |     |     |                |     |     |     |     |
|----------------|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|
| Подшип-<br>ник | $d$ | $D$ | $B$ | $r$ | Подшип-<br>ник | $d$ | $D$ | $B$ | $r$ |
| Лёгкая серия   |     |     |     |     | Средняя серия  |     |     |     |     |
| 204            | 20  | 47  | 14  | 1,5 | 304            | 20  | 52  | 15  | 2,0 |
| 205            | 25  | 52  | 15  | 1,5 | 305            | 25  | 62  | 17  | 2,0 |
| 206            | 30  | 62  | 16  | 1,5 | 306            | 30  | 72  | 19  | 2,0 |
| 207            | 35  | 72  | 17  | 2,0 | 307            | 35  | 80  | 21  | 2,5 |
| 208            | 40  | 80  | 18  | 2,0 | 308            | 40  | 90  | 23  | 2,5 |
| 209            | 45  | 85  | 19  | 2,0 | 309            | 45  | 100 | 25  | 2,5 |
| 210            | 50  | 90  | 20  | 2,0 | 310            | 50  | 110 | 27  | 3,0 |
| 211            | 55  | 100 | 21  | 2,5 | 311            | 55  | 120 | 29  | 3,0 |
| 212            | 60  | 110 | 22  | 2,5 | 312            | 60  | 130 | 31  | 3,5 |
| 213            | 65  | 120 | 23  | 2,5 | 313            | 65  | 140 | 33  | 3,5 |
| 214            | 70  | 125 | 24  | 2,5 | 314            | 70  | 150 | 35  | 3,5 |
| 215            | 75  | 130 | 25  | 2,5 | 315            | 75  | 160 | 38  | 3,5 |
| 216            | 80  | 140 | 26  | 3,0 | 316            | 80  | 170 | 39  | 3,5 |
| 217            | 85  | 150 | 28  | 3,0 | 317            | 85  | 180 | 41  | 4,0 |
| 218            | 90  | 160 | 30  | 3,0 | 318            | 90  | 190 | 43  | 4,0 |
| 219            | 95  | 170 | 32  | 3,5 | 319            | 95  | 200 | 45  | 4,0 |
| 220            | 100 | 180 | 34  | 3,5 | 320            | 100 | 215 | 47  | 4,0 |
| Тяжёлая серия  |     |     |     |     |                |     |     |     |     |
| 404            | 20  | 72  | 19  | 2,0 | 411            | 55  | 140 | 33  | 3,5 |
| 405            | 25  | 80  | 21  | 2,5 | 412            | 60  | 150 | 35  | 3,5 |
| 406            | 30  | 90  | 23  | 2,5 | 413            | 65  | 160 | 37  | 3,5 |
| 407            | 35  | 100 | 25  | 2,5 | 414            | 70  | 180 | 42  | 4,0 |
| 408            | 40  | 110 | 27  | 3,0 | 415            | 75  | 190 | 45  | 4,0 |
| 409            | 45  | 120 | 29  | 3,0 | 416            | 80  | 200 | 48  | 4,0 |
| 410            | 50  | 130 | 31  | 3,5 | 417            | 85  | 210 | 52  | 5,0 |
|                |     |     |     |     | 418            | 90  | 225 | 54  | 5,0 |

Таблица 8 – Предельные отклонения диаметра наружных колец радиальных подшипников ГОСТ 8338-75

в микрометрах

| Интервал диаметров $D$ , мм | Класс точности подшипника |      |      |      |
|-----------------------------|---------------------------|------|------|------|
|                             | 0                         |      | 6    |      |
|                             | $es$                      | $ei$ | $es$ | $ei$ |
| Св. 18 до 30                | 0                         | -9   | 0    | -8   |
| 30...50                     | 0                         | -11  | 0    | -9   |
| 50...80                     | 0                         | -13  | 0    | -11  |
| 80...120                    | 0                         | -15  | 0    | -13  |
| 120...150                   | 0                         | -18  | 0    | -15  |
| 150...180                   | 0                         | -25  | 0    | -18  |
| 180...250                   | 0                         | -30  | 0    | -20  |

При выборе посадки с натягом для колец подшипника следует руководствоваться следующими правилами:

1) минимальный табличный натяг посадки должен превышать расчётный, т. е.

$$N_{\min_T} > N_{\min};$$

2) максимальный табличный натяг должен быть меньше, т. е.  $N_{\max_T} < N_{\max}$

Если согласно заданию с натягом должно устанавливаться наружное кольцо подшипника, необходимо рассчитать минимальный натяг  $N_{\min}$ , а максимальный допустимый натяг  $N_{\max}$  не определяется. В данном случае посадка определяется по условию  $N_{\min_T} > N_{\min}$ .

Таблица 9 – Предельные отклонения диаметра внутренних колец и ширины радиальных подшипников ГОСТ 8338-75

в микрометрах

| Интервал размеров $d$ и $B$ , мм | Класс точности подшипника |      |      |      |      |      |      |      |
|----------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                  | 0                         |      |      |      | 6    |      |      |      |
|                                  | $d$                       |      | $B$  |      | $d$  |      | $B$  |      |
|                                  | $El$                      | $ES$ | $ei$ | $es$ | $El$ | $ES$ | $ei$ | $es$ |
| От 10 до 18                      | -8                        | 0    | -120 | 0    | -7   | 0    | -120 | 0    |
| Св. 18...30                      | -10                       | 0    | -120 | 0    | -8   | 0    | -120 | 0    |
| 30...50                          | -12                       | 0    | -120 | 0    | -10  | 0    | -120 | 0    |
| 50...80                          | -15                       | 0    | -150 | 0    | -12  | 0    | -150 | 0    |
| 80...120                         | -20                       | 0    | -200 | 0    | -15  | 0    | -200 | 0    |
| 120...180                        | -25                       | 0    | -250 | 0    | -18  | 0    | -250 | 0    |
| 180...250                        | -30                       | 0    | -300 | 0    | -22  | 0    | -300 | 0    |

### 2.3 Пример выполнения задания

Исходные данные: подшипник 304; класс точности 0; радиальная сила  $F=2500$  Н; в соединении вращающимся является вал.

1. Подшипник 304 – шариковый радиальный средней серии со следующими параметрами:  $d=20$  мм;  $D=52$  мм;  $B=15$  мм;  $r=2,0$  мм (таблица 7).

В рассматриваемом узле вращающимся кольцом является внутреннее кольцо подшипника, поэтому его посадку на вал производим с натягом, а наружное кольцо устанавливаем в корпус с зазором.

2. Определение минимального потребного натяга для внутреннего кольца подшипника:

$$N_{\min} = \frac{13 \cdot F_r \cdot k}{10^3 \cdot (B - 2 \cdot r)} = \frac{13 \cdot 2500 \cdot 2,3}{10^3 \cdot (15 - 2 \cdot 2)} = 6,795 \text{ мкм},$$

где коэффициент  $k=2,3$  для средней серии подшипника.

3. Определение максимального допустимого натяга внутреннего кольца подшипника:

$$N_{\max} = \frac{5,7 \cdot [\sigma_p] \cdot k \cdot d}{10^3 \cdot (k - 1)} = \frac{5,7 \cdot 400 \cdot 2,3 \cdot 20}{10^3 \cdot (2,3 - 1)} = 80,7 \text{ мкм}.$$

4. По значению  $N_{\min}$  подбираем из числа рекомендуемых посадку для внутреннего кольца подшипника:  $\varnothing 20 \text{ L0/m6}$ .

По таблицам 9 и [5] определяем предельные отклонения размеров:

для отверстия подшипника  $ES=0$ ;  $EI=-10$  мкм;

для вала  $es=+21$  мкм;  $ei=+8$  мкм.

5. Определение минимального и максимального табличного натяга в соединении:

$$N_{\min T} = ei - ES = 8 - 0 = 8 \text{ мкм};$$

$$N_{\max T} = es - EI = 21 - (-10) = 31 \text{ мкм},$$

так как  $N_{\min T} > N_{\min}$  ( $8 \text{ мкм} > 6,8 \text{ мкм}$ ), а  $N_{\max T} < N_{\max}$  ( $31 \text{ мкм} < 80,7 \text{ мкм}$ ), можно заключить, что посадка внутреннего кольца подшипника выполнена правильно.

6. Выбираем посадку для наружного кольца подшипника из рекомендованных:  $\varnothing 52 \text{ H7/l0}$ , для которой предельные отклонения размеров равны: для отверстия  $ES=+30$  мкм;  $EI=0$ ; для внутреннего кольца подшипника  $es=0$ ;  $ei=-13$  мкм.

Для выбранной посадки максимальный зазор:

$$S_{\max} = ES - ei = 30 - (-13) = 43 \text{ мкм}.$$

Для выбранной посадки минимальный зазор:

$$S_{\min} = EI - es = 0 - 0 = 0 \text{ мкм}.$$

7. Строим схему полей допусков выбранных посадок (ПК рисунок 8):

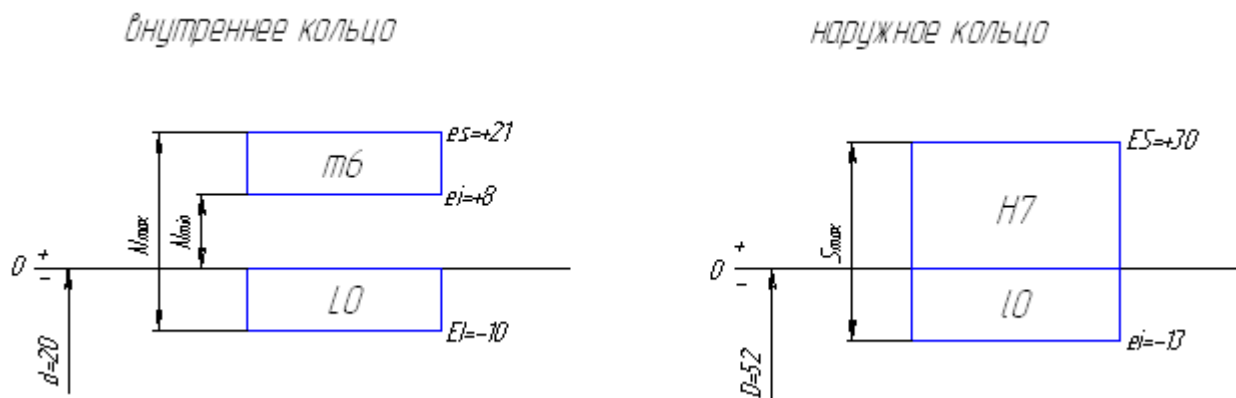


Рисунок 8 – Схемы полей допусков посадок

8. Изобразим эскиз вала, корпуса и сборочного узла (рисунок 9).

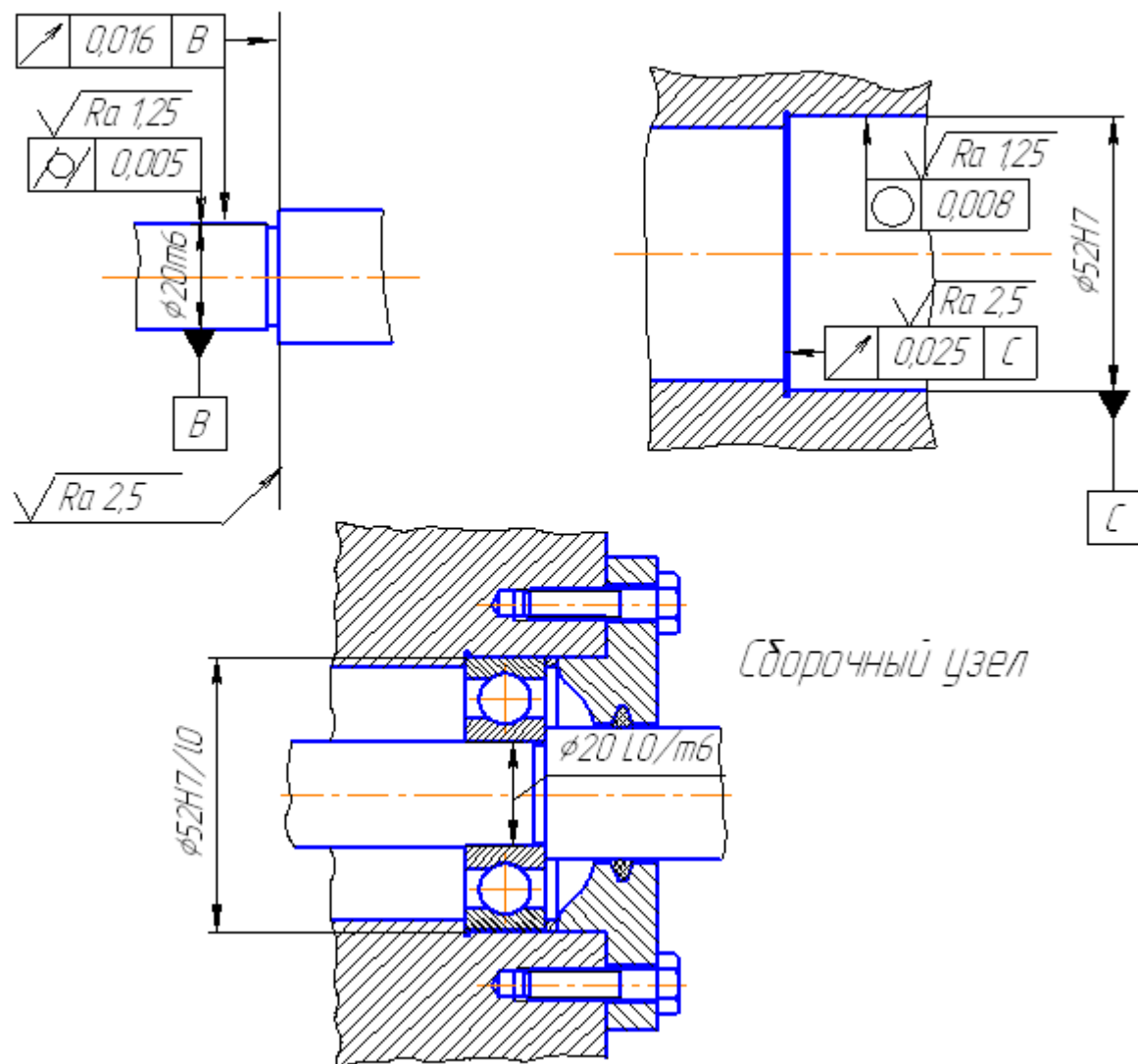


Рисунок 9 – Эскизы сопрягаемых деталей и сборочного узла ПК

### 3. ШЕРОХОВАТОСТЬ, ОТКЛОНЕНИЯ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ

#### 3.1 Задание

Назначить шероховатость поверхностей и допуски на отклонения формы и взаимного расположения поверхностей для вала и стакана подшипника.

Исходные данные для выполнения задания студент выбирает, согласно варианту, из таблицы 10.

Данное задание заключается в том, чтобы рассчитать и проставить на чертежах вала и стакана подшипника параметры шероховатости и допуски на отклонение формы и взаимного расположения заданных поверхностей. Поверхности, шероховатость которых

нужно рассчитать и проставить, обозначены условным знаком шероховатости -  $\sqrt{\quad}$ , а поверхности, на которые необходимо рассчитать допуски отклонения формы и взаимного расположения, обозначены арабскими цифрами в скобках, проставленными вместо номинального размера и поля допуска (рисунки 10 и 11).

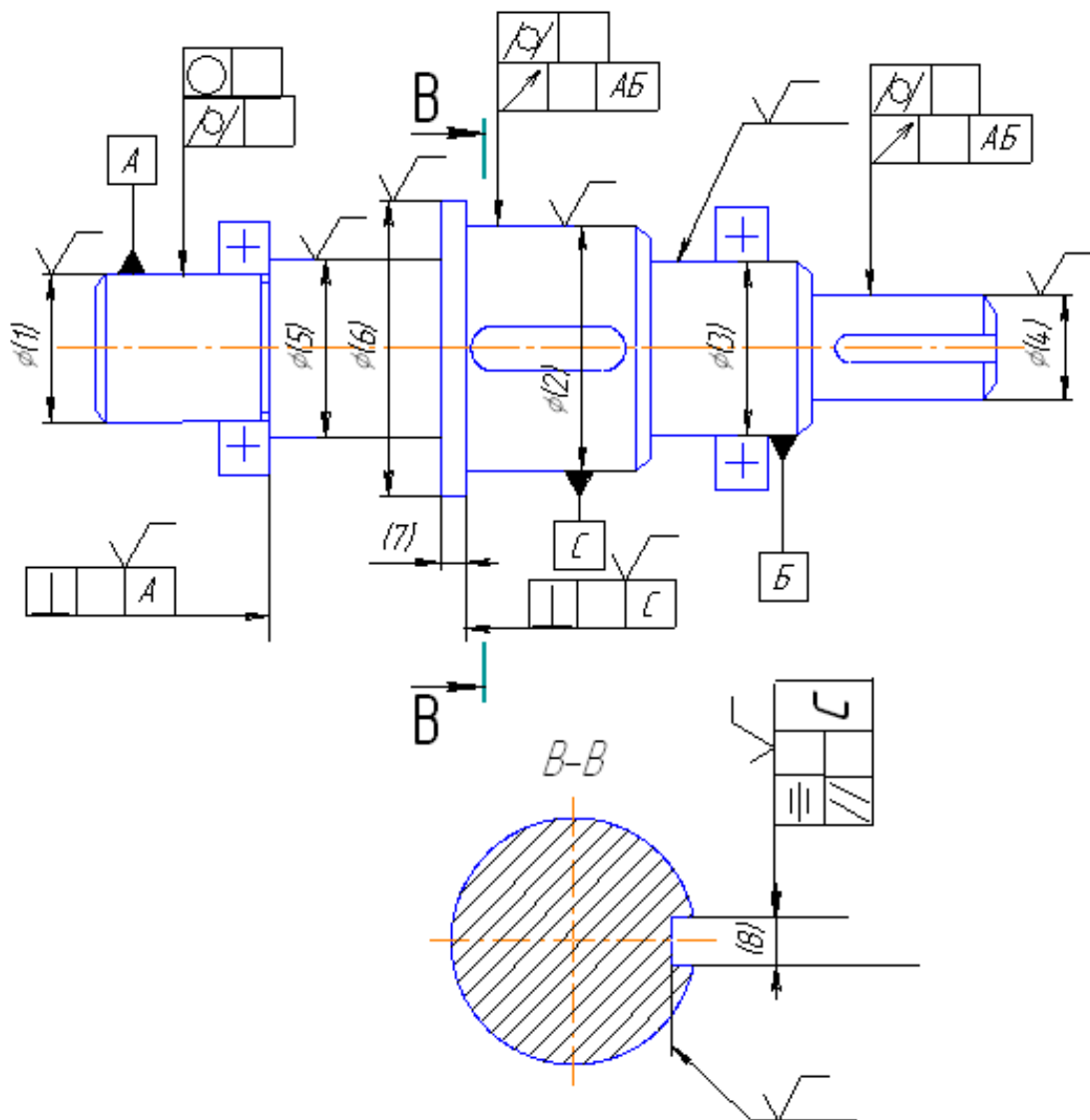


Рисунок 10 – Вал

Таблица 10 – Исходные данные согласно вариантам

| №<br>п/п | Размер согласно номеру (см. рисунки 10 и 11) |      |      |      |                     |                     |        |      |       |      |    |                      |                       |        |
|----------|----------------------------------------------|------|------|------|---------------------|---------------------|--------|------|-------|------|----|----------------------|-----------------------|--------|
|          | 1                                            | 2    | 3    | 4    | 5                   | 6                   | 7      | 8    | 9     | 10   | 11 | 12                   | 13                    | 14     |
| 1        | 35k6                                         | 48n6 | 35k6 | 30r6 | 42 <sub>-0,2</sub>  | 54 <sub>-0,3</sub>  | 10h15  | 14H9 | 72h8  | 62H7 | 65 | 10,5 <sup>+0,2</sup> | 12 <sub>-0,2</sub>    | 22h8   |
| 2        | 30k6                                         | 42n7 | 30k6 | 21r6 | 40 <sub>-0,2</sub>  | 45 <sub>-0,2</sub>  | 12h11  | 12P9 | 72h8  | 65H8 | 85 | 10 <sup>+0,3</sup>   | 12 <sub>-0,15</sub>   | 20h7   |
| 3        | 35k6                                         | 45n7 | 35k6 | 22r6 | 42 <sub>-0,2</sub>  | 48 <sub>-0,25</sub> | 4,4h10 | 14P9 | 70h9  | 60H7 | 90 | 8,5 <sup>+0,2</sup>  | 11 <sub>-0,1</sub>    | 18h8   |
| 4        | 40k6                                         | 48n6 | 40k6 | 24r6 | 45 <sub>-0,25</sub> | 50 <sub>-0,25</sub> | 4,5h11 | 14H9 | 75h8  | 58H8 | 85 | 10,5 <sup>+0,3</sup> | 12 <sub>-0,2</sub>    | 22h7   |
| 5        | 45k6                                         | 50n7 | 45k6 | 25r7 | 53 <sub>-0,3</sub>  | 55 <sub>-0,3</sub>  | 9h15   | 14N9 | 72h9  | 65H7 | 80 | 9 <sup>+0,2</sup>    | 10,5 <sub>-0,15</sub> | 19h8   |
| 6        | 50k6                                         | 53n7 | 50k6 | 26r8 | 50 <sub>-0,3</sub>  | 55 <sub>-0,2</sub>  | 8,5h9  | 16N9 | 72h10 | 62H8 | 90 | 10,5 <sup>+0,5</sup> | 15 <sub>-0,3</sub>    | 20,5h8 |
| 7        | 45k5                                         | 50n7 | 45k5 | 28r7 | 48 <sub>-0,25</sub> | 55 <sub>-0,3</sub>  | 8h15   | 14P9 | 80h8  | 65H7 | 85 | 10 <sup>+0,3</sup>   | 14 <sub>-0,2</sub>    | 21h8   |

## Продолжение таблицы 10

| №   | Размер согласно номеру (см. рисунки 10 и 11) |      |       |      |                     |                    |        |      |       |       |     |                      |                      |        |
|-----|----------------------------------------------|------|-------|------|---------------------|--------------------|--------|------|-------|-------|-----|----------------------|----------------------|--------|
| п/п | 1                                            | 2    | 3     | 4    | 5                   | 6                  | 7      | 8    | 9     | 10    | 11  | 12                   | 13                   | 14     |
| 8   | 40k5                                         | 48n7 | 40k5  | 30r6 | 45 <sub>-0,2</sub>  | 53 <sub>-0,3</sub> | 6h12   | 14N9 | 75h7  | 62H8  | 80  | 9,5 <sup>+0,3</sup>  | 15 <sub>-0,2</sub>   | 19,5h7 |
| 9   | 35k5                                         | 48n6 | 35k5  | 35r6 | 42 <sub>-0,2</sub>  | 50 <sub>-0,3</sub> | 11h9   | 14H9 | 72h7  | 62G7  | 75  | 9 <sup>+0,3</sup>    | 14 <sub>-0,25</sub>  | 20h6   |
| 10  | 30k5                                         | 42n6 | 30k5  | 24r7 | 42 <sub>-0,3</sub>  | 48 <sub>-0,2</sub> | 8h12   | 12H9 | 70h7  | 67H7  | 80  | 9 <sup>+0,25</sup>   | 13 <sub>-0,2</sub>   | 20h7   |
| 11  | 30k6                                         | 45n6 | 30k6  | 25r7 | 40 <sub>-0,2</sub>  | 50 <sub>-0,2</sub> | 4,5h15 | 14P9 | 75h7  | 64H7  | 85  | 10 <sup>+0,3</sup>   | 10 <sub>-0,2</sub>   | 20h8   |
| 12  | 35k5                                         | 48n7 | 35k5  | 26r7 | 42 <sub>-0,25</sub> | 50 <sub>-0,3</sub> | 14h12  | 14H9 | 72h8  | 64Js7 | 85  | 11 <sup>+0,2</sup>   | 10 <sub>-0,3</sub>   | 19h7   |
| 13  | 30js6                                        | 48n8 | 30js6 | 26r6 | 44 <sub>-0,2</sub>  | 52 <sub>-0,3</sub> | 6h11   | 14N9 | 70h9  | 62H7  | 90  | 10,5 <sup>+0,2</sup> | 11 <sub>-0,3</sub>   | 18h7   |
| 14  | 35h5                                         | 50n6 | 35h6  | 25s6 | 45 <sub>-0,3</sub>  | 55 <sub>-0,4</sub> | 8h13   | 14N9 | 75h9  | 62Js7 | 90  | 10,5 <sup>+0,3</sup> | 11 <sub>-0,4</sub>   | 19h8   |
| 15  | 35h6                                         | 50s6 | 35h6  | 25s7 | 45 <sub>-0,3</sub>  | 53 <sub>-0,2</sub> | 6h14   | 14P9 | 75h10 | 65H7  | 85  | 8,5 <sup>+0,2</sup>  | 11 <sub>-0,5</sub>   | 20,5h7 |
| 16  | 30js6                                        | 50p6 | 30js6 | 25u7 | 46 <sub>-0,2</sub>  | 55 <sub>-0,5</sub> | 6h14   | 14H9 | 70h10 | 65Js7 | 85  | 8,5 <sup>+0,3</sup>  | 10,5 <sub>-0,1</sub> | 19h9   |
| 17  | 35k6                                         | 48p7 | 35k6  | 26t6 | 42 <sub>-0,4</sub>  | 56 <sub>-0,4</sub> | 8h11   | 14P9 | 70h7  | 60Js7 | 80  | 8,5 <sup>+0,5</sup>  | 10,5 <sub>-0,2</sub> | 20h7   |
| 18  | 40k6                                         | 45p6 | 40k6  | 28t6 | 48 <sub>-0,2</sub>  | 56 <sub>-0,4</sub> | 10h15  | 14N9 | 70h9  | 60H7  | 85  | 8,5 <sup>+0,4</sup>  | 10,5 <sub>-0,3</sub> | 19h7   |
| 19  | 40js6                                        | 45s7 | 40js6 | 30t6 | 50 <sub>-0,1</sub>  | 56 <sub>-0,2</sub> | 8h12   | 14H9 | 70h8  | 62N8  | 80  | 9 <sup>+0,2</sup>    | 10,5 <sub>-0,5</sub> | 21h7   |
| 20  | 40h6                                         | 48u7 | 40h6  | 28u7 | 50 <sub>-0,2</sub>  | 56 <sub>-0,3</sub> | 10h13  | 14H9 | 75h8  | 62H7  | 80  | 9 <sup>+0,3</sup>    | 11 <sub>-0,5</sub>   | 22h6   |
| 21  | 35js6                                        | 48s6 | 35js6 | 28p7 | 42 <sub>-0,2</sub>  | 53 <sub>-0,3</sub> | 5,5h8  | 14N9 | 75h11 | 67H8  | 80  | 10 <sup>+0,3</sup>   | 13 <sub>-0,4</sub>   | 20h6   |
| 22  | 40m6                                         | 48s7 | 40m6  | 32p6 | 45 <sub>-0,2</sub>  | 50 <sub>-0,2</sub> | 9h10   | 14P9 | 72h10 | 65H7  | 85  | 10,5 <sup>+0,2</sup> | 14 <sub>-0,1</sub>   | 19h8   |
| 23  | 30m6                                         | 38r6 | 30m6  | 28n7 | 40 <sub>-0,4</sub>  | 45 <sub>-0,3</sub> | 5h11   | 10H9 | 75h9  | 67H8  | 80  | 12 <sup>+0,2</sup>   | 12 <sub>-0,2</sub>   | 20h8   |
| 24  | 25k5                                         | 32r7 | 25k5  | 20n6 | 35 <sub>-0,3</sub>  | 38 <sub>-0,2</sub> | 4h15   | 10N9 | 72h8  | 62H7  | 75  | 11 <sup>+0,4</sup>   | 14 <sub>-0,3</sub>   | 19h7   |
| 25  | 35js6                                        | 40s7 | 35js6 | 32r6 | 45 <sub>-0,4</sub>  | 48 <sub>-0,5</sub> | 5h11   | 12P9 | 72h6  | 62H8  | 75  | 12 <sup>+0,3</sup>   | 10 <sub>-0,2</sub>   | 18h8   |
| 26  | 40h6                                         | 45u8 | 40h6  | 28k7 | 50 <sub>-0,2</sub>  | 53 <sub>-0,3</sub> | 8h11   | 14H9 | 75h9  | 65H7  | 85  | 10,5 <sup>+0,4</sup> | 12 <sub>-0,1</sub>   | 19h6   |
| 27  | 35m6                                         | 42p7 | 35m6  | 28k8 | 44 <sub>-0,3</sub>  | 48 <sub>-0,2</sub> | 10h10  | 12P9 | 72h8  | 62H7  | 80  | 10 <sup>+0,5</sup>   | 12 <sub>-0,2</sub>   | 18h8   |
| 28  | 30k5                                         | 35p6 | 30k5  | 25u8 | 45 <sub>-0,4</sub>  | 48 <sub>-0,2</sub> | 4h13   | 10N9 | 70h7  | 60H6  | 75  | 8,5 <sup>+0,4</sup>  | 12 <sub>-0,5</sub>   | 19h7   |
| 29  | 25js6                                        | 32p7 | 25js6 | 18p8 | 40 <sub>-0,2</sub>  | 44 <sub>-0,3</sub> | 6h14   | 10H9 | 67h9  | 57H8  | 80  | 10 <sup>+0,5</sup>   | 14 <sub>-0,1</sub>   | 18h9   |
| 30  | 30k6                                         | 38n6 | 30k6  | 26z8 | 40 <sub>-0,3</sub>  | 45 <sub>-0,4</sub> | 12h15  | 10P9 | 72h8  | 62H7  | 85  | 11 <sup>+0,1</sup>   | 15 <sub>-0,2</sub>   | 18h7   |
| 31  | 30k5                                         | 48p6 | 30k5  | 28s6 | 40 <sub>-0,3</sub>  | 53 <sub>-0,2</sub> | 5h15   | 14P9 | 75h10 | 65H8  | 90  | 11 <sup>+0,4</sup>   | 13 <sub>-0,3</sub>   | 21h7   |
| 32  | 35m6                                         | 42t7 | 35m6  | 22n6 | 48 <sub>-0,1</sub>  | 50 <sub>-0,2</sub> | 6h14   | 12N9 | 75h9  | 64H7  | 90  | 10,5 <sup>+0,5</sup> | 12 <sub>-0,1</sub>   | 18h6   |
| 33  | 25js6                                        | 30t6 | 25js6 | 20r7 | 40 <sub>-0,2</sub>  | 44 <sub>-0,3</sub> | 5h13   | 8P9  | 75h7  | 62G7  | 85  | 12 <sup>+0,3</sup>   | 11 <sub>-0,2</sub>   | 19h7   |
| 34  | 20k6                                         | 28t6 | 20k6  | 18r7 | 35 <sub>-0,2</sub>  | 42 <sub>-0,2</sub> | 4h15   | 8H9  | 75h8  | 62H7  | 80  | 9,5 <sup>+0,4</sup>  | 14 <sub>-0,3</sub>   | 17h8   |
| 35  | 30h6                                         | 35s6 | 30h6  | 22u6 | 38 <sub>-0,3</sub>  | 36 <sub>-0,3</sub> | 4h10   | 10P9 | 70h7  | 60G7  | 75  | 8 <sup>+0,3</sup>    | 12 <sub>-0,2</sub>   | 18h7   |
| 36  | 25h6                                         | 30k7 | 25h6  | 20u8 | 32 <sub>-0,2</sub>  | 36 <sub>-0,2</sub> | 4h15   | 8N9  | 65h6  | 55H6  | 70  | 7,5 <sup>+0,2</sup>  | 14 <sub>-0,3</sub>   | 16h6   |
| 37  | 20h5                                         | 25p7 | 20h5  | 18z7 | 30 <sub>-0,1</sub>  | 36 <sub>-0,2</sub> | 6h11   | 8H9  | 62h8  | 53H7  | 65  | 7 <sup>+0,3</sup>    | 14 <sub>-0,1</sub>   | 17h8   |
| 38  | 25n6                                         | 28u7 | 25n6  | 20u7 | 32 <sub>-0,2</sub>  | 35 <sub>-0,1</sub> | 6h14   | 8P9  | 65h9  | 52G7  | 72  | 9 <sup>+0,2</sup>    | 13 <sub>-0,2</sub>   | 18h7   |
| 39  | 25m6                                         | 28p7 | 25m6  | 20u8 | 35 <sub>-0,15</sub> | 40 <sub>-0,1</sub> | 4h15   | 8N9  | 85h7  | 70H6  | 100 | 8 <sup>+0,3</sup>    | 14 <sub>-0,15</sub>  | 17h7   |
| 40  | 35k6                                         | 42u7 | 35k6  | 28r7 | 42 <sub>-0,1</sub>  | 45 <sub>-0,2</sub> | 5h11   | 12P9 | 67h9  | 60H8  | 80  | 10 <sup>+0,5</sup>   | 15 <sub>-0,3</sub>   | 18h8   |
| 41  | 35k6                                         | 48n8 | 35k6  | 30r6 | 42 <sub>-0,2</sub>  | 55 <sub>-0,3</sub> | 10h15  | 14H9 | 72h8  | 62H7  | 85  | 10 <sup>+0,5</sup>   | 12 <sub>-0,2</sub>   | 22h8   |
| 42  | 30k6                                         | 50p7 | 30k6  | 26r6 | 56 <sub>-0,1</sub>  | 55 <sub>-0,2</sub> | 9h11   | 14H9 | 72h9  | 64H7  | 90  | 11 <sup>+0,3</sup>   | 13 <sub>-0,4</sub>   | 20h7   |
| 43  | 40js6                                        | 53r6 | 40js6 | 28t6 | 45 <sub>-0,2</sub>  | 58 <sub>-0,1</sub> | 6h9    | 16H9 | 72h10 | 65H7  | 85  | 10 <sup>+0,2</sup>   | 11 <sub>-0,2</sub>   | 19h7   |
| 44  | 35m6                                         | 40s7 | 35m6  | 30s6 | 48 <sub>-0,2</sub>  | 50 <sub>-0,3</sub> | 15h12  | 12P9 | 72h7  | 62G7  | 90  | 9 <sup>+0,2</sup>    | 12 <sub>-0,2</sub>   | 21h9   |
| 45  | 30m6                                         | 38r6 | 30m6  | 25t6 | 45 <sub>-0,1</sub>  | 44 <sub>-0,2</sub> | 10h13  | 10N9 | 65h7  | 58H8  | 75  | 8 <sup>+0,3</sup>    | 13 <sub>-0,2</sub>   | 17h9   |
| 46  | 25js6                                        | 30u6 | 25js6 | 20s7 | 35 <sub>-0,3</sub>  | 38 <sub>-0,2</sub> | 10h12  | 8N9  | 62h8  | 55H8  | 65  | 8 <sup>+0,4</sup>    | 13 <sub>-0,2</sub>   | 17h7   |
| 47  | 25h6                                         | 30u7 | 25h6  | 20z8 | 35 <sub>-0,2</sub>  | 38 <sub>-0,1</sub> | 10h14  | 8P9  | 62h6  | 55H7  | 68  | 9 <sup>+0,2</sup>    | 12 <sub>-0,2</sub>   | 16h8   |

### 3.2 Методические указания

На рабочих чертежах деталей машин все поверхности должны иметь указания о шероховатости. Шероховатость поверхности – это совокупность неровностей поверхности с относительно малым шагом на базовой длине  $l$ .

Для оценки шероховатости применяют следующие высотные параметры по ГОСТ 2789 – 73:

$R_a$  – среднее арифметическое отклонение неровностей профиля;

$R_z$  – высота неровностей по 10-ти точкам;

$R_{max}$  – наибольшая высота неровностей.

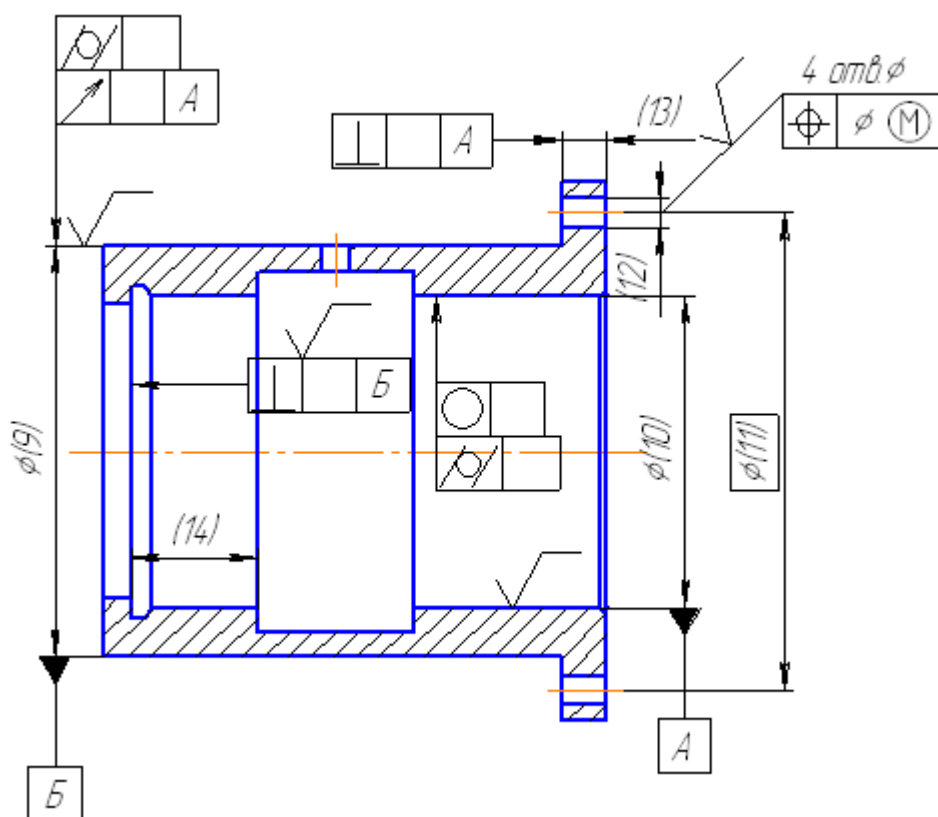


Рисунок 11 – Стакан подшипника

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

где  $y_i$  – отклонение профиля от средней линии  $m$  в заданной точке.

$$R_z = \frac{\sum_{j=1}^5 |H_j| + \sum_{j=1}^5 |h_j|}{5},$$

где  $H_j$  и  $h_j$  – высота соответственно наибольших выступов и впадин на базовой длине  $l$ .

При этом

$$R_{max} = |H_{max}| + |h_{max}|,$$

где  $H_{max}$  и  $h_{max}$  – максимальные значения высот соответственно выступов и впадин на исследуемом участке.

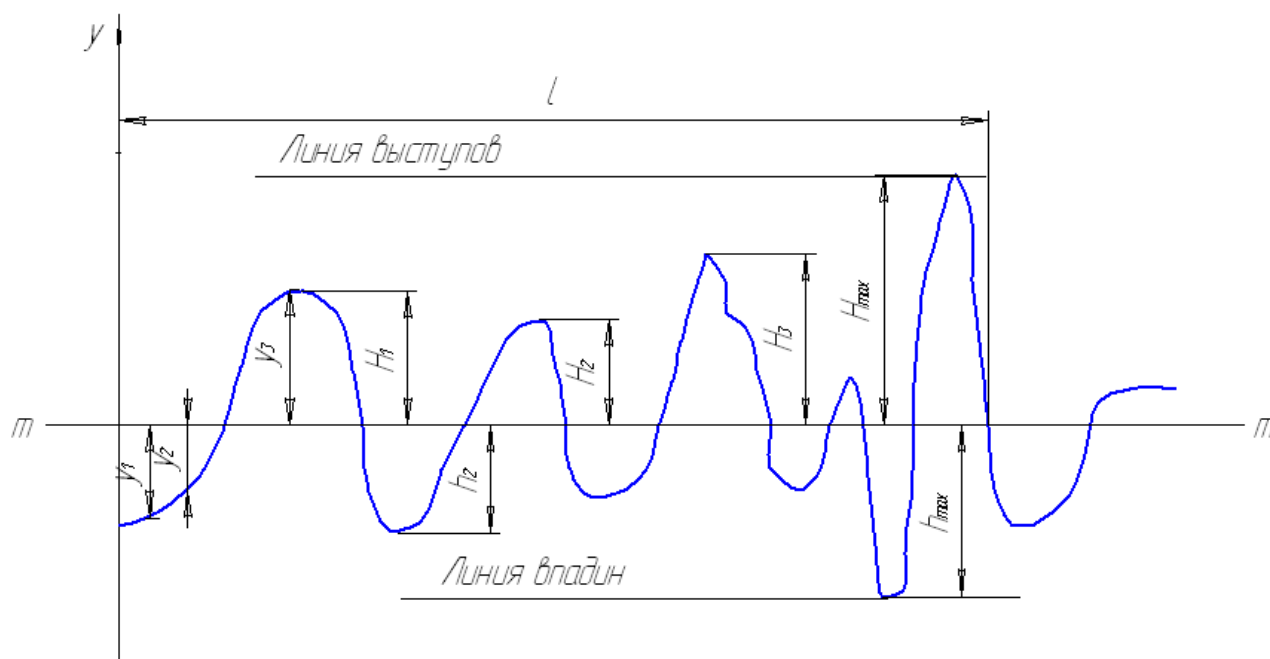


Рисунок 12 – Схема параметров шероховатости

На чертежах для обозначения шероховатости применяются знаки:

- ✓ – вид обработки не указан;
- ▽ – обработка со снятием стружки;
- / – обработка без снятия стружки.

Знак шероховатости ✓ применяется, если не указаны параметры и способ обработки. При указании параметров шероховатости применяют знак с полкой (рисунок 13).

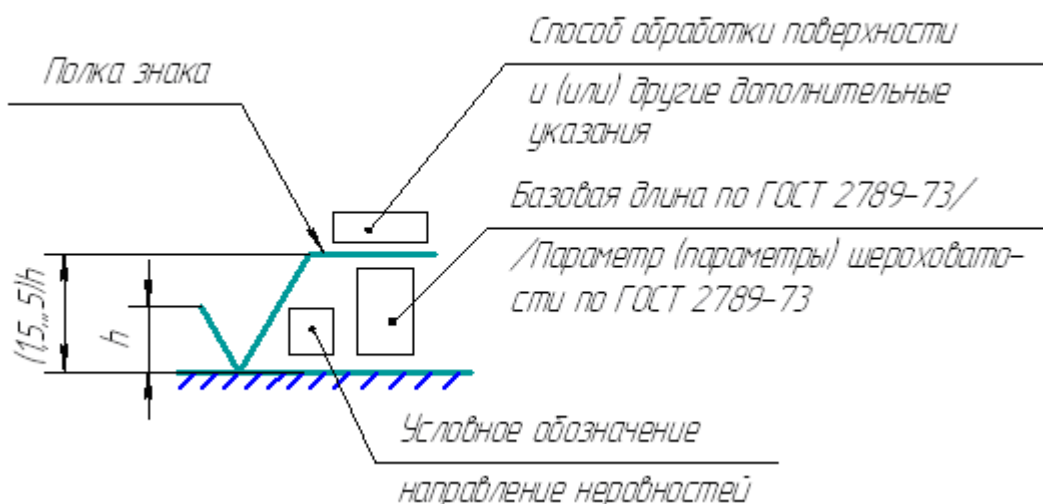


Рисунок 13 – Знак шероховатости с полкой

Для простановки шероховатости на рабочих чертежах рекомендуется применять параметры  $R_a$  из стандартного ряда (таблица 14).

Шероховатость поверхности обычно зависит от допуска  $T$  размера поверхности: для поверхностей нормальной относительной геометрической точности рекомендуется  $R_a \approx 0,05T$ ; для посадочных мест подшипников качения  $R_a \approx 0,04T$ .

Кроме указаний о шероховатости, для ответственных поверхностей деталей на рабочих чертежах необходимо указывать сведения о допусках на их отклонения от номинальной формы и номинального взаимного расположения. Среди отклонений формы поверхности нормируются отклонения от круглости, цилиндричности, прямолинейности и др. Распространёнными отклонениями от взаимного расположения поверхностей являются: отклонения от параллельности, перпендикулярности, соосности, симметричного расположения и др.

Некоторые отклонения имеют сложное происхождение, когда суммируются два различного вида отклонения или более. К отклонениям такого типа относятся радиальное и торцовое биение поверхностей.

Стандартом установлены условные обозначения допусков формы и взаимного расположения поверхностей:

- — допуск прямолинейности;
- — допуск круглости;
- / — допуск цилиндричности;
- == — допуск профиля продольного сечения;
- // — допуск параллельности;
- ⊥ — допуск перпендикулярности;
- ◎ — допуск соосности;
- ≡ — допуск симметричности;
- ⊕ — позиционный допуск;
- ↗ — допуск радиального и торцового биения.

Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей установлены ГОСТ 24643-81 и приведены в справочной литературе.

Приблизённо для расчёта числовых значений допусков можно пользоваться следующими зависимостями:

1. При нормальной относительной геометрической точности поверхности допуск отклонения формы и взаимного расположения поверхностей составляет 60% допуска размера, причём допуск на отклонение от круглости и цилиндричности равен 30% допуска размера.

2. Для посадочных мест подшипников качения допуск отклонения формы составляет 50% допуска размера, допуск на отклонение от круглости и цилиндричности – 25%  $T_d$  (TD).

3. Диаметральный допуск отклонения от соосности двух цилиндрических поверхностей детали равен 30% суммы допусков размеров этих деталей.

4. Допуск радиального биения поверхности относительно оси базовой поверхности равен 60% допуска размера контролируемой поверхности.

5. Допускаемое радиальное биение одной поверхности относительно базовой поверхности не должно превышать 60% суммы допусков размеров контролируемой и базовой поверхностей.

6. Допуск на отклонение от параллельности и симметричности расположения шпоночного паза можно принимать равным соответственно допуску и 4-кратному допуску ширины шпоночного паза.

7. Допуск на отклонение от перпендикулярности заплечиков валов можно принимать равным 60% допуска ширины насаживаемых на эти участки валов деталей (для коротких деталей) и 60...100% допуска ширины буртика  $l$  вала при отношении  $l/d \geq 0,8$  для насаживаемой на этот уступ вала детали.

8. Допуск перпендикулярности базовых торцов вала для подшипников качения классов точности 0 и 6 назначают по ГОСТ 24643-81 (таблица 11) в зависимости от

системы точности допуска перпендикулярности: 8 – для шариковых, 7 – для роликовых (на  $d_{\max}$  заплечика).

Таблица 11 – Допуски параллельности, перпендикулярности по ГОСТ 24643-81  
в микрометрах

| Интервал размеров,<br>мм | Допуски параллельности, перпендикулярности при степени<br>точности допуска |    |    |    |    |     |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|-----|
|                          | 5                                                                          | 6  | 7  | 8  | 9  | 10  |
| Св. 16 до 25             | 4                                                                          | 6  | 10 | 16 | 25 | 40  |
| >> 25 >> 40              | 5                                                                          | 8  | 12 | 20 | 30 | 50  |
| >> 40 >> 63              | 6                                                                          | 10 | 16 | 25 | 40 | 60  |
| >> 63 >> 100             | 8                                                                          | 12 | 20 | 30 | 50 | 80  |
| >> 100 >> 160            | 10                                                                         | 16 | 25 | 40 | 60 | 100 |
| >> 160 >> 250            | 12                                                                         | 20 | 30 | 50 | 80 | 120 |

9. Допуск перпендикулярности базовых торцов подшипникового стакана оси отверстия задают на  $D_{\max}$ : для конических роликоподшипников по IT6, радиальных подшипников с короткими цилиндрическими роликами по IT7, шариковых радиальных и радиально упорных подшипников по IT8.

10. Позиционный допуск применяется при задании отклонений от номинального расположения осей отверстий под крепёжные детали и определяется по справочникам, либо рассчитывается в зависимости от допуска на отклонение осей отверстий номинального расположения, определяемого технологией изготовления.

При обработке отверстий, расположенных по линии, позиционный допуск можно выразить через линейный допуск  $T_x$ :

$$T_{\oplus} = \frac{T_x}{0,7}.$$

При обработке отверстий, расположенных по окружности, позиционный допуск определяется:

$$T_{\oplus} = \frac{T_R}{0,7},$$

где  $T_R$  – допуск радиуса расположения осей отверстий

$$T_x (T_R) \approx (0,25 \dots 0,5) S_{\min},$$

где  $S_{\min}$  – минимальный зазор между отверстием и болтом, мм: принимается по таблице 12.

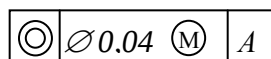
Таблица 12 – Минимальные гарантированные зазоры в болтовых соединениях по ГОСТ11284-75.

в миллиметрах

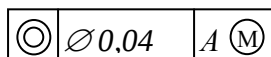
| Диаметр стержня<br>болта | Обработка      |                           |                               |
|--------------------------|----------------|---------------------------|-------------------------------|
|                          | по кондукторам | при разметке по<br>линиям | при разметке по<br>окружности |
| 4,0                      | 0,3            | 0,5                       | 0,8                           |
| 5,0                      | 0,3            | 0,5                       | 0,8                           |
| 6,0                      | 0,4            | 0,6                       | 1,0                           |
| 7,0                      | 0,4            | 0,6                       | 1,0                           |
| 8,0                      | 0,4            | 1,0                       | 2,0                           |
| 10,0                     | 0,5            | 1,0                       | 2,0                           |
| 12                       | 1,0            | 2,0                       | 3,0                           |
| 14                       | 1,0            | 2,0                       | 3,0                           |
| 16                       | 1,0            | 2,0                       | 3,0                           |
| 18                       | 1,0            | 2,0                       | 3,0                           |
| 20                       | 1,0            | 2,0                       | 4,0                           |
| 22                       | 1,0            | 2,0                       | 4,0                           |
| 24                       | 1,0            | 2,0                       | 4,0                           |

11. Зависимые допуски расположения или формы обозначают условным знаком  $\textcircled{M}$ , который помещают:

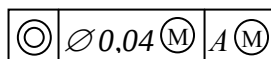
а) после числового значения допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого элемента



б) после буквенного обозначения базы в рамке допуска, если зависимый допуск связан с действительными размерами базового элемента



в) после числового значения допуска и буквенного обозначения базы, если зависимый допуск связан с действительными размерами рассматриваемого и базового элементов



Примеры обозначения баз и нанесения допусков приведены на рисунке 14.

Расчетные значения допусков необходимо округлять до стандартных значений (таблица 13).

Таблица 13 - Допуски формы и расположения поверхностей ГОСТ 24643-81.

в микрометрах

|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1   | 1,2 | 1,6 | 2   | 2,5 | 3   | 4   | 5   | 6   | 8   |
| 10  | 12  | 16  | 20  | 25  | 30  | 40  | 50  | 60  | 80  |
| 100 | 120 | 160 | 200 | 250 | 300 | 400 | 500 | 600 | 800 |

Таблица 14 – Числовые значения  $R_a$  по ГОСТ 2789-73

в микрометрах

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ra | 100   | 80    | 63    | 50    | 40    | 32    | 25    | 20    | 16    | 12,5  |
|    | 10,0  | 8,0   | 6,3   | 5,0   | 4,0   | 3,2   | 2,5   | 2,0   | 1,6   | 1,25  |
|    | 1,00  | 0,80  | 0,63  | 0,50  | 0,40  | 0,32  | 0,25  | 0,20  | 0,16  | 0,125 |
|    | 0,100 | 0,08  | 0,063 | 0,050 | 0,040 | 0,032 | 0,025 | 0,020 | 0,016 | 0,012 |
|    | 0,010 | 0,008 | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     | –     |

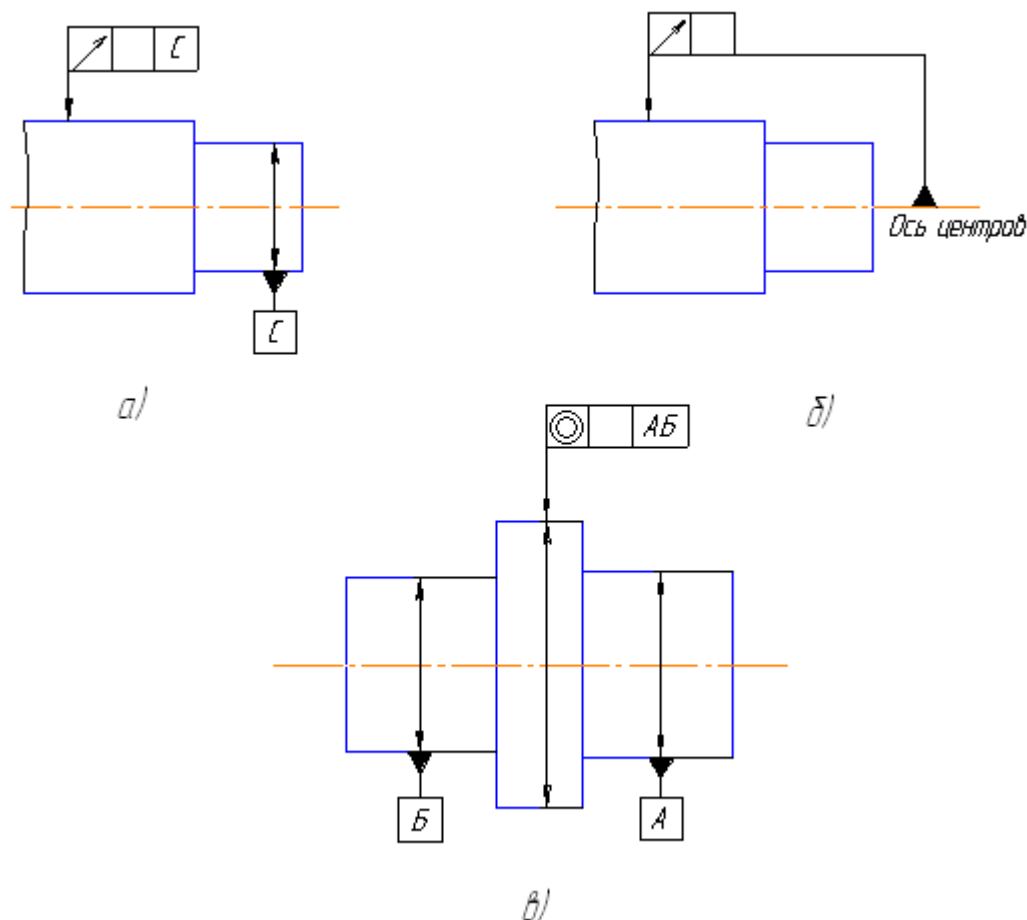


Рисунок 14 – Нанесение баз и допусков расположения:

а) относительно оси базовой поверхности; б) относительно оси центровых отверстий; в) относительно общей оси двух базовых поверхностей.

### 3.3 Пример выполнения задания:

Назначить шероховатость поверхностей и допуски на отклонение формы и взаимного расположения поверхностей вала (рисунок 10).

Шероховатости отмеченных поверхностей находим сообразно назначению поверхностей и допуску их размера.

Поверхности  $\varnothing 30n7$ ,  $\varnothing 20H5$  согласно квалитетам допусков их размеров являются ответственными поверхностями, образующими с сопрягаемыми поверхностями других деталей определённые посадки. В общем случае выделенные поверхности можно считать поверхностями нормальной геометрической точности, для которых параметр шероховатости  $R_a \approx 0,05 Td$ .

Следовательно, для поверхности  $\varnothing 30n7$ :  $Td=0,021$  мм

$$R_a \approx 0,05 \cdot 0,021 = 0,00105 \text{ мм} = 1,05 \text{ мкм} ,$$

принимаем  $R_a=1,0$  мкм из стандартного ряда.

Для поверхности  $\varnothing 20H5$ :  $Td=0,009$  мм

$$R_a \approx 0,05 \cdot 9 = 0,45 \text{ мкм} ,$$

принимаем из стандартного ряда  $R_a=0,4$  мкм.

Для поверхности под подшипник качения  $\varnothing 40k6$ :  $Td=0,016$  мм

$$R_a = 0,04 \cdot 16 = 0,64 \text{ мкм} ,$$

принимаем  $R_a=0,63$  мкм из стандартного ряда.

Шероховатость торца заплеика вала для базирования подшипников класса точности 0 назначаем  $R_a = 1,6$  мкм.

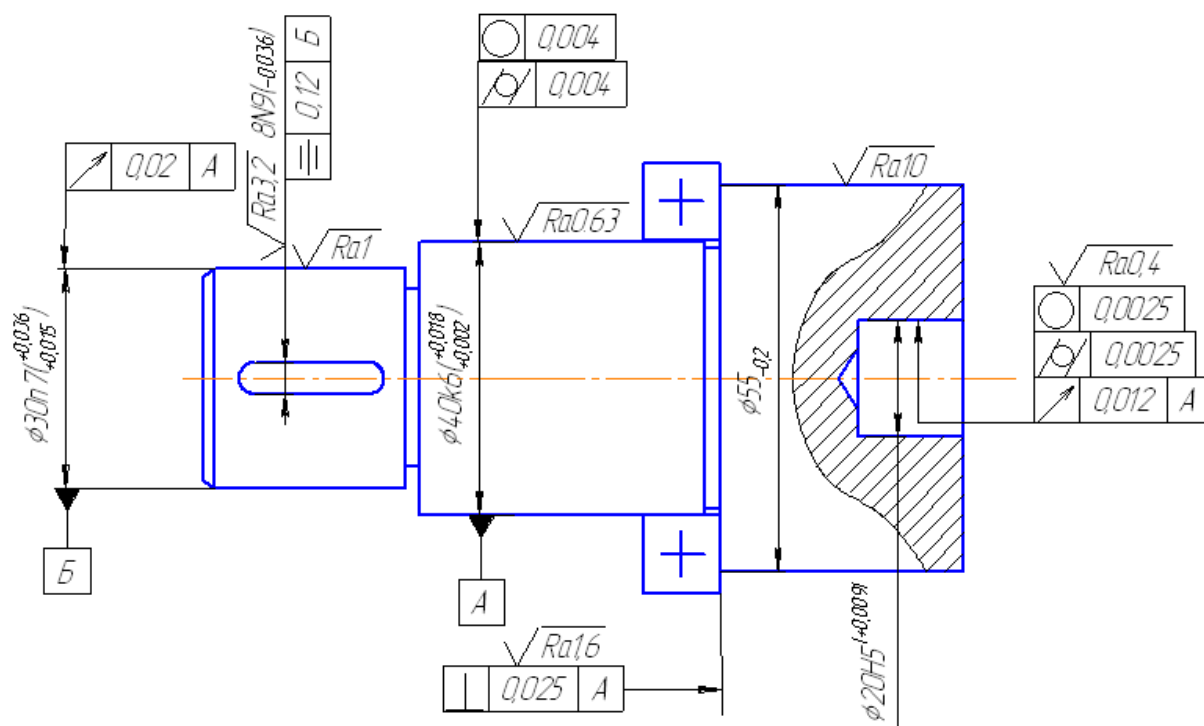


Рисунок 15 – Вал

Шероховатость поверхности  $\varnothing 55_{-0,2}$  назначаем по общему правилу  $R_a \approx 200 \cdot 0,05 = 10$  мкм.

Шероховатость поверхностей шпоночного паза на валах: рабочих  $R_a = 3,2$  мкм нерабочих  $R_a = 6,3$  мкм.

Допуски на отклонение формы и расположения поверхностей также определим приближённым методом.

Расчёт допусков на отклонение от круглости и цилиндричности поверхностей:  
для поверхности  $\varnothing 40k6$ :

$$T_o \approx 0,25 Td = 0,25 \cdot 16 = 4,0 \text{ мкм}, \text{ принимаем } T_o=4 \text{ мкм из стандартного ряда.}$$

$$T_{\phi} \approx 0,25 Td = 0,25 \cdot 16 = 4,0 \text{ мкм, принимаем } T_{\phi} = 4 \text{ мкм.}$$

для поверхности  $\varnothing 20H5$ :

$$T_O \approx 0,3TD = 0,3 \cdot 9 = 2,7 \text{ мкм, принимаем } T_O = 2,5 \text{ мкм.}$$

$$T_{\phi} \approx 0,3TD = 0,3 \cdot 9 = 2,7 \text{ мкм, принимаем } T_{\phi} = 2,5 \text{ мкм.}$$

Допуск на радиальное биение поверхности относительно поверхности А:  
для поверхности  $\varnothing 30h7$ :

$$T_r \approx 0,6(Td_1 + Td_2) = 0,6 \cdot (21 + 16) = 22,2 \text{ мкм, принимаем } T_r = 20 \text{ мкм;}$$

для поверхности  $\varnothing 20H5$ :

$$T_r \approx 0,6(TD_3 + Td_2) = 0,6 \cdot (9 + 16) = 15 \text{ мкм, принимаем } T_r = 12 \text{ мкм;}$$

Допуск на отклонение от перпендикулярности торца поверхности  $\varnothing 55_{-0,2}$  для фиксации шарикоподшипника соответствует восьмой степени точности и составляет  $T_{\perp} = 25 \text{ мкм.}$

Допуск на отклонение от симметричности расположения шпоночного паза:

$$T_{\equiv} \approx 4 \cdot T_B = 4 \cdot 36 = 144 \text{ мкм, принимаем } T_{\equiv} = 120 \text{ мкм,}$$

где  $T_B$  – допуск на ширину паза вала.

## 4. ДОПУСКИ И ПОСАДКИ ШПОНОЧНЫХ И ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

### 4.1 Шпоночные соединения

#### 4.1.1 Задание

1. Выбрать по ГОСТ 23360-78 недостающие параметры шпоночного соединения с призматической шпонкой и записать условное обозначение.
2. Для заданного типа соединения назначить поля допусков деталей шпоночного соединения из рекомендуемых посадок и указать условия применения.
3. Определить предельные отклонения всех параметров шпоночного соединения.
4. Построить схемы расположения допусков для деталей шпоночного соединения.
5. На эскизах сечения вала и втулки проставить необходимые размеры.

Вариант задания студент выбирает из таблицы 15.

Таблица 15 – Исходные данные

в миллиметрах

| № вар | Номи-нальный диаметр $d$ | Тип соедине-ния | № вар | Номи-нальный диаметр $d$ | Тип соедине-ния | № вар | Номи-нальный диаметр $d$ | Тип соедине-ния | № вар | Номи-нальный диаметр $d$ | Тип соедине-ния | № вар | Номи-нальный диаметр $d$ | Тип соедине-ния |
|-------|--------------------------|-----------------|-------|--------------------------|-----------------|-------|--------------------------|-----------------|-------|--------------------------|-----------------|-------|--------------------------|-----------------|
| 1     | 2                        | 3               | 4     | 5                        | 6               | 7     | 8                        | 9               | 10    | 11                       | 12              | 13    | 14                       | 15              |
| 1     | 30                       | 1               | 14    | 80                       | 1               | 27    | 80                       | 2               | 40    | 29                       | 3               | 53    | 53                       | 1               |
| 2     | 20                       | 2               | 15    | 78                       | 2               | 28    | 27                       | 3               | 41    | 30                       | 2               | 54    | 23                       | 3               |
| 3     | 25                       | 3               | 16    | 82                       | 3               | 29    | 15                       | 1               | 42    | 57                       | 1               | 55    | 37                       | 2               |
| 4     | 33                       | 1               | 17    | 75                       | 2               | 30    | 48                       | 3               | 43    | 115                      | 3               | 56    | 56                       | 1               |
| 5     | 35                       | 3               | 18    | 90                       | 3               | 31    | 38                       | 3               | 44    | 150                      | 1               | 57    | 77                       | 1               |
| 6     | 40                       | 3               | 19    | 8                        | 1               | 32    | 58                       | 1               | 45    | 55                       | 2               | 58    | 66                       | 2               |
| 7     | 45                       | 1               | 20    | 10                       | 2               | 33    | 145                      | 1               | 46    | 100                      | 3               | 59    | 55                       | 3               |
| 8     | 50                       | 2               | 21    | 16                       | 3               | 34    | 37                       | 3               | 47    | 25                       | 3               | 60    | 95                       | 3               |
| 9     | 55                       | 1               | 22    | 120                      | 1               | 35    | 43                       | 2               | 48    | 18                       | 1               | 61    | 15                       | 2               |
| 10    | 60                       | 1               | 23    | 17                       | 3               | 36    | 65                       | 1               | 49    | 10                       | 2               | 62    | 12                       | 3               |
| 11    | 63                       | 2               | 24    | 69                       | 2               | 37    | 73                       | 2               | 50    | 60                       | 3               | 63    | 31                       | 1               |
| 12    | 70                       | 3               | 25    | 112                      | 3               | 38    | 32                       | 1               | 51    | 33                       | 2               | 64    | 120                      | 2               |
| 13    | 75                       | 3               | 26    | 205                      | 1               | 39    | 19                       | 3               | 52    | 83                       | 3               | 65    | 95                       | 3               |

## 4.1.2 Методические указания

Стандартами регламентированы размеры и допуски на призматические, сегментные и клиновые шпонки. В работе рассмотрим наиболее используемый на практике вид шпоночного соединения – с призматической шпонкой. Призматические шпонки применяются в подвижных и неподвижных соединениях, трех исполнений: 1 – с закругленными торцами, 2 – с плоскими торцами, 3 – с одним закругленным, вторым плоским торцами.

Размеры призматических шпонок в зависимости от диаметра вала приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Размеры призматических шпонок и сечений пазов

в миллиметрах

| Диаметр валов, $d$ | Размеры сечения шпонки |     | Глубина паза |        | Интервалы длин шпонок, $l$ |     |
|--------------------|------------------------|-----|--------------|--------|----------------------------|-----|
|                    |                        |     | вала         | втулки |                            |     |
|                    | $b$                    | $h$ | $t_1$        | $t_2$  | от                         | до  |
| 1                  | 2                      | 3   | 4            | 5      | 6                          | 7   |
| от 6 до 8          | 2                      | 2   | 1,2          | 1,0    | 6                          | 20  |
| св. 8 до 10        | 3                      | 3   | 1,8          | 1,4    | 6                          | 36  |
| св. 10 до 12       | 4                      | 4   | 2,5          | 1,8    | 8                          | 45  |
| св. 12 до 17       | 5                      | 5   | 3            | 2,3    | 10                         | 56  |
| св. 17 до 22       | 6                      | 6   | 3,5          | 2,8    | 14                         | 70  |
| св. 22 до 30       | 8                      | 7   | 4            | 3,3    | 18                         | 90  |
| св. 30 до 38       | 10                     | 8   | 5            | 3,3    | 22                         | 110 |
| св. 38 до 44       | 12                     |     |              |        | 28                         | 140 |
| св. 44 до 50       | 14                     | 9   | 5,5          | 3,8    | 36                         | 160 |
| св. 50 до 58       | 16                     | 10  | 6            | 4,3    | 45                         | 180 |
| св. 58 до 65       | 18                     | 11  | 7            | 4,4    | 50                         | 200 |
| св. 65 до 75       | 20                     | 12  | 7,5          | 4,9    | 56                         | 220 |
| св. 75 до 85       | 22                     | 14  | 9            | 5,4    | 63                         | 250 |

Продолжение таблицы 16

| Диаметр валов, $d$ | Размеры сечения шпонки |     | Глубина паза |        | Интервалы длин шпонок, $l$ |     |
|--------------------|------------------------|-----|--------------|--------|----------------------------|-----|
|                    |                        |     | вала         | втулки |                            |     |
|                    | $b$                    | $h$ | $t_1$        | $t_2$  | от                         | до  |
| 1                  | 2                      | 3   | 4            | 5      | 6                          | 7   |
| св.85 до 95        | 25                     | 16  | 10           | 6,4    | 70                         | 280 |
| св. 95 до 110      | 28                     |     |              |        | 80                         | 320 |
| св.110 до130       | 32                     | 18  | 11           | 7,4    | 90                         | 360 |
| св.130 до 150      | 36                     | 20  | 12           | 8,4    | 100                        | 400 |
| св.150 до 170      | 40                     | 22  | 13           | 9,4    | 100                        | 400 |
| св.170 до 200      | 45                     | 25  | 15           | 10,4   | 110                        | 450 |
| св.200 до 230      | 50                     | 28  | 17           | 11,4   | 125                        | 500 |

Примечание: длины шпонок должны 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; 250; 280; 320; 360; 400; 450; 500 мм.

В зависимости от поля допуска шпоночного паза вала и втулки при соединении со шпонкой существует три вида соединений:

•1 – свободное соединение, применяемое при затруднённых условиях сборки и действии непрерывных равномерных нагрузок, а также для получения подвижных соединений при лёгких режимах работы (поле допуска для ширины паза на валу  $H9$ ; поле допуска для ширины паза во втулке  $D10$ );

•2 – нормальное соединение, неподвижное соединение, не требующее разборок, не воспринимающее ударных реверсивных нагрузок, отличающееся благоприятными условиями сборки (поле допуска для ширины паза на валу  $N9$ ; поле допуска для ширины паза во втулке  $JS9$ );

•3 – плотное соединение, характеризуемое вероятностью получения примерно одинаковых небольших натягов в соединении шпонок с обоими пазами; сборка осуществляется напрессовкой; применяется при редких разборках и реверсивных нагрузках (поле допуска для ширины паза на валу  $P9$ ; поле допуска для ширины паза во втулке  $P9$ ).

Для размеров шпонок стандартом установлены следующие поля допусков: по ширине  $h9$ ; по высоте –  $h9$  для  $h$  от 2 до 6 мм и  $h11$  для  $h$  свыше 6 мм; по длине –  $h14$ .

Для длины шпоночного паза установлено поле допуска  $H15$ .

На рабочем чертеже должен проставляться один размер, определяющий глубину паза для вала  $d-t_1$ , для втулки  $d+t_2$ . Предельные отклонения глубины паза на валу и во втулке приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Предельные отклонения глубины пазов и размеров, связанных с глубиной паза

в миллиметрах

| Высота шпонки,<br>$h$ | Предельные отклонения размеров |           |                   |
|-----------------------|--------------------------------|-----------|-------------------|
|                       | $t_1$                          | $d-t_1$   | $t_2$ или $d+t_2$ |
| от 2 до 6             | +0,1<br>0                      | 0<br>-0,1 | +0,1<br>0         |
| св. 6 до 18           | +0,2<br>0                      | 0<br>-0,2 | +0,2<br>0         |
| св. 18 до 50          | +0,3<br>0                      | 0<br>-0,3 | +0,3<br>0         |

В условных обозначениях призматических шпонок указывается последовательно: вид исполнения, ширина шпонки  $b$ , высота шпонки  $h$ , длина шпонки  $l$  и ГОСТ 23360-78: примеры условных обозначений: Шпонка 1–16×10×50 ГОСТ 23360-78; Шпонка 3–8×7×63 ГОСТ 23360-78.

В шпоночных соединениях для вала и втулки рекомендованы следующие посадки: H7/p6, H7/r6, H7/s6, H7/n6, H7/t6, H7/k6, H7/m6.

#### 4.1.3 Пример выполнения задания

Исходные данные: Ø42, тип соединения 2 (нормальный).

По ГОСТ 23360-78 выбираем основные размеры соединения:  $b=12$  мм,  $h=8$  мм,  $l=50$  мм,  $t_1=5$  мм,  $t_2=3,3$  мм, вид исполнения 1.

Условное обозначение шпонки: Шпонка 1–12×8×50 ГОСТ 23360-78.

Условия применения – неподвижное соединение, не требующее разборок не воспринимающее ударных реверсивных нагрузок, отличающееся благоприятными условиями сборки.

Для заданного типа соединения назначаем поля допусков для деталей шпоночного соединения: поле допуска вала  $m6$ , поле допуска отверстия  $H7$ , поле допуска шпонки  $b-h9$ , поле допуска высоты шпонки  $h-h11$ , поле допуска длины шпонки  $l-h14$ , поле допуска ширины паза на валу –  $N9$ , поле допуска ширины паза во втулке –  $Js9$ .

Определяем предельные отклонения, пользуясь стандартом на гладкие соединения:

- диаметр вала 42  $m6^{(+0,025}_{+0,009})$ ;
- диаметр втулки 42  $H7^{(+0,025)}$ ;
- ширина шпонки 12  $h9^{(-0,043)}$ ;
- высота шпонки 8  $h11^{(-0,09)}$ ;
- длина шпонки 50  $h14^{(-0,62)}$ ;
- ширина паза на валу 12  $N9^{(-0,043)}$ ;

- ширина паза во втулке  $12 \text{ Js9}(\pm 0,021)$ ;

- глубина паза вала  $t_1 = 5^{+0,2}$

$$d - t_1 = 42 - 5^{+0,2} = 37_{-0,2};$$

- глубина паза втулки  $t_2 = 3,3^{+0,2}$

$$d + t_2 = 42 + 3,3^{+0,2} = 45,3^{+0,2}.$$

Строим схемы расположения полей допусков (рисунок 16).

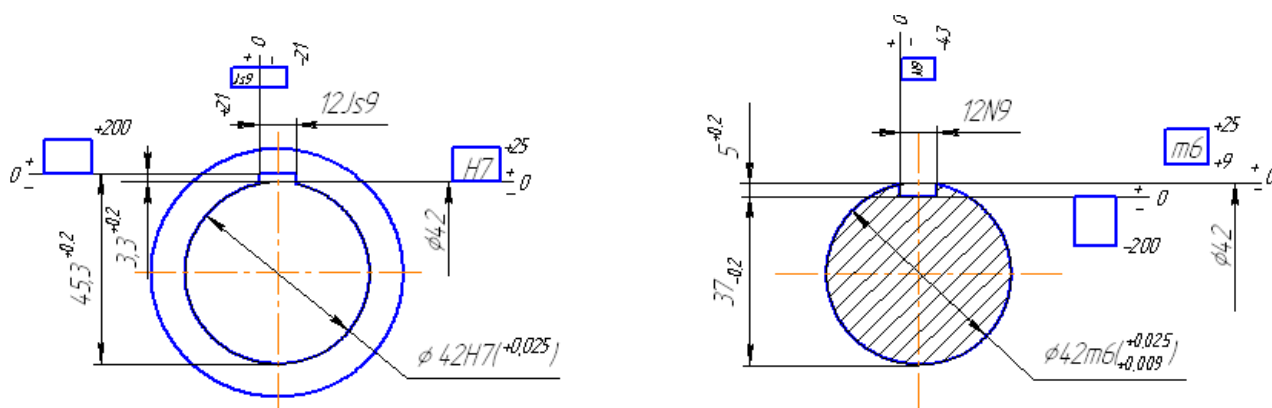


Рисунок 16 – Схемы расположения полей допусков шпоночного соединения

## 4.2 Прямобоочное шлицевое соединение

### 4.2.1 Задание

1. Расшифровать условное обозначение соединения по ГОСТ 1139-80.
2. Указать условия применения.
3. Выбрать по ГОСТ 1139-80 недостающие параметры прямобоочного шлицевого соединения.
4. Назначить поля допусков шлицевой втулки и шлицевого вала из рекомендованных посадок.
5. Определить предельные отклонения всех параметров шлицевых деталей.
6. Для шлицевого прямобоочного соединения построить схему расположения полей допусков для вала и втулки с указанием необходимых размеров.

Таблица 18 – Исходные данные: прямобоочные шлицевые соединения

| № вар | Прямобоочное шлицевое соединение<br>ГОСТ 1139-80                                                | № вар | Прямобоочное шлицевое соединение<br>ГОСТ 1139-80                                          |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | $d - 6 \times 23 \text{ H7} / f7 \times 26 \text{ H12} / a11 \times 6 \text{ F8} / js7$         | 28    | $d - 6 \times 18 \text{ H7} / h6 \times 22 \text{ H12} / a11 \times 5 \text{ F8} / d8$    |
| 2     | $D - 10 \times 28 \text{ H11} / \geq 24,4 \times 35 \text{ H7} / n6 \times 4 \text{ F8} / e8$   | 29    | $D - 10 \times 82 \times 92 \text{ H7} / f7 \times 12 \text{ F8} / f7$                    |
| 3     | $b - 6 \times 26 \times 30 \times 6 \text{ F10} / f8$                                           | 30    | $b - 10 \times 32 \times 40 \text{ H12} / a11 \times 5 \text{ F8} / js7$                  |
| 4     | $d - 8 \times 36 \text{ H7} / g6 \times 40 \times 7 \text{ F8} / d8$                            | 31    | $d - 10 \times 82 \text{ H7} / g6 \times 92 \text{ H11} / a11 \times 12 \text{ D10} / d9$ |
| 5     | $b - 6 \times 28 \text{ H11} / \geq 26,7 \times 32 \text{ H12} / a11 \times 7 \text{ F8} / js7$ | 32    | $D - 10 \times 72 \times 82 \text{ H8} / e8 \times 12 \text{ F8} / h9$                    |
| 6     | $D - 20 \times 82 \times 92 \text{ H7} / h6 \times 6 \text{ F8} / f8$                           | 33    | $b - 8 \times 46 \times 50 \text{ H12} / a11 \times 9 \text{ F10} / f8$                   |
| 7     | $b - 20 \times 92 \times 102 \times 7 \text{ D9} / k7$                                          | 34    | $d - 8 \times 32 \text{ H8} / e8 \times 36 \text{ H12} / a11 \times 6 \text{ D9} / h9$    |

Продолжение таблицы 18

| №<br>вар | Прямобоочное шлицевое соединение<br>ГОСТ 1139-80          | №<br>вар | Прямобоочное шлицевое соединение<br>ГОСТ 1139-80            |
|----------|-----------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------|
| 8        | $d - 8 \times 32 H7/h6 \times 38 \times 6 D9/f7$          | 35       | $D - 8 \times 52 \times 58 H7/n6 \times 10 D9/h9$           |
| 9        | $d - 16 \times 72 H7/js6 \times 82 \times 7 D9/e8$        | 36       | $D - 8 \times 42 \times 48 H7/js6 \times 8 F8/f8$           |
| 10       | $b - 16 \times 56 \times 65 \times 5 JS10/d9$             | 37       | $b - 6 \times 26 \times 30 F8/h9 \times 6 F8/d9$            |
| 11       | $D - 6 \times 11 \times 14 H7/g6 \times 3 D9/f7$          | 38       | $d - 8 \times 42 H7/g6 \times 48 H12/a11 \times 8 F8/f7$    |
| 12       | $d - 20 \times 102 H8/e8 \times 115 \times 8 D9/e8$       | 39       | $D - 8 \times 36 \times 40 H7/n6 \times 7 F8/h9$            |
| 13       | $D - 8 \times 52 \times 60 H8/e8 \times 10 D9/d9$         | 40       | $b - 8 \times 36 \times 40 H12/a11 \times 7 D9/h8$          |
| 14       | $b - 8 \times 46 \times 54 \times 9 F10/e8$               | 41       | $d - 16 \times 56 H7/h7 \times 65 H12/a11 \times 5 F8/h7$   |
| 15       | $D - 8 \times 42 \times 46 H8/h7 \times 8 F10/f7$         | 42       | $D - 6 \times 11 \times 14 H7/n6 \times 3 D9/f7$            |
| 16       | $D - 10 \times 16 \times 20 H7/f7 \times 2,5 F8/f7$       | 43       | $b - 10 \times 72 \times 82 H12/a11 \times 12 F10/f8$       |
| 17       | $b - 8 \times 56 \times 65 H12/a11 \times 11 D9/f8$       | 44       | $d - 8 \times 56 H7/g6 \times 62 H12/a11 \times 10 F8/h7$   |
| 18       | $d - 8 \times 56 H7/e8 \times 65 H12/a11 \times 11 F8/h7$ | 45       | $D - 10 \times 36 \times 45 H8/e8 \times 5 F8/js7$          |
| 19       | $D - 8 \times 52 \times 60 H7/h7 \times 10 F8/f8$         | 46       | $D - 6 \times 23 \times 26 H7/g6 \times 6 F8/e8$            |
| 20       | $b - 20 \times 82 \times 92 H12/a11 \times 6 D9/f8$       | 47       | $b - 8 \times 46 \times 50 H12/a11 \times 9 F10/f8$         |
| 21       | $d - 6 \times 23 H7/g6 \times 26 H12/a11 \times 6 D9/h9$  | 48       | $d - 6 \times 23 H7/g6 \times 26 H12/a11 \times 6 D9/h9$    |
| 22       | $D - 6 \times 23 \times 26 H7/g6 \times 6 F8/e8$          | 49       | $D - 6 \times 21 \times 25 H7/js6 \times 5 F10/e9$          |
| 23       | $b - 10 \times 28 \times 35 H12/a11 \times 4 D9/h8$       | 50       | $b - 10 \times 32 \times 42 H12/a11 \times 5 F8/js7$        |
| 24       | $d - 8 \times 36 H7/e8 \times 40 H12/a11 \times 7 D9/f8$  | 51       | $d - 8 \times 56 H7/e8 \times 65 H12/a11 \times 10 F8/h7$   |
| 25       | $D - 8 \times 36 \times 40 H8/h7 \times 7 F10/h9$         | 52       | $D - 10 \times 82 \times 92 H7/f7 \times 12 F8/f7$          |
| 26       | $D - 20 \times 82 \times 92 H7/js6 \times 5 F8/js7$       | 53       | $d - 10 \times 82 H7/g6 \times 92 H11/a11 \times 12 D10/d9$ |
| 27       | $b - 10 \times 21 \times 26 H12/a11 \times 3 D9/e8$       | 54       | $b - 8 \times 36 \times 40 H12/a11 \times 7 D9/h8$          |

#### 4.2.2 Методические указания

ГОСТ 1139-80 распространяется на размеры и допуски шлицевых прямобоочных соединений. Стандарт устанавливает поля допусков, а также посадки валов и втулок для различных способов центрирования. В прямобоочных шлицевых соединениях применяют три способа относительного центрирования вала и втулки: по наружному диаметру  $D$ ; по внутреннему диаметру  $d$  и по боковым поверхностям зубьев  $b$ .

Центрирование по  $D$  рекомендуется в случаях повышенных требований к точности соосности элементов соединения, когда твёрдость втулки не слишком высока и допускает обработку чистовой протяжкой, а вал обрабатывается фрезерованием по наружному диаметру  $D$ . Данный вид центрирования применяется в неподвижных, передающих малый крутящий момент соединениях, т. е. в соединениях с малым износом поверхностей.

Центрирование по  $d$  применяют в случаях повышенных требований к совпадению геометрических осей, если твёрдость втулки не позволяет обрабатывать деталь протяжкой или когда может возникнуть коробление валов после термообработки. Способ значительно дороже, но обеспечивает наибольшую точность.

Центрирование по  $b$  применяется, когда не требуется особой точности соосности, при передаче значительных моментов, в случаях, когда недопустимы большие зазоры между боковыми поверхностями вала и втулки. Этот способ является наиболее простым и экономичным.

Предельные отклонения на размеры  $d$ ,  $D$ ,  $b$  для прямобочных шлицевых валов и втулок соответствуют предельным отклонениям на гладкие цилиндрические соединения по ГОСТ 25347-82.

В условном обозначении шлицевого прямобочного соединения указывается последовательно: вид центрирования, число шлицов, внутренний диаметр  $d$ , наружный диаметр  $D$ , ширина шлица  $b$  и посадки в соединении по этим элементам. Примеры условных обозначений:

- центрирование по внутреннему диаметру  $d$ :  $d - 8 \times 36 \frac{H7}{e8} \times 40 \frac{H12}{d11} \times 7 \frac{D9}{f8}$ ;
- центрирование по наружному диаметру  $D$ :  $D - 8 \times 36 \times 40 \frac{H8}{h7} \times 7 \frac{F10}{h9}$ ;
- центрирование по боковым сторонам  $b$ :  $b - 8 \times 36 \times 40 \frac{H12}{a11} \times 7 \frac{D9}{h8}$  ГОСТ 1139-80.

Для нецентрирующего диаметра  $d$  посадка в условном обозначении не проставляется. Стандартом, для нецентрирующих диаметров, предусмотрены постоянные поля допусков, приведённые в таблице 19.

Таблице 19 – Поля допусков нецентрирующих диаметров

| Нецентрирующий диаметр | Вид центрирования | Поле допуска |        |
|------------------------|-------------------|--------------|--------|
|                        |                   | вала         | втулки |
| $d$                    | По $D$ или $b$    | –            | $H11$  |
| $D$                    | По $d$ или $b$    | $a11$        | $H12$  |

Нецентрирующий диаметр  $d$  вала должен быть не менее  $d_1$  по ГОСТ 1139-80. Исполнительный размер  $d = (d_1 + IT14) - IT14$ .

#### 4.2.3 Пример выполнения задания

Исходные данные:  $D-8 \times 32 \times 38 H8/e8 \times 6 D9/h9$  ГОСТ 1139-80

Прямобочное шлицевое соединение: центрирование по наружному диаметру  $D=38$  мм; поле допуска центрирующего диаметра  $H8$  – втулки,  $e8$  – вала; число прямобочных шлицов 8; внутренний диаметр соединения  $d=32$  мм; ширина шлица  $b=6$  мм, поле допуска ширины шлица втулки  $D9$ , поле допуска ширины шлица вала  $h9$ .

Центрирование по  $D$  применяется в случаях повышенных требований к точности соосности элементов соединения, когда твёрдость втулки не слишком высока и допускает обработку чистовой протяжкой, а вал обрабатывается фрезерованием. Применяется в неподвижных, передающих малый крутящий момент соединениях, т. е. в соединениях с малым износом поверхностей.

По ГОСТ 1139-80 назначаем поля допусков втулки и вала по нецентрирующему диаметру: втулки  $H11$ , размер вала по нецентрирующему диаметру  $d$  не менее  $d_1=29,4\text{мм}$ :  $d = (29,4 + 0,52)_{-0,52} = 29,92_{-0,52}$ ; принимаем  $30_{-0,52}$ .

Величины предельных отклонений диаметров и ширины прямобочного шлица определяем по [5].

Строим схемы расположения полей допусков (рисунок 17).

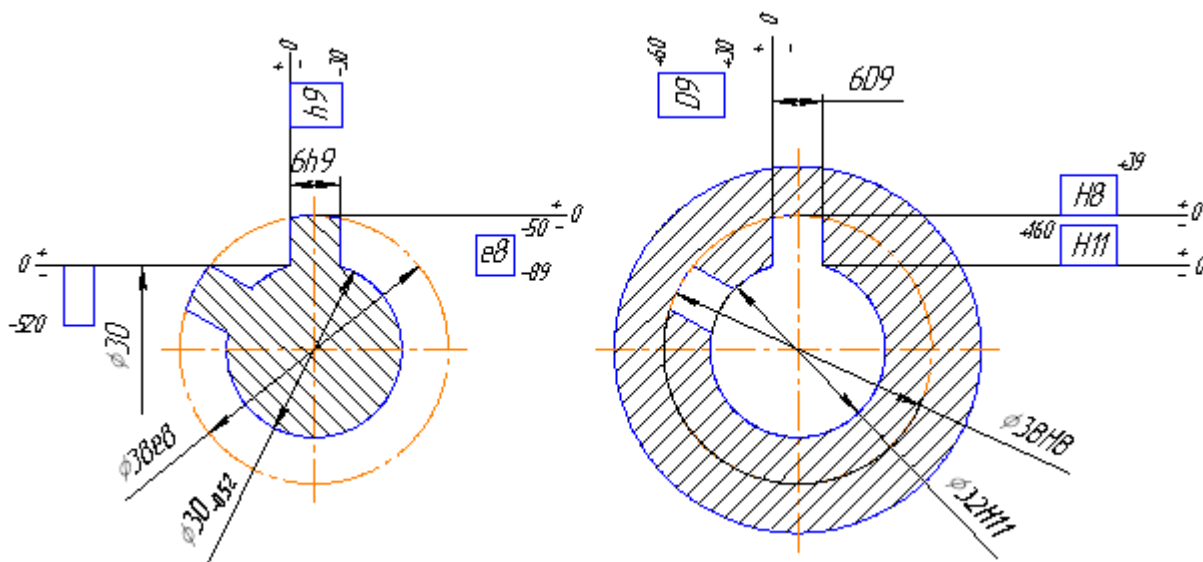


Рисунок 17 – Схемы расположения полей допусков прямобочного шлицевого соединения

Таблица 20 – Исходные данные: шлицевые эвольвентные соединения

| № вар | Эвольвентное шлицевое соединение | № вар | Эвольвентное шлицевое соединение |
|-------|----------------------------------|-------|----------------------------------|
| 1     | 10×0,5×9H/9g ГОСТ 6033-80        | 28    | 50×H7/h6×2 ГОСТ 6033-80          |
| 2     | 20×H7/g6×0,8                     | 29    | 20×1,5×9H/11c                    |
| 3     | 25×0,8×9H/8k                     | 30    | 70×2×9H/9d                       |
| 4     | i 38×1,5×H7/h6                   | 31    | 75×H7/f7×3                       |
| 5     | 48×H7/h6×2                       | 32    | 35×H7/f7×2                       |
| 6     | 52×1,5×9H/7h                     | 33    | 55×H7/g6×3                       |
| 7     | 60×2×7H/8k                       | 34    | 55×H7/n6×3                       |
| 8     | i 65×2,5×H7/n6                   | 35    | 65×2×9H/9d                       |
| 9     | 70×H8/h6×3                       | 36    | 80×H7/f7×3                       |
| 10    | 100×3×7H/7n                      | 37    | 30×H7/f7×1,25                    |
| 11    | i 140×5×H8/h6                    | 38    | 50×H7/g6×2                       |
| 12    | 160×6×7H/9r                      | 39    | 50×H7/n6×2                       |
| 13    | 120×H8/g6×3,5                    | 40    | 50×2×9H/9g                       |
| 14    | 200×H7/js6×6                     | 41    | 70×2×9H/9d                       |
| 15    | 180×8×7H/8p                      | 42    | 75×2×9H/9d                       |
| 16    | 40×2×9H/9g                       | 43    | 40×H7/n7×2                       |
| 17    | 10×H7/h6×0,5                     | 44    | 35×H7/f7×1,25                    |
| 18    | 85×H7/g6×3                       | 45    | 45×2×9H/9g                       |
| 19    | 50×2×9H/9g                       | 46    | 65×2×9H/9d                       |
| 20    | 80×H6/g6×2,5                     | 47    | i 80×2×H7/n6                     |

## Продолжение таблицы 20

| №<br>вар | Эвольвентное шлицевое соединение | №<br>вар | Эвольвентное шлицевое соединение |
|----------|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| 21       | $65 \times 2 \times 9H/9g$       | 48       | $i 38 \times 2 \times H8/h6$     |
| 22       | $15 \times H7/h6 \times 0,5$     | 49       | $30 \times H7/f7 \times 1,25$    |
| 23       | $90 \times H7/g6 \times 3$       | 50       | $i 20 \times 0,5 \times H7/h6$   |
| 24       | $55 \times 2 \times 9H/9g$       | 51       | $i 35 \times 2 \times H7/n6$     |
| 25       | $50 \times 1,5 \times 9H/9g$     | 52       | $105 \times H8/f7 \times 5$      |
| 26       | $110 \times H8/f7 \times 5$      | 53       | $65 \times H7/g6 \times 3$       |
| 27       | $40 \times 2 \times 9H/9g$       | 54       | $i 70 \times 2 \times H7/h6$     |

Для втулки  $D-8 \times 32 \times 38H8 \times 6D9$  ГОСТ 1139-80  
 центрирующий диаметр  $D=38 H8^{(+0,039)}$   
 нецентрирующий диаметр  $d=32 H11^{(+0,160)}$   
 ширина паза  $b=6 D9^{(+0,060}_{+0,030})$

Для вала  $D-8 \times 32 \times 38e8 \times 6h9$  ГОСТ 1139-80  
 центрирующий диаметр  $D=38 e8^{(-0,050}_{-0,089})}$   
 нецентрирующий диаметр  $d=30_{-0,52}$  мм  
 ширина шлица  $b=6 h9^{(-0,03)}$

### 4.3 Эвольвентные шлицевые соединения

#### 4.3.1 Задание

1. Расшифровать условное обозначение соединения по ГОСТ 6033-80.
2. Указать условия применения.
3. Определить основные параметры шлицевого эвольвентного соединения.
4. Назначить поля допусков втулки и вала из рекомендованных посадок.
5. Определить предельные отклонения всех параметров шлицевых деталей.
6. Построить схему расположения полей допусков для вала и втулки.

#### 4.3.2 Методические указания

ГОСТ 6033-80 распространяется на шлицевые соединения с эвольвентным профилем зуба, с углом профиля  $30^\circ$ . Стандарт устанавливает допуски и посадки для эвольвентных шлицевых соединений при центрировании по внутреннему диаметру, наружному диаметру и по боковым сторонам зубьев.

Наиболее распространёнными способами центрирования деталей эвольвентного соединения являются центрирование по боковым сторонам (часто встречающееся и экономичное) и по наружному диаметру (при необходимости точной соосности деталей на валу). Допускается также центрирование по внутреннему диаметру.

При центрировании по боковым поверхностям зубьев имеется особенность построения системы допусков: установлено два вида допусков ширины – впадины втулки  $e$  толщины зуба  $s$  вала;  $T_e$  ( $T_s$ ) – допуск ширины впадины втулки (допуск толщины зуба вала);  $T$  – суммарный допуск, включающий отклонения формы и расположения элементов профиля впадин (зуба). Так как допуски размеров  $e$  и  $s$  делятся на две части, то для всех полей допусков установлено по три отклонения:

- основное или суммарное отклонение  $EI$  для допусков ширины впадины и  $es$  для допусков ширины зубьев;
- отклонение, определяющее границу между допуском, установленным на отклонение формы и расположения элементов профиля впадины или зуба и соответственно размеров  $e$  и  $s$ :  $EI_e$  – для ширины впадины,  $es_e$  – для толщины зуба;
- отклонение, определяющее верхнюю границу поля допуска ширины впадины и нижнюю границу поля допуска зуба:  $ES$  – для ширины впадины,  $ei$  – для толщины зуба.

Поля допусков на размеры  $e$  и  $s$  обозначают числом, указывающим степень точности и буквенным обозначением основного отклонения:  $9H$  или  $9g$ . Посадки обозначают по обыкновенным правилам:  $9H/9g$ .

В условном обозначении шлицевого эвольвентного соединения последовательно указывают: номинальный диаметр соединения  $D$ , модуль  $m$ , обозначение посадки или полей допусков вала и втулки (помещаемое после размеров центрирующих элементов), номер стандарта. Примеры условных обозначений:

- центрирование по боковым сторонам зубьев  $50 \times 2 \times 9H/9g$  ГОСТ 6033-80;
- центрирование по наружному диаметру  $50 \times H7/g6 \times 2 \times 9H/9h$  ГОСТ 6033-80;
- центрирование по внутреннему диаметру  $i 50 \times 2 \times H7/g6 \times 9H/9h$  ГОСТ 6033-80.

#### 4.3.3 Пример выполнения задания

Исходные данные:  $45 \times H7/h6 \times 2$  ГОСТ 6033-80

Номинальный диаметр  $D=45$  мм, модуль  $m=2$  мм, центрирование по наружному диаметру, поле допуска наружного диаметра втулки  $D_f - H7$ , поле допуска наружного диаметра вала  $d_a - h6$ .

Центрирование по наружному диаметру  $D$  наиболее технологично, так как в этом случае в качестве окончательной операции отверстия выполняют протягивание, а при обработке вала – шлифование. Такое центрирования применяется в деталях с незакалённым отверстием.

Определяем по ГОСТ 6033-80 недостающие параметры эвольвентного соединения [5]: по таблице 6.20 находим число зубьев  $Z=21$

делительный диаметр  $d = m \cdot z = 2 \cdot 21 = 42$  мм

диаметр впадин шлицевого вала  $d_f = D - 2,2 \cdot m = 45 - 2,2 \cdot 2 = 40,6$  мм

внутренний диаметр втулки  $D_a = D - 2 \cdot m = 45 - 2 \cdot 2 = 41$  мм

Назначаем поле допуска ширины впадины втулки  $e - 9H$ , поле допуска толщины зуба вала  $S - 9d$ : посадка  $9H/9d$ .

Поле допуска втулки и вала по нецентрируемому диаметру при плоской форме дна впадины: для втулки  $D_a - H11$ , для вала  $d_f - h16$ , посадка  $H11/h16$  ([5], таблица 6.26).

Величины предельных отклонений диаметров, предельные отклонения по боковым сторонам зубьев определяем по [5].

Для втулки  $45 \times H7 \times 2$  ГОСТ 6033-80:

центрирующий диаметр  $D_f = 45 H7(^{+0,025})$

ширина впадины  $e - 9H$ :  $ES = +71$  мкм

$EI_e = +26$  мкм

$EI = 0$

Для вала  $45 \times h6 \times 2$  ГОСТ 6033-80:

центрирующий диаметр  $d_a = 45 \text{ } h6_{(-0,016)}$

толщина зуба  $S - 9d$ :  $es = -44 \text{ мкм}$

$es_e = -70 \text{ мкм}$

$ei = -115 \text{ мкм}$

Строим схемы расположения полей допусков (рисунок 18).

$$S = e = 1,387 \cdot m = 1,387 \cdot 2 = 2,774 \text{ мм}$$

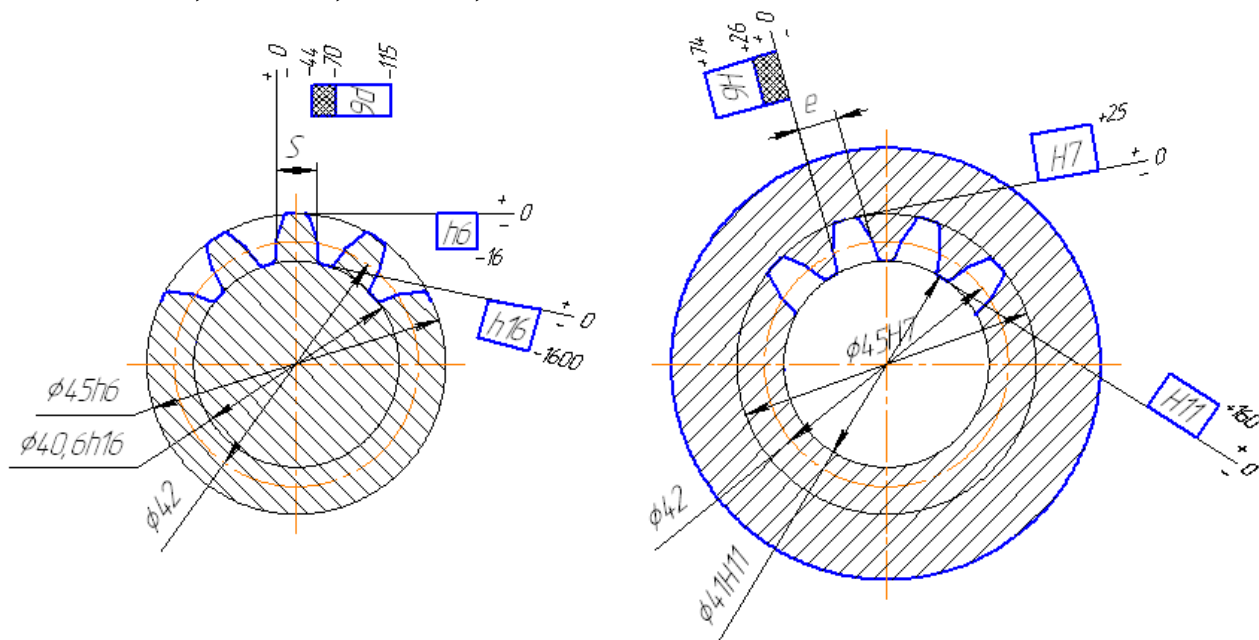


Рисунок 18 – Схемы расположения полей допусков эвольвентного шлицевого соединения

## 5. РЕЗЬБОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

### 5.1 Задание

1. Расшифровать условное обозначение резьбового соединения.
2. Установить верхние и нижние предельные отклонения для сопрягаемых параметров внутренней и наружной резьб ([5], с. 123 – 129).
3. Рассчитать предельные размеры сопрягаемых элементов резьбы и их допуски.
4. Определить  $\max$  и  $\min$  зазоры в сопряжении по сопрягаемым элементам.
5. Рассчитать компенсационные поправки средних диаметров наружной и внутренней резьбы, обусловленные накопленной погрешностью шага и отклонением угла профиля.
6. Определить максимальный и минимальный зазоры в сопряжении по среднему диаметру резьбы и при необходимости подобрать другие поля допусков по этому параметру.
7. Изобразить схему полей допусков резьбового соединения.

Исходные данные для выполнения задания по расчёту резьбового соединения студент выбирает из таблицы 21.

Таблица 21 – Резьбовое соединение

| № п/п | Условное обозначение | $\Delta P_{\text{пр}}$ , мкМ | $\Delta P_{\text{пб}}$ , мкМ | $\Delta \frac{\alpha_{\text{лг}}}{2}$ , мин | $\Delta \frac{\alpha_{\text{лб}}}{2}$ , мин | $\Delta \frac{\alpha_{\text{пг}}}{2}$ , мин | $\Delta \frac{\alpha_{\text{пб}}}{2}$ , мин | № п/п | Условное обозначение | $\Delta P_{\text{пр}}$ , мкМ | $\Delta P_{\text{пб}}$ , мкМ | $\Delta \frac{\alpha_{\text{лг}}}{2}$ , мин | $\Delta \frac{\alpha_{\text{лб}}}{2}$ , мин | $\Delta \frac{\alpha_{\text{пг}}}{2}$ , мин | $\Delta \frac{\alpha_{\text{пб}}}{2}$ , мин |
|-------|----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-------|----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1     | 2                    | 3                            | 4                            | 5                                           | 6                                           | 7                                           | 8                                           | 9     | 10                   | 11                           | 12                           | 13                                          | 14                                          | 15                                          | 16                                          |
| 1     | M33×3–6G/6g          | +15                          | +25                          | +10                                         | -15                                         | -5                                          | +10                                         | 39    | M22×1,5–6G/6f        | +60                          | +40                          | -10                                         | -10                                         | 0                                           | +10                                         |
| 2     | M33–7H/7g6g          | +10                          | +30                          | +20                                         | -20                                         | -5                                          | +5                                          | 40    | M20×1,5–6H/6g        | +20                          | -20                          | -30                                         | -15                                         | +12                                         | +10                                         |
| 3     | M33×1,5–7H/6h        | +20                          | -10                          | +15                                         | -15                                         | -10                                         | +5                                          | 41    | M18×1,5–5G/5g6g      | +40                          | +23                          | -30                                         | -18                                         | 0                                           | +30                                         |
| 4     | M33×2–7H/6e          | -20                          | +10                          | +40                                         | +10                                         | -30                                         | 0                                           | 42    | M16×1–6H/6f          | -10                          | +30                          | +20                                         | +40                                         | 0                                           | -10                                         |
| 5     | M36–7H/6d            | +25                          | -15                          | -30                                         | +15                                         | -17                                         | +17                                         | 43    | M20–6H/6d            | -10                          | +10                          | -20                                         | +10                                         | -20                                         | -20                                         |
| 6     | M36×3–6H/6h          | +30                          | +10                          | -30                                         | -10                                         | -10                                         | -20                                         | 44    | M18×1–5G/5g6g        | +20                          | +5                           | -10                                         | -30                                         | 0                                           | -10                                         |
| 7     | M36×2–6H/6e          | -20                          | -15                          | +10                                         | -25                                         | 0                                           | -5                                          | 45    | M16–6H/6e            | -30                          | +20                          | -40                                         | -10                                         | -15                                         | +10                                         |
| 8     | M30×3–5H/5g6g        | +35                          | +10                          | -30                                         | +18                                         | -14                                         | -10                                         | 46    | M22–6H/6e            | +25                          | +50                          | +14                                         | -10                                         | -20                                         | -10                                         |
| 9     | M30×3–6H/6h          | +45                          | +15                          | -3                                          | +20                                         | -20                                         | +10                                         | 47    | M20×1,5LH–6H/6d      | -20                          | -10                          | +10                                         | -20                                         | -30                                         | -20                                         |
| 10    | M30×2–6G/6e          | 0                            | -20                          | -20                                         | +10                                         | -15                                         | 0                                           | 48    | M18–6G/6d            | -30                          | +40                          | +10                                         | -40                                         | -10                                         | -25                                         |
| 11    | M30–6H/6g            | -10                          | 0                            | -10                                         | +10                                         | -15                                         | -20                                         | 49    | M12×1,5–6H/6d        | -10                          | -15                          | +20                                         | 0                                           | -30                                         | -20                                         |
| 12    | M39×3–6H/6f          | +50                          | +35                          | +30                                         | -10                                         | -19                                         | -21                                         | 50    | M56×4–6G/6g          | -55                          | +35                          | +60                                         | -10                                         | +37                                         | +10                                         |
| 13    | M39×2–7H/6e          | +20                          | -30                          | -40                                         | -10                                         | -20                                         | 0                                           | 51    | M64–7H/7h            | +65                          | -40                          | -30                                         | +10                                         | +50                                         | -10                                         |
| 14    | M39–7H/6h            | +35                          | -20                          | -20                                         | -10                                         | -30                                         | -10                                         | 52    | M52×3–7G/7e          | +30                          | -40                          | +30                                         | +10                                         | -30                                         | -20                                         |
| 15    | M27–7H/7g6g          | +10                          | +40                          | -40                                         | +15                                         | +10                                         | -10                                         | 53    | M56×3–7H/6g          | -25                          | +50                          | +48                                         | -20                                         | +40                                         | -30                                         |
| 16    | M27×2LH–7H/6e        | +20                          | +30                          | -20                                         | +20                                         | +15                                         | -10                                         | 54    | M60×3–6G/6f          | -50                          | +30                          | -25                                         | +30                                         | +30                                         | +10                                         |
| 17    | M27×1,5–7H/6f        | +20                          | -10                          | +30                                         | -24                                         | +18                                         | +9                                          | 55    | M64×4–8H/7e          | +70                          | -50                          | -10                                         | +20                                         | +50                                         | +40                                         |
| 18    | M27–6H/6e            | -23                          | +17                          | +30                                         | 0                                           | +12                                         | -15                                         | 56    | M52×2–6H/7g          | +30                          | -30                          | +20                                         | 0                                           | -10                                         | 0                                           |
| 19    | M48–6H/6d            | +27                          | +16                          | +30                                         | -11                                         | +28                                         | +5                                          | 57    | M56×2–7G/6e          | -10                          | 0                            | +50                                         | 0                                           | +40                                         | -30                                         |
| 20    | M48×2–6G/6d          | -20                          | -30                          | +40                                         | -17                                         | +20                                         | -10                                         | 58    | M64×2–6H/6g          | +15                          | +30                          | +10                                         | +10                                         | -10                                         | +30                                         |
| 21    | M48×4–6G/6g          | +37                          | -12                          | +26                                         | -25                                         | +50                                         | +10                                         | 59    | M10×2–7G/6g          | +10                          | -10                          | +15                                         | -10                                         | +10                                         | -20                                         |
| 22    | M24–7H/7g6g          | +25                          | +10                          | +40                                         | -30                                         | -20                                         | -10                                         | 60    | M14×2–6H/6h          | -10                          | -30                          | +5                                          | +20                                         | -15                                         | -10                                         |
| 23    | M24×2–7G/6h          | +40                          | -10                          | +30                                         | -30                                         | +20                                         | -10                                         | 61    | M14×1,25–7G/7g       | -20                          | -15                          | +20                                         | -10                                         | +30                                         | +10                                         |
| 24    | M24×1,5–7H/6e        | +30                          | -20                          | +15                                         | -15                                         | +30                                         | +10                                         | 62    | M12×1,5–6H/6e        | -10                          | +10                          | +10                                         | 0                                           | +10                                         | +10                                         |
| 25    | M24–6H/6f            | +20                          | +10                          | +20                                         | -10                                         | 0                                           | -20                                         | 63    | M10×1–6H/6g          | +10                          | +10                          | -10                                         | -5                                          | 0                                           | +10                                         |
| 26    | M24–7G/6e            | +35                          | -10                          | -15                                         | +10                                         | -10                                         | -10                                         | 64    | M12×1,25–6H/6e       | -10                          | +10                          | +10                                         | 0                                           | +10                                         | -30                                         |
| 27    | M42–7G/7g6g          | +70                          | -30                          | +15                                         | 0                                           | +25                                         | 0                                           | 65    | M14×1–7H/7g6g        | +10                          | +10                          | -10                                         | -20                                         | 0                                           | +10                                         |
| 28    | M42×4LH–6G/6g        | +15                          | -20                          | -30                                         | +20                                         | +30                                         | -20                                         | 66    | M12×1–6H/6g          | +14                          | +17                          | +10                                         | +10                                         | +10                                         | -30                                         |
| 29    | M42×3–6G/6e          | +60                          | -40                          | -30                                         | +10                                         | +15                                         | 0                                           | 67    | M12–6H/6d            | -10                          | -20                          | +10                                         | +10                                         | +20                                         | +10                                         |
| 30    | M42×2–6H/6h          | +27                          | +10                          | -15                                         | +8                                          | +24                                         | +16                                         | 68    | M16×1,5–7H/7g6g      | -15                          | +10                          | -10                                         | -20                                         | +10                                         | +30                                         |
| 31    | M22–7H/7g6g          | +17                          | +14                          | -10                                         | -20                                         | +30                                         | +10                                         | 69    | M12×1,5–6G/6d        | +40                          | -10                          | -10                                         | +10                                         | +10                                         | -10                                         |
| 32    | M20–7H/6g            | +30                          | -10                          | -30                                         | -40                                         | 0                                           | +10                                         | 70    | M64×2–7H/7g          | -20                          | -30                          | +20                                         | -45                                         | +10                                         | 0                                           |
| 33    | M18–5H/5g6g          | +40                          | +10                          | -10                                         | 0                                           | +10                                         | +30                                         | 71    | M8–6H/6h             | -5                           | +5                           | -10                                         | 0                                           | +5                                          | +5                                          |
| 34    | M16–6H/6h            | +20                          | +30                          | -20                                         | -30                                         | +10                                         | +10                                         | 72    | M12×1–6H/6h          | +15                          | +10                          | +10                                         | -10                                         | -20                                         | +10                                         |
| 35    | M22×2–6H/6f          | +70                          | -40                          | -20                                         | +20                                         | +30                                         | +10                                         | 73    | M68×3–7H/6e          | -50                          | +20                          | +30                                         | 0                                           | +10                                         | +35                                         |
| 36    | M20×2–5H/5g6g        | +20                          | 0                            | -30                                         | -20                                         | +20                                         | -30                                         | 74    | M6–5H/6e             | 0                            | +10                          | -5                                          | -10                                         | +5                                          | +5                                          |
| 37    | M12×2–6H/6g          | +10                          | +20                          | -20                                         | +10                                         | +10                                         | +5                                          | 75    | M18×1,5–6G/6h        | -10                          | +10                          | +8                                          | -7                                          | -3                                          | 0                                           |
| 38    | M16×1,5–6H/6d        | +20                          | +10                          | -30                                         | +10                                         | +10                                         | -10                                         | 76    | M16×1,5–6H/6h        | -5                           | +16                          | -7                                          | +3                                          | +5                                          | -7                                          |

## 5.2 Методические указания

Резьбовые крепёжные соединения являются широко распространённым видом неподвижных разъёмных соединений, применяемых в машиностроении. Основные параметры метрической резьбы показаны на рисунке 19.

К основным параметрам резьбы относится также длина свинчивания, т. е. длина взаимного соприкосновения наружной и внутренней резьбы в осевом направлении (размер фаски не входит в длину свинчивания).

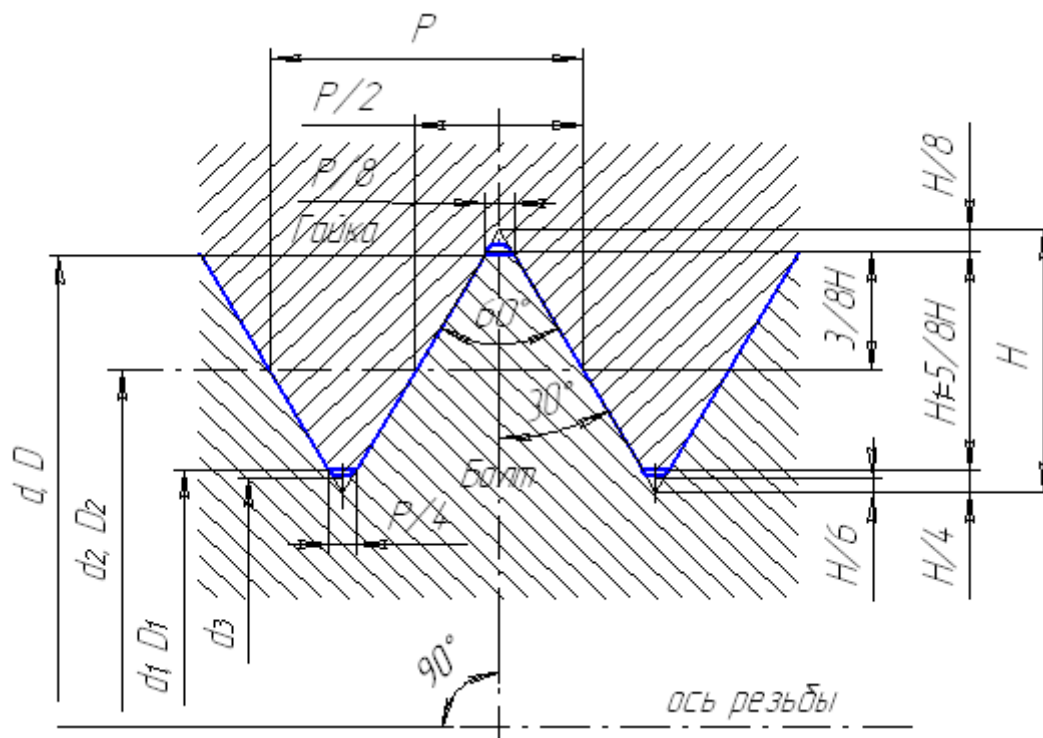


Рисунок 19 – Профиль метрической резьбы

$d, D$  – наружный диаметр болта и гайки;

$d_1, D_1$  – внутренний диаметр болта и гайки;

$d_2, D_2$  – средний диаметр болта и гайки;

$d_3$  – внутренний диаметр резьбы болта;

$P$  – шаг резьбы;

$P_h$  – ход резьбы: для многозаходной резьбы  $P_h = Pn$ , где  $n$  – число заходов резьбы;

$\alpha$  – угол профиля: для метрической резьбы  $\alpha = 60^\circ$ ;

$H$  – теоретическая высота профиля резьбы;

$H_1 = 5/8 H$  – рабочая высота профиля резьбы.

Значения диаметров вычисляются по следующим формулам:

$$d_2 = D_2 = d - 2 \frac{3}{8} H = d - 0,649519053 P;$$

$$d_1 = D_1 = d - 2 \frac{5}{8} H = d - 1,082531755 P;$$

$$d_3 = d - 2 \frac{17}{24} H = d - 1,226869322 P.$$

При расчётах по этим формулам значения диаметров следует округлять до 0,001 мм.

Метрические резьбы изготавливают с крупным (основным) или мелкими шагами. При изготовлении резьбовых соединений неизбежны погрешности профиля резьбы и её размеров, возможны неконцентричность диаметральных сечений и других отклонений, которые могут нарушить свинчиваемость и ухудшить качество соединения. Для метрических резьб возможны отклонения диаметров резьб  $d, D; d_1, D_1; d_2, D_2$ ; шага  $P$ , а также угла профиля резьбы  $\alpha$ , которые необходимо компенсировать для обеспечения собираемости.

Компенсация погрешностей изготовления осуществляется изменением среднего диаметра резьбы. Так, компенсация погрешностей шага  $P$  и угла профиля  $\alpha$  резьбы

производится уменьшением среднего диаметра  $d_2$  резьбы болта или увеличением среднего диаметра  $D_2$  резьбы гайки.

Диаметральная компенсация погрешностей шага рассчитывается по формуле:

$$f_{pc} = 1,732 \cdot \Delta p_{nc}$$

Диаметральная компенсация погрешностей угла профиля резьбы рассчитывается по  $\frac{\alpha}{2}$ :

$$f_{\alpha_c} = 0,36 \cdot \Delta \frac{\alpha_c}{2} \cdot p$$

Суммарная поправка погрешностей по шагу и углу профиля:

$$\Delta S = 1,735 \cdot \Delta p_{nc} + 0,36 \cdot p \cdot \Delta \frac{\alpha_c}{2}$$

$$\Delta p_{nc} = |\Delta p_{nc} - \Delta p_{nc}|$$

$$\Delta \frac{\alpha_c}{2} = \frac{\left| \Delta \frac{\alpha_{nc}}{2} \right| + \left| \Delta \frac{\alpha_{lc}}{2} \right|}{2},$$

где  $\Delta p_{nc}$  и  $\Delta p_{nc}$  – соответственно накопленная погрешность шага гайки и болта, мкм;

$\Delta \frac{\alpha_{nc}}{2}$  и  $\Delta \frac{\alpha_{lc}}{2}$  – соответственно погрешность правой и левой стороны угла профиля в соединении.

$$\Delta \frac{\alpha_{nc}}{2} = \Delta \frac{\alpha_{nc}}{2} - \Delta \frac{\alpha_{nc}}{2}; \quad \Delta \frac{\alpha_{lc}}{2} = \Delta \frac{\alpha_{lc}}{2} - \Delta \frac{\alpha_{lc}}{2}$$

В машиностроении для метрических резьб чаще применяются посадки с зазором по  $d_2, D_2$ .

Действительные зазоры в соединении:

$$S_{\max \partial} = S_{\max} - \Delta S$$

$$S_{\min \partial} = S_{\min} - \Delta S$$

Установлены следующие ряды основных отклонений верхних es для наружной резьбы (болтов) и нижних EI для внутренней резьбы (гаек), которые определяют расположение полей допусков диаметров резьбы относительно номинального профиля:

- для наружной резьбы – d, e, f, g, h;
- для внутренней резьбы – E, F, G, H.

Основное отклонение E и F установлено для специального применения при значительных толщинах слоя защитного покрытия.

Для метрических резьб диаметрами от 1 до 600 мм установлены степени точности 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 (по убыванию).

Метрические резьбы с крупным шагом имеют большую высоту профиля и применяются преимущественно для соединения деталей, не подвергающихся воздействию переменных нагрузок. Резьбы с мелким шагом используются в основном для соединений деталей с малой длиной свинчивания, подверженных ударам и вибрациям, т. к. имеют свойство самоотвинчиваемости.

Обозначение поля допуска диаметра резьбы состоит из цифры и буквы, указывающих соответственно степень точности и основное отклонение, например 6H, 6E, 7d, 7e.

Обозначение поля допуска резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра  $d_2$ ,  $D_2$ , помещённого на первом месте, и обозначения поля допуска внутреннего диаметра  $D_1$  для гаек или наружного  $d$  – для болтов. Например: 6e5e (здесь 6e – поле допуска среднего диаметра  $d_2$ , а 5e – поле допуска наружного диаметра  $d$  болта). Если поля допусков этих диаметров совпадают, то в обозначении поля допуска они не повторяются, например, 6e, 6g, 6H. Обозначения поля допуска резьбы наносятся на чертежи вслед за обозначением размера резьбы, например, M14–5g, M14–5H, M10×1–6g, M10×1–5H. Если в обозначении резьбы не указывается шаг, то данная метрическая резьба имеет крупный шаг (определяется по справочникам).

Посадка обозначается дробью, в числителе которой указывают обозначение поля допуска внутренней резьбы (гайки), а в знаменателе – наружной (болта), например, M10×1–6H/6g, M12–6H/6g.

Полная условная запись обозначения резьбового соединения с зазором на сборочном чертеже имеет вид:

$$M42 \times 4,5(p1,5)LH - \frac{4H5H}{4g} - 15R$$

В условной записи принята следующая последовательность расположения информации:

- тип резьбы – метрическая;
- номинальный диаметр  $d=D=42$  мм;
- шаг резьбы, если резьба однозаходная; в данном примере резьба многозаходная – первоначально указывается ход резьбы, а в скобках указывается шаг резьбы;
- направление навивки (LH – левая резьба);
- условная запись посадки;
- длина свинчивания 15 мм;
- сведения о форме впадины резьбы закругленной с  $R_{\min} = 0,1 \cdot p$ .

В условной записи не показываются сведения о навивке, если она правая; о длине свинчивания, если она не выходит за пределы нормальной; закруглении впадин, если оно не предусмотрено.

Допускается условная запись обозначения метрического резьбового соединения с зазором: M42 – 6H/6g.

### 5.3 Пример выполнения задания

Исходные данные: M36×3–6H/6g.

$$\Delta P_{\text{нг}} = +30 \text{ мкм}, \Delta P_{\text{пб}} = +20 \text{ мкм}, \Delta \frac{\alpha_{\text{лг}}}{2} = -40', \Delta \frac{\alpha_{\text{лб}}}{2} = +20', \Delta \frac{\alpha_{\text{пг}}}{2} = +50', \Delta \frac{\alpha_{\text{пб}}}{2} = -30'.$$

1. Резьба метрическая, номинальный диаметр  $d=D=36$  мм; резьба однозаходная с шагом  $P=3$  мм (мелкий шаг); направление навивки – правое; поля допусков на диаметры гайки  $D_2$  и  $D_1$  – 6H; поля допусков на диаметры болта  $d_2$  и  $d$  – 6g; длина свинчивания не выходит за пределы нормальной; впадины резьбы выполнены без закруглений.

2. Определим по справочнику или рассчитаем по формулам номинальные размеры сопрягаемых параметров резьбы [5]:

$$d_2=D_2=34,051 \text{ мм}; d_1=D_1=32,752 \text{ мм}; d_3=32,319 \text{ мм}.$$

3. По справочнику согласно указанным полям допусков устанавливаем предельные отклонения для нормируемых параметров болта и гайки:

на средний диаметр  $es=-48$  мкм,  $ei=-248$  мкм;

$$ES=+265 \text{ мкм}, EI=0;$$

на наружный диаметр  $es=-48$  мкм,  $ei=-423$  мкм;

$$ES\text{— ненормируемый}, EI=0;$$

на внутренний диаметр  $es=-48$  мкм,  $ei$  – не установлено;

$$ES=+500 \text{ мкм}, EI=0.$$

4. Определяем предельные размеры сопрягаемых параметров гайки и болта:

$$D_{2max}=D_2+ES=34,051+0,265=34,316 \text{ мм};$$

$$D_{2min}=D_2+EI=34,051+0=34,051 \text{ мм};$$

$D_{max}=D+ES$ , так как  $ES$  в этом случае не нормируется, то записываем  $D_{max}$  не менее 36,000 мм.

$$D_{min}=D+EI=36,0+0=36,0 \text{ мм};$$

$$D_{1max}=D_1+ES=32,752+0,500=33,252 \text{ мм};$$

$$D_{1min}=D_1+EI=32,752+0=32,752 \text{ мм};$$

$$d_{2max}=d_2+es=34,051+(-0,048)=34,003 \text{ мм};$$

$$d_{2min}=d_2+ei=34,051+(-0,248)=33,803 \text{ мм};$$

$$d_{max}=d+es=36,0+(-0,048)=35,952 \text{ мм};$$

$$d_{min}=d+ei=36,0+(-0,423)=35,577 \text{ мм};$$

$$d_{1max}=d_1+es=32,752+(-0,048)=32,704 \text{ мм};$$

$$d_{1min}=d_1+ei, \text{ так как } ei \text{ не нормируется, то } d_{1min} \text{ не более } 32,704 \text{ мм}.$$

5. Расчёт допусков на сопряжённые размеры резьбового соединения:

$$TD_2= D_{2max}-D_{2min}=34,316-34,051=0,265 \text{ мм};$$

$TD$  – ненормируемый;

$$TD_1= D_{1max}-D_{1min}=33,252-32,752=0,500 \text{ мм};$$

$$Td_2= d_{2max}-d_{2min}=34,003-33,803=0,200 \text{ мм};$$

$$Td= d_{max}-d_{min}=35,952-35,577=0,375 \text{ мм};$$

$Td_1$  – ненормируемый.

6. Определение зазоров по сопряжённым поверхностям резьбового соединения:  
по среднему диаметру

$$S_{max}=D_{2max}-d_{2min}=34,316-33,803=0,513 \text{ мм};$$

$$S_{min}=D_{2min}-d_{2max}=34,051-34,003=0,048 \text{ мм};$$

по наружному диаметру поскольку величины  $D_{max}$  не нормируется, то  $S_{max}=D_{max}-d_{min}=36,000-35,577=0,423$  мм (не менее);

$$S_{min}=D_{min}-d_{max}=36,000-35,952=0,048 \text{ мм};$$

7. Расчёт компенсационных поправок, обусловленных наличием неточностей в шаге и углах профиля болта и гайки:

суммарная погрешность накопленного шага

$$\Delta P_{\text{нс}} = |\Delta P_{\text{нг}} - \Delta P_{\text{нб}}| = |30 - 20| = 10 \text{ мкм};$$

суммарная погрешность правой половины профиля резьбы

$$\Delta \frac{\alpha_{\text{нс}}}{2} = \Delta \frac{\alpha_{\text{нг}}}{2} - \Delta \frac{\alpha_{\text{нб}}}{2} = +50' - (-30') = +80';$$

суммарная погрешность левой половины профиля резьбы

$$\Delta \frac{\alpha_{\text{лс}}}{2} = \Delta \frac{\alpha_{\text{лг}}}{2} - \Delta \frac{\alpha_{\text{лб}}}{2} = -40' - (+20') = -60';$$

суммарная погрешность угла профиля резьбы в соединении

$$\Delta \frac{\alpha_{\text{с}}}{2} = \frac{\left| \Delta \frac{\alpha_{\text{нс}}}{2} \right| + \left| \Delta \frac{\alpha_{\text{лс}}}{2} \right|}{2} = \frac{80' + 60'}{2} = 70'.$$

Определение суммарной поправки для расчёта действительных зазоров в резьбовом соединении:

$$\Delta S = (1,732 \cdot \Delta P_{\text{нс}} + 0,36 \cdot P \cdot \Delta \frac{\alpha_{\text{с}}}{2}) = (1,732 \cdot 10 + 0,36 \cdot 3 \cdot 70) = 92,92 \text{ мкм}$$

Условие  $\Delta S < S_{min}$  не выполняется.

Поправка шага  $f_{pc}=0,017 \text{ мм}$ .

Поправка угла профиля  $f_{\alpha c}=0,076 \text{ мм}$ .

Так как ошибка, вносимая в соединение погрешностями в шаге и угле профиля, превышает  $S_{min}=48 \text{ мкм}$  ( $\Delta S=92,92 \text{ мкм} > S_{min}=48 \text{ мкм}$ ), то для получения гарантированного зазора в резьбовом соединении, с указанными погрешностями изготовления, необходимо выбрать другие поля допусков для параметров резьбы болта и гайки.

Принимаем посадку  $6H/6d$  и рассчитываем  $d_{2max}$ , поскольку  $D_{2min}$  для вновь подобранного соединения не меняется.

$$\begin{aligned} es &= -112 \text{ мкм} ([5], \text{таблица 4.15}) \\ d_{2max} &= d_2 + es = 34,051 + (-0,112) = 33,939 \text{ мм}; \\ S_{min} &= D_{2min} - d_{2max} = 34,051 - 33,939 = 0,112 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Так как  $\Delta S=92,92 \text{ мкм} < S_{min}=112 \text{ мкм}$ , то коррекция посадки резьбового соединения выполнена правильно.

8. Определение действительных зазоров для резьбового соединения  $M36 \times 3-6H/6d$ .

$$\begin{aligned} S_{\text{max} \varnothing} &= S_{\text{max}} - \Delta S = 0,513 - 0,093 = 0,42 \text{ мм}; \\ S_{\text{min} \varnothing} &= S_{\text{min}} - \Delta S = 0,112 - 0,093 = 0,019 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Изобразим эскиз болта и гайки, а также схему полей допусков резьбового соединения  $M36 \times 3-6H/6d$ . (Рисунки 20, 21)

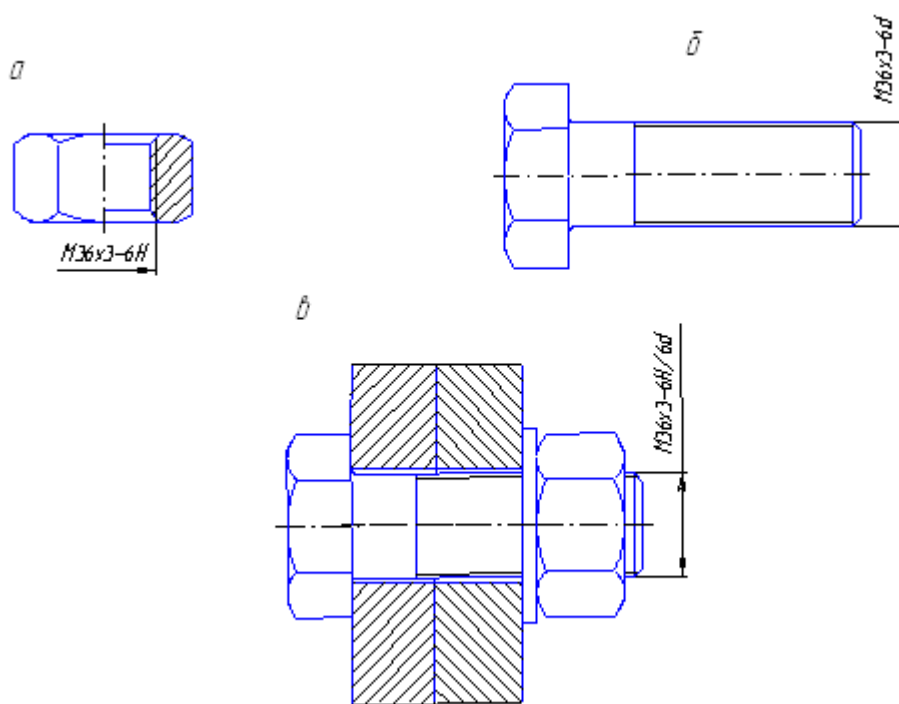


Рисунок 20 – Условные чертежи: а – гайка; б – болт; в – резьбовое соединение

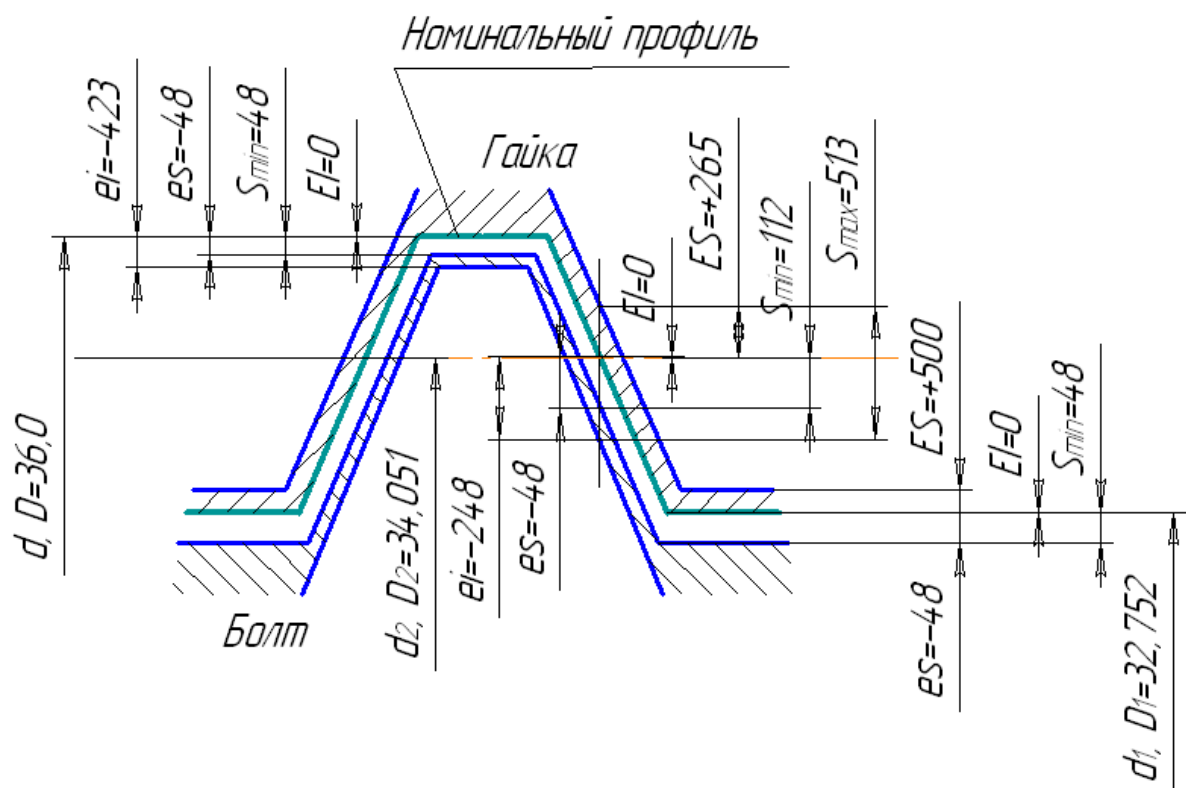


Рисунок 21 – Схема полей допусков резьбового соединения  $M36 \times 3-6H/6d$

## 6. ДОПУСКИ И КОНТРОЛЬ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

### 6.1 Задание:

- 1) выбрать исходные данные согласно варианту (таблица 22);
- 2) расшифровать условное обозначение норм точности цилиндрического зубчатого колеса;
- 3) установить комплекс контроля зубчатого колеса согласно ГОСТ 1643-81;
- 4) назначить допуски зубчатого колеса согласно ГОСТ 1643-81;
- 5) рассчитать или определить по стандартам данные для оформления чертежа зубчатого колеса;
- 6) выполнить чертёж зубчатого колеса.

Таблица 22 – Исходные данные

| № вар | Условное обозначение точности по ГОСТ 1643-81 | Модуль, мм | Число зубьев | № вар | Условное обозначение точности по ГОСТ 1643-81 | Модуль, мм | Число зубьев |
|-------|-----------------------------------------------|------------|--------------|-------|-----------------------------------------------|------------|--------------|
| 1     | 2                                             | 3          | 4            | 25    | 6-7-6-D                                       | 6,5        | 20           |
| 1     | 5-B                                           | 1          | 21           | 26    | 5-6-5-E                                       | 3,75       | 60           |
| 2     | 6-E                                           | 2          | 23           | 27    | 5-5-6-H                                       | 8,25       | 19           |
| 3     | 7-A                                           | 3          | 24           | 28    | 6-Hd                                          | 8,5        | 18           |
| 4     | 8-C                                           | 4          | 23           | 29    | 7-Ed                                          | 10,25      | 22           |
| 5     | 9-A                                           | 5          | 22           | 30    | 8-Db                                          | 1,75       | 32           |
| 6     | 10-A                                          | 6          | 21           | 31    | 9-Ca                                          | 2,75       | 20           |
| 7     | 11-B                                          | 7          | 20           | 32    | 10-Bc                                         | 3,75       | 19           |
| 8     | 12-A                                          | 8          | 19           | 33    | 11-A                                          | 4,5        | 18           |
| 9     | 11-B                                          | 9          | 25           | 34    | 12-A                                          | 5,75       | 24           |
| 10    | 10-A                                          | 10         | 33           | 35    | 9-9-8-C                                       | 3,0        | 27           |
| 11    | 9-B                                           | 1,5        | 30           | 36    | 6-5-6-H                                       | 3,75       | 31           |
| 12    | 8-C                                           | 2,5        | 38           | 37    | 6-8-7-D                                       | 2,75       | 46           |
| 13    | 7-D                                           | 3,5        | 28           | 38    | 6-7-8-E                                       | 5,25       | 25           |
| 14    | 6-E                                           | 4,5        | 27           | 39    | 9-10-11-B                                     | 8          | 28           |
| 15    | 5-H                                           | 5,5        | 26           | 40    | 10-11-10-A                                    | 6          | 35           |
| 16    | 7-8-9-C                                       | 6,5        | 24           | 41    | 9-11-12-A                                     | 2,5        | 38           |
| 17    | 7-7-6-E                                       | 7,5        | 42           | 42    | 12-11-10-B                                    | 5          | 18           |
| 18    | 8-9-10-B                                      | 8,5        | 23           | 43    | 8-7-6-C                                       | 5,5        | 23           |
| 19    | 9-10-11-A                                     | 4          | 25           | 44    | 7-C                                           | 3          | 30           |
| 20    | 10-11-12-B                                    | 5          | 52           | 45    | 5-6-6-Ec                                      | 2          | 37           |
| 21    | 11-12-10-B                                    | 10         | 35           | 46    | 6-5-6-D                                       | 1,5        | 62           |
| 22    | 8-9-9-C                                       | 3,25       | 18           | 47    | 7-8-7-B                                       | 2,5        | 24           |
| 23    | 8-9-8-B                                       | 2,25       | 56           | 48    | 8-7-8-Ba                                      | 2          | 44           |
| 24    | 7-7-8-C                                       | 2,5        | 25           | 49    | 9-8-7-D                                       | 2,75       | 34           |
| 50    | 10-9-8-C                                      | 3          | 36           | 75    | 8-9-9-B                                       | 5          | 33           |
| 51    | 8-8-7-B                                       | 5          | 30           | 76    | 6-C                                           | 2          | 65           |
| 52    | 7-E                                           | 2          | 63           | 77    | 8-7-7-E                                       | 4          | 60           |
| 53    | 7-7-6-B                                       | 2          | 75           | 78    | 8-A                                           | 3          | 74           |

Продолжение таблицы 22

| №<br>вар | Условное<br>обозначение<br>точности по<br>ГОСТ 1643-81 | Модуль,<br>мм | Число<br>зубьев | №<br>вар | Условное<br>обозначение<br>точности по<br>ГОСТ 1643-81 | Модуль,<br>мм | Число<br>зубьев |
|----------|--------------------------------------------------------|---------------|-----------------|----------|--------------------------------------------------------|---------------|-----------------|
| 54       | 6-D                                                    | 4,5           | 42              | 79       | 7-7-6-H                                                | 3             | 38              |
| 55       | 6-6-5-H                                                | 6             | 21              | 80       | 7-B                                                    | 4             | 35              |
| 56       | 8-H                                                    | 3             | 53              | 81       | 8-8-7-D                                                | 2,5           | 36              |
| 57       | 8-7-7-D                                                | 6             | 35              | 82       | 8-B                                                    | 5,5           | 34              |
| 58       | 7-C                                                    | 2             | 48              | 83       | 7-6-5-C                                                | 2,75          | 29              |
| 59       | 7-6-6-C                                                | 2,25          | 50              | 84       | 6-6-5-E                                                | 3             | 41              |
| 60       | 6-E                                                    | 2,5           | 40              | 85       | 6-5-5-H                                                | 1,5           | 30              |
| 61       | 7-7-6-B                                                | 3             | 35              | 86       | 7-D                                                    | 5             | 39              |
| 62       | 6-H                                                    | 5             | 28              | 87       | 8-9-10-C                                               | 4,5           | 31              |
| 63       | 6-5-5-E                                                | 4             | 43              | 88       | 8-D                                                    | 3             | 23              |
| 64       | 8-C                                                    | 3,5           | 48              | 89       | 7-6-6-H                                                | 3,5           | 37              |
| 65       | 8-7-6-H                                                | 4,5           | 27              | 90       | 6-H                                                    | 4             | 43              |
| 66       | 7-B                                                    | 2,5           | 36              | 91       | 8-9-8-B                                                | 5             | 30              |
| 67       | 11-B                                                   | 6,5           | 54              | 92       | 8-7-7-C                                                | 2,5           | 80              |
| 68       | 6-C                                                    | 4,5           | 42              | 93       | 12-A                                                   | 5             | 75              |
| 69       | 8-9-8-A                                                | 2,5           | 30              | 94       | 10-B                                                   | 3,5           | 65              |
| 70       | 8-D                                                    | 3             | 33              | 95       | 9-C                                                    | 2,5           | 78              |
| 71       | 7-8-7-B                                                | 2,75          | 52              | 96       | 9-B                                                    | 3,5           | 84              |
| 72       | 7-E                                                    | 3,75          | 38              | 97       | 6-D                                                    | 5,5           | 66              |
| 73       | 8-9-8-C                                                | 2,5           | 63              | 98       | 7-E                                                    | 2,5           | 58              |
| 74       | 7-H                                                    | 1,5           | 49              | 99       | 10-11-10-A                                             | 4             | 67              |
|          |                                                        |               |                 | 100      | 11-11-12-Ab                                            | 5             | 77              |

## 6.2. Методические указания

В условном обозначении точности зубчатых передач последовательно указывают степень точности по нормам кинематической точности; степени точности по норме плавности работы и пятна контакта; вид сопряжения, ограничивающего боковой зазор и его допуск. Если на все нормы точности назначены одинаковые степени точности, а допуск соответствует боковому зазору, то в обозначении степень точности указывается только один раз (к примеру 7-7-7-Bв: 7-B).

Кинематическая точность зубчатой передачи характеризуется величиной кинематической погрешности. Стандартом регламентируется наибольшая кинематическая погрешность передачи – наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колёс. Плавность работы зубчатой передачи характеризуется местной кинематической погрешностью с циклической погрешностью передачи, полнота контакта зубьев – относительными размерами по длине и высоте зуба суммарного пятна контакта

сопряжённых зубьев. Боковой зазор в передаче устанавливают минимально необходимым (для обеспечения смазки, компенсации погрешностей монтажа и тепловых деформаций).

Для зубчатых колёс и передач ГОСТ 1643-81 устанавливает 12-ть степеней точности, обозначаемые в порядке убывания точности цифрами от 1 до 12. Для 1 и 2 степеней допуски и предельные отклонения пока не предусмотрены.

При комбинировании норм разных степеней точности нормы плавности могут быть грубее норм кинематической точности не более чем на две степени, а нормы контакта зубьев могут назначаться по любым степеням, более точным, чем нормы плавности, или на одну степень грубее этой нормы.

Установлено шесть видов сопряжений зубчатых колёс в передаче по боковому зазору: *A, B, C, D, E, H* (при сопряжении *H* боковой зазор равен нулю, а при *A* он наибольший), а также восемь видов допуска  $T_{jn}$  на боковой зазор: *x, y, z, a, b, c, d, h*.

Стандарт устанавливает на виды сопряжений *H* и *E* вид допуска *h*, а сопряжениям *D, C, B* и *A* - согласованные виды допусков *d, c, b* и *a* соответственно. Однако это соответствие можно изменять, а также использовать увеличенные виды допусков *x, y, z*.

### 6.3 Пример выполнения задания:

Исходные данные: точность колеса 8–7–6–*B* ГОСТ 1643-81;  
модуль  $m=3$  мм;  
число зубьев колеса  $Z=25$ .

Коэффициент смещения исходного контура колеса  $X=0$ .

Расшифруем условное обозначение заданной точности передачи:

8 – степень точности по норме кинематической точности;

7 – степень точности по норме плавности работы;

6 – степень точности по норме контакта зубьев;

*B* – вид сопряжения, ограничивающего боковой зазор;

*b* – допуск на боковой зазор (так как допуск на боковой зазор не указан, то он совпадает с видом сопряжения).

Устанавливаем вариант комплекса контроля по ГОСТ 1643-81, в зависимости от степени точности и укажем нормируемые погрешности:

$F'_{ir}$  – наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса (по норме кинематической точности);

$f'_{ir}$  – местная кинематическая погрешность (по норме плавности работы);

$F_{\beta r}$  – погрешность направления зуба (по норме контакта);

$E_{cs}$  – наименьшее отклонение толщины зуба (по норме бокового зазора);

$T_c$  – допуск на толщину зуба (по норме бокового зазора).

Назначаем по ГОСТ 1643-81 допуски на погрешности.

Допуск  $F'_i$  определяем по таблице 6:  $F'_i = F_p + f_i$ ,

где  $F_p$  – допуск на накопленную погрешность шага зубчатого колеса;

$f_i$  – допуск на погрешность профиля зуба колеса.

При выборе  $F_p$  учитываем модуль  $m=3$  мм, степень точности по норме кинематической точности 8, делительный диаметр  $d=m \cdot z = 3 \cdot 25 = 75$  мм.

ГОСТ 1643-81, таблица 7:  $F_p=63$  мкм.

При выборе  $f_f$  учитываем  $m=3$  мм,  $d=75$  мм, степень точности по норме плавности 7  
ГОСТ 1643-81, таблица 8:  $f_f=11$  мкм

$$F_i' = 63 + 11 = 74 \text{ мкм}$$

Допуск на местную кинематическую погрешность зубчатого колеса  $f_i'$  определяем по ГОСТ 1643-81, таблица 8, учитывая  $m=3$  мм,  $d=75$  мм, степень точности по норме плавности 7:  $f_i' = 25$  мкм.

Допуск на направление зуба  $F_\beta$  определяем по ГОСТ 1643-81, таблица 11, учитывая  $m=3$  мм, ширину венца  $b$ , степень точности по норме контакта 6.

Ширина венца  $b = m \cdot \Psi_m$ ,

где  $\Psi_m$  – коэффициент зуба колеса:  $\Psi_m = 6...10$  для цилиндрических прямозубых зубчатых колёс;

$$b = 3 \cdot 7 = 21 \text{ мм},$$

$$F_\beta = 9 \text{ мкм}.$$

Наименьшее отклонение толщины зуба  $E_{cs}$  определяем по ГОСТ 1643-81, таблица 20, учитывая вид сопряжения  $B$ , степень точности по норме плавности 7,  $d=75$  мм:  $E_{cs}=100$  мкм.

Допуск на толщину зуба  $T_c$  определяем по ГОСТ 1643-81, таблица 21 в зависимости от допуска на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$  (ГОСТ 1643-81, таблица 6) и вида сопряжения  $B$ . С учётом  $m=3$  мм,  $d=75$  мм и степени точности по норме кинематической точности 8 ( $F_r=45$  мкм):  $T_c=100$  мкм.

Определение размеров, необходимых для оформления чертежа зубчатого колеса: высота головки зуба до постоянной хорды  $\overline{h_c} = 0,748m = 0,748 \cdot 3 = 2,244$  мм; номинальная толщина зуба колеса без смещения по постоянной хорде  $\overline{S_c} = 1,387m = 1,387 \cdot 3 = 4,161$  мм.

Определение параметров точности формы, расположения и шероховатости отдельных поверхностей зубчатого колеса: на ширину венца назначаем из конструктивных и технологических соображений поле допуска  $h11...h14$

$$b=21h12(-0,21);$$

поле допуска диаметра выступов принимаем по  $h$ ;

диаметр окружности выступов  $d_a = d + 2m = 75 + 2 \cdot 3 = 81$  мм;

• так как окружность выступов используется как измерительная база, принимаем  $Td_a = 0,03m = 0,03 \cdot 3 = 0,09$  мм и округляем его до стандартного значения [5] –  $Td_a = 0,087$  мм, что соответствует  $h9$ , т. е.  $d_a=81h9(-0,087)$ ;

• определим допуск на радиальное биение диаметра выступов  $T_{fr}$  в зависимости от допуска на радиальное биение зубчатого венца  $F_r$ :  $T_{fr} \leq 0,6F_r$ ,  $F_r=45$  мкм;

$$T_{fr} = 0,6 \cdot 0,045 = 0,027 \text{ мм},$$

округляем значение допуска до стандартного ([5], т.1)  $T_{fr}=0,025$  мм;

• допуск биения торцов колеса назначаем в зависимости от допуска на направление зуба  $F_\beta$ , ширины венца  $b$  и диаметра вершин  $d_a$ :  $T_{ft} \leq 0,5 \frac{d_a}{b} \cdot F_\beta$ ,

$$T_{ft} \leq 0,5 \cdot \frac{81}{21} \cdot 0,009 = 0,017 \text{ мм};$$

принимаем стандартное значение  $T_{ft}=0,016$  мм;

- шероховатость рабочих эвольвентных поверхностей определяется в зависимости от допустимого отклонения профиля  $f_f$ :  $R_a \leq 0,1 \cdot f_f$  ( $R_z \leq 0,4 \cdot f_f$ )

$$f_f = 11 \text{ мкм};$$

$$R_a = 0,1 \cdot 11 = 1,1 \text{ мкм},$$

округляем числовые значения параметров шероховатости до стандартных ближайших значений ([5], т. 1)  $R_a = 1,0 \text{ мкм}$ .

Допуски отверстий зубчатых колёс зависят от точности зубчатой передачи, условий её работы и сборки. Для подвижных колёс применяют посадки  $\frac{H7}{g6}$ ,  $\frac{H7}{h6}$  (с зазором), неподвижных –  $\frac{H7}{js6}$ ,  $\frac{H7}{r6}$ , при значительных динамических нагрузках  $\frac{H7}{k6}$  (переходные),  $\frac{H7}{p6}$ ,  $\frac{H7}{t6}$  (с натягом). Для тихоходных зубчатых колёс невысокой точности применяют посадки с нулевым гарантированным зазором –  $\frac{H8}{h7}$ ,  $\frac{H8}{h8}$ .

В рассмотренном примере увязываем посадку отверстия с точностью зубчатой передачи, в частности, с той нормой точности (наиболее высокой), которая является основной в оценке работоспособности передачи. Степень точности 6 – по норме контакта зубьев предполагает высоконагруженную передачу с посадкой  $H7/t6$  колеса на вал. Соответственно отверстие по  $H7$ .

Диаметр отверстия выбирается конструктивно, учитывая, что минимальная толщина обода (расстояние от впадины зубчатого венца до отверстия или шпоночного паза) должна быть не менее  $3m$ , чтобы обеспечить равнопрочность обода и зубьев. Принимаем отверстие  $\varnothing 45H7^{(+0,025)}$ .

Шероховатость отверстия определяем из условия  $R_a \approx 0,05IT$ , где  $IT$  – допуск соответствующего размера,

$$R_a = 0,05 \cdot 25 = 1,25 \text{ мкм}.$$

Шероховатость торцов и окружности вершин колеса:

$$R_a \approx 0,1 \cdot T_{f_t} (R_z \leq 0,4 \cdot T_{f_t})$$

$$R_a \approx 0,1 \cdot T_{f_r} (R_z \leq 0,4 \cdot T_{f_r})$$

шероховатость торцов зубчатого колеса  $R_a = 0,1 \cdot 16 = 1,6 \text{ мкм}$ ;

шероховатость окружности вершин зубчатого колеса  $R_a = 0,1 \cdot 25 = 2,5 \text{ мкм}$ .

Выполняем чертёж зубчатого колеса с таблицей параметров в соответствии с ЕСКД (рисунок 22).

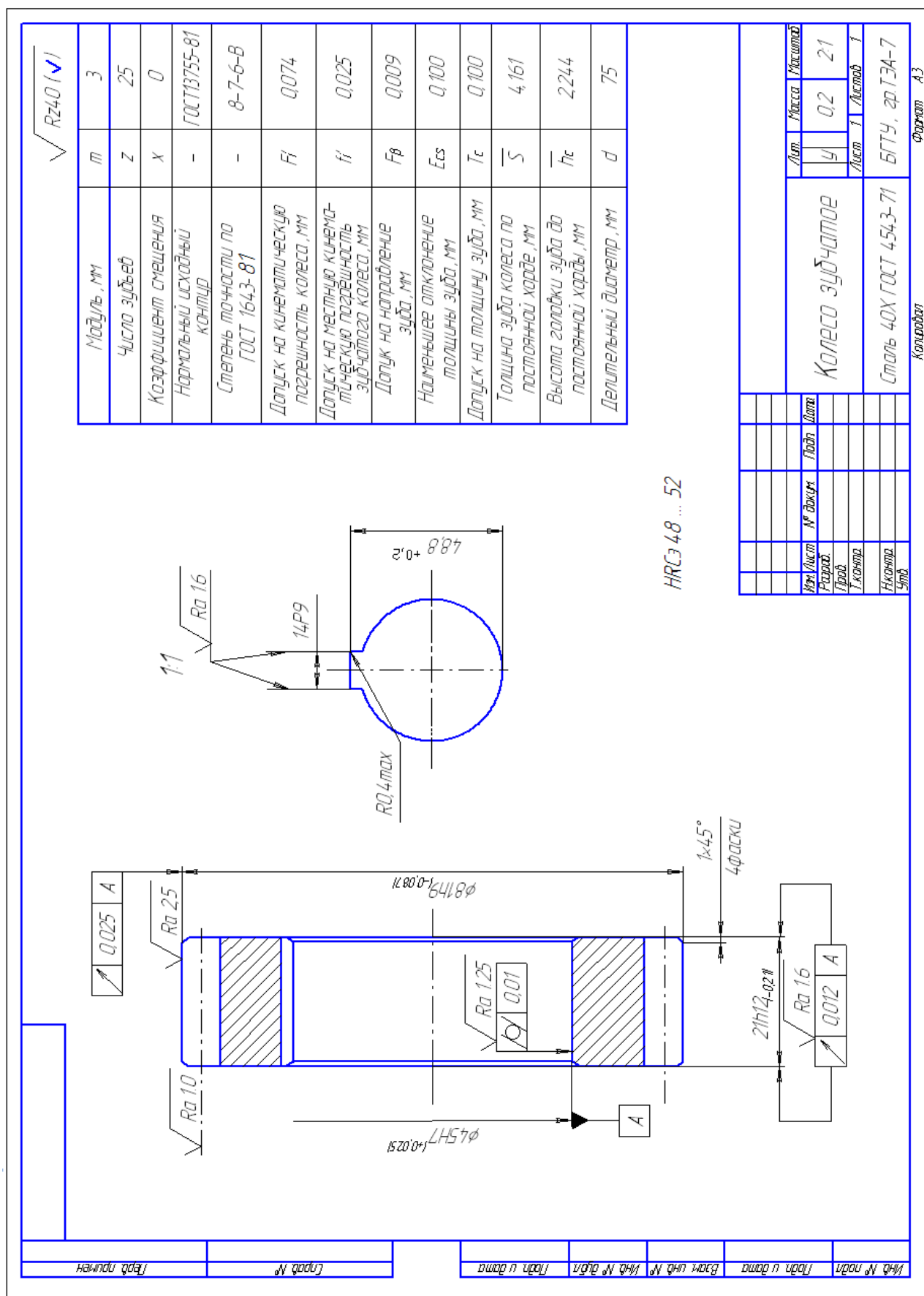


Рисунок 22 - Чертеж зубчатого колеса

## 7. РАСЧЁТ РАЗМЕРНЫХ ЦЕПЕЙ

### 7.1 Задание

1. Выполнить эскиз детали (сборочного узла), выявить составляющие размеры и составить размерную цепь в соответствии с вариантом задания на рисунке 23.

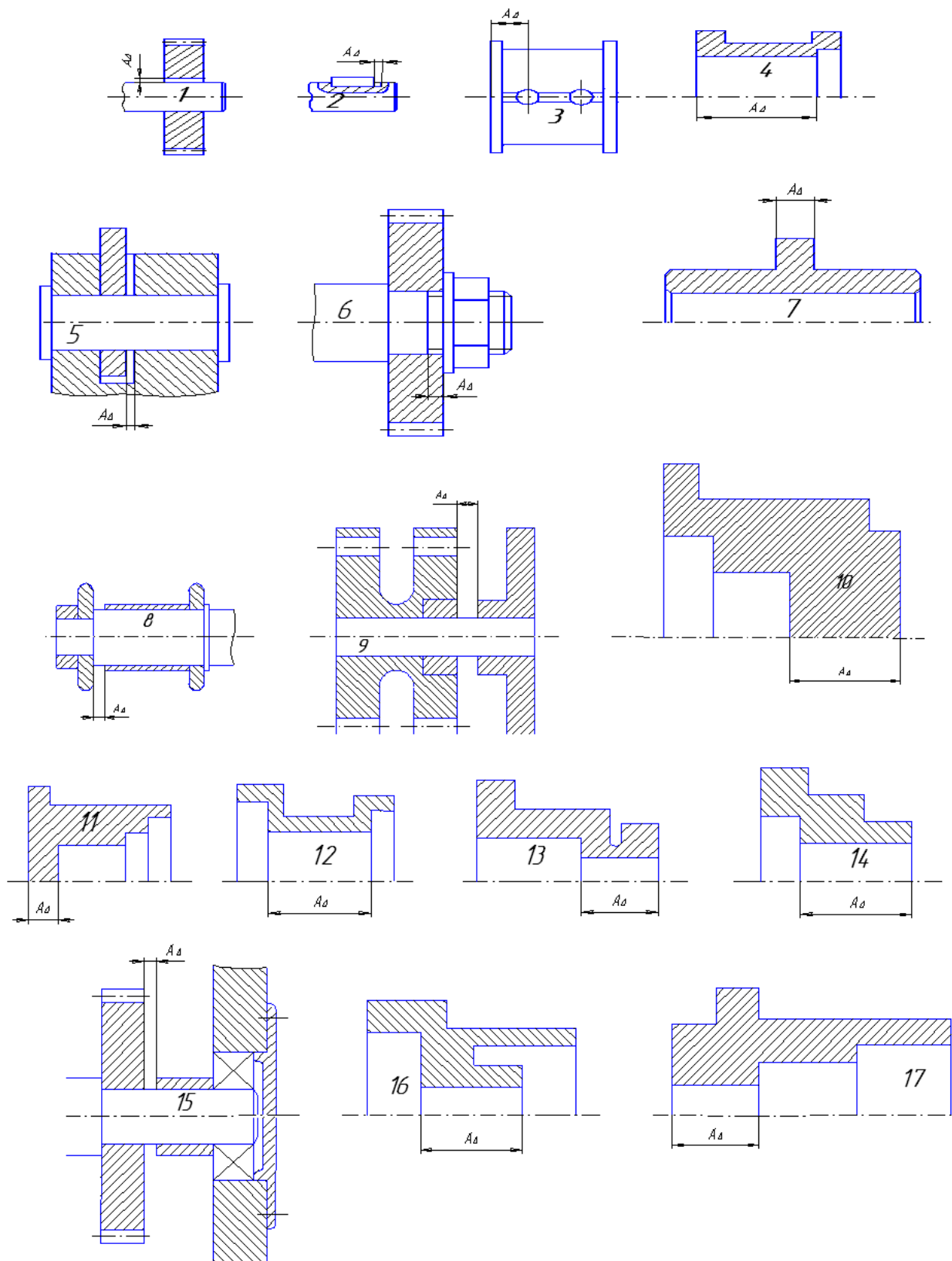


Рисунок 23 - Варианты заданий

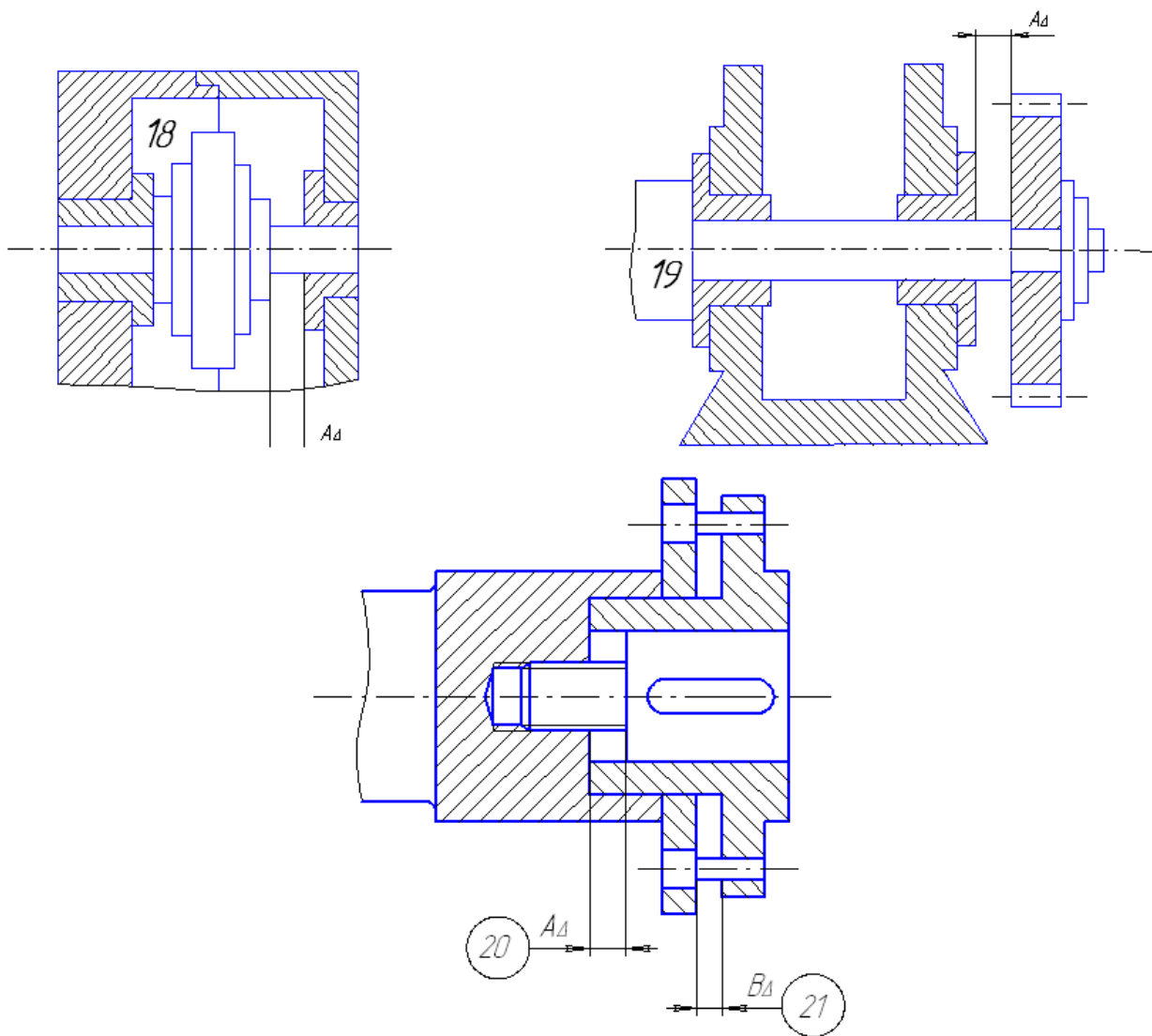


Рисунок 23- Варианты заданий (продолжение)

2. Для детали (рисунок 24) произвести расчёт детальной размерной цепи методом максимума–минимума в соответствии с исходными данными таблицы 23.

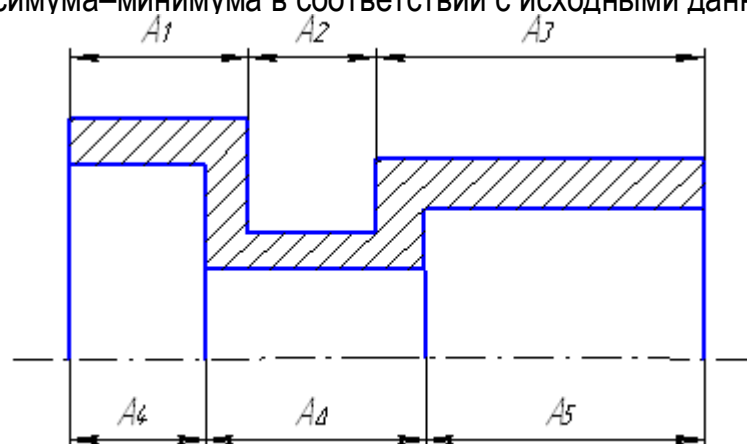


Рисунок 24 – Эскиз детали

3. Выполнить сложение, вычитание размеров и предельных отклонений РЦ в соответствии с вариантом исходных данных таблицы 24.

Таблица 23 – Исходные данные

в миллиметрах

| Параметры<br>звеньев | Варианты |      |       |       |       |       |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |
|----------------------|----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                      | 1        | 2    | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8      | 9     | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20   |
| $A_1$                | 60       | 100  | 30    | 15    | 45    | 120   | 55    | 85     | 115   | 95    | 20    | 35    | 80    | 60    | 105   | 33    | 65    | 47    | 25    | 36   |
| $ESA_1$              | +0,2     | +0,1 | -0,1  | -0,15 | +0,25 | -0,15 | -0,4  | +0,55  | +0,85 | -0,35 | +0,03 | -0,05 | +0,4  | 0     | +0,5  | +0,3  | +0,25 | +0,1  | +0,5  | +0,3 |
| $EYA_1$              | -0,1     | -0,4 | -0,2  | -0,25 | -0,15 | -0,35 | -0,75 | +0,15  | -0,45 | -0,75 | -0,03 | -0,25 | 0     | -0,4  | -0,5  | -0,1  | -0,15 | -0,4  | +0,2  | +0,1 |
| $A_2$                | 15       | 19   | 20    | 2     | 4     | 5     | 8     | 10     | 12    | 10    | 15    | 8     | 5     | 4     | 2     | 11    | 15    | 30    | 18    | 20   |
| $ESA_2$              | -0,4     | +0,2 | +0,1  | -0,05 | +0,12 | +0,07 | 0     | +0,24  | -0,08 | +0,2  | +0,15 | +0,24 | 0     | +0,05 | +0,1  | -0,1  | 0     | +0,25 | -0,1  | -0,1 |
| $EIA_2$              | -0,6     | -0,1 | -0,2  | -0,15 | -0,18 | -0,07 | -0,24 | 0      | -0,28 | -0,1  | -0,15 | 0     | -0,06 | 0     | -0,1  | -0,2  | -0,3  | -0,15 | -0,3  | -0,2 |
| $A_3$                | 10       | 20   | 15    | 25    | 40    | 15    | 55    | 30     | 25    | 45    | 35    | 18    | 60    | 35    | 55    | 19    | 27    | 17    | 11    | 17   |
| $ESA_3$              | +0,2     | +0,3 | +0,5  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0      | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | +0,25 | -0,15 | +0,2  | -0,2 |
| $EIA_3$              | +0,1     | +0,1 | +0,3  | -0,15 | -0,3  | -0,08 | -0,05 | -0,02  | -0,52 | -0,03 | -0,1  | -0,2  | -0,25 | -0,1  | -0,15 | -0,4  | -0,25 | -0,3  | -0,2  | -0,4 |
| $A_4$                | 10       | 75   | 25    | 8     | 40    | 80    | 35    | 55     | 45    | 55    | 10    | 25    | 50    | 45    | 85    | 20    | 30    | 28    | 15    | 14   |
| $ESA_4$              | +0,2     | +0,1 | +0,3  | +0,24 | -0,15 | +0,15 | +0,35 | +0,25  | -0,15 | 0     | +0,15 | +0,1  | +0,25 | +0,2  | -0,35 | +0,15 | +0,45 | +0,18 | +0,15 | +0,4 |
| $EIA_4$              | -0,1     | -0,4 | -0,2  | 0     | -0,35 | -0,15 | -0,05 | -0,10  | -0,45 | -0,3  | -0,2  | -0,2  | -0,10 | -0,1  | -0,75 | -0,15 | 0     | -0,23 | -0,2  | +0,2 |
| $A_5$                | 5        | 10   | 10    | 15    | 25    | 10    | 40    | 15     | 10    | 30    | 20    | 10    | 45    | 25    | 40    | 9     | 24    | 36    | 8     | 12   |
| $ESA_5$              | +0,1     | +0,1 | -0,15 | +0,15 | -0,08 | -0,1  | -0,15 | +0,05  | +0,15 | +0,3  | +0,05 | -0,05 | +0,2  | +0,3  | +0,2  | +0,06 | -0,2  | +0,5  | +0,3  | +0,1 |
| $EIA_5$              | -0,2     | -0,2 | -0,45 | +0,05 | -0,28 | -0,2  | -0,45 | -0,015 | -0,05 | 0     | -0,25 | -0,15 | -0,1  | +0,1  | -0,1  | -0,06 | -0,5  | -0,5  | -0,3  | -0,1 |

Таблица 24 – Исходные данные для расчёта РЦ

в миллиметрах

| Вариант | Размеры и предельные отклонения |                       |                       |                       |                      |                      |
|---------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 1       | $+60^{+0,2}_{-0,1}$             | $+20^{-0,4}_{-0,6}$   | $-10^{+0,2}_{+0,1}$   | $-10^{-0,1}_{-0,2}$   | $-5 \pm 0,1$         | $-5^{+0,1}_{-0,2}$   |
| 2       | $+100^{+0,15}_{-0,35}$          | $-75^{-0,3}_{-0,5}$   | $+20^{+0,2}_{-0,1}$   | $-10^{+0,3}_{+0,1}$   | $-7^{+0,2}_{-0,1}$   | $-20^{+0,2}_{-0,3}$  |
| 3       | $+30^{+0,2}_{-0,1}$             | $+20^{+0,1}_{-0,2}$   | $-15^{-0,1}_{-0,4}$   | $+10^{+0,5}_{+0,3}$   | $-10^{+0,3}_{-0,2}$  | $-15^{+0,1}_{-0,2}$  |
| 4       | $+55^{-0,1}_{-0,1}$             | $+20^{-0,1}_{-0,1}$   | $-35^{+0,1}_{+0,1}$   | $+15 \pm 0,2$         | $-20 \pm 0,2$        | $-5^{-0,1}_{-0,2}$   |
| 5       | $+20^{+0,15}_{+0,05}$           | $+15^{+0,10}_{+0,05}$ | $-7^{-0,05}_{-0,15}$  | $+15^{+0,1}_{-0,3}$   | $-14^{+0,2}_{-0,05}$ | $-8^{-0,15}_{-0,35}$ |
| 6       | $+36 \pm 0,1$                   | $-16^{+0,3}_{+0,3}$   | $-10^{-0,2}_{-0,2}$   | $+15 \pm 0,1$         | $-5^{-0,2}_{-0,5}$   | $-10^{+0,4}_{+0,2}$  |
| 7       | $+48^{-0,2}_{-0,25}$            | $-8^{+0,15}_{+0,05}$  | $-6^{-0,1}_{-0,3}$    | $-6^{+0,05}_{-0,2}$   | $+5^{-0,1}_{-0,15}$  | $-7 \pm 0,1$         |
| 8       | $+52^{+0,45}_{-0,4}$            | $-20^{+0,1}_{-0,2}$   | $-12^{-0,15}_{-0,35}$ | $-9^{+0,3}_{+0,1}$    | $+7^{+0,2}_{-0,15}$  | $-8 \pm 0,25$        |
| 9       | $+67 \pm 0,2$                   | $-25^{+0,25}_{+0,25}$ | $-3^{+0,1}_{+0,1}$    | $+30 \pm 0,1$         | $-15^{-0,2}_{-0,6}$  | $+5^{-0,05}_{-0,15}$ |
| 10      | $+17^{-0,1}_{-0,4}$             | $+11^{-0,1}_{-0,2}$   | $-4^{0,1}_{+0,05}$    | $-7^{-0,3}_{-0,5}$    | $+3 \pm 0,05$        | $-2^{+0,1}_{-0,05}$  |
| 11      | $+20^{-0,15}_{-0,15}$           | $-12^{+0,2}_{+0,2}$   | $-8^{-0,2}_{-0,2}$    | $-5^{-0,11}_{-0,2}$   | $-7^{+0,1}_{+0,05}$  | $+28 \pm 0,3$        |
| 12      | $+18^{-0,06}_{-0,12}$           | $+10 \pm 0,04$        | $-10^{+0,2}_{-0,1}$   | $-4 \pm 0,06$         | $+6^{+0,1}_{+0,05}$  | $-12^{-0,3}_{-0,6}$  |
| 13      | $+23 \pm 0,1$                   | $-8^{-0,1}_{-0,3}$    | $-5^{+0,2}_{+0,1}$    | $-8^{+0,15}_{+0,1}$   | $-3^{-0,2}_{-0,5}$   | $+8^{+0,5}_{+0,3}$   |
| 14      | $+70^{-0,2}_{-0,4}$             | $-16^{-0,3}_{-0,3}$   | $+18 \pm 0,1$         | $-14^{+0,2}_{+0,2}$   | $-6^{-0,05}_{-0,15}$ | $-5^{+0,1}_{-0,2}$   |
| 15      | $+26 \pm 0,05$                  | $+35^{-0,15}_{-0,35}$ | $-15^{+0,2}_{+0,1}$   | $-10^{-0,1}_{-0,2}$   | $+5 \pm 0,05$        | $-9^{+0,1}_{-0,15}$  |
| 16      | $+35 \pm 0,1$                   | $+25^{-0,1}_{-0,15}$  | $-18^{-0,25}_{-0,25}$ | $-16^{+0,2}_{+0,2}$   | $-12^{+0,1}_{+0,1}$  | $-4 \pm 0,1$         |
| 17      | $+37^{-0,1}_{-0,1}$             | $+17 \pm 0,3$         | $-11^{+0,3}_{+0,3}$   | $-9 \pm 0,1$          | $-16^{-0,3}_{-0,5}$  | $+7 \pm 0,05$        |
| 18      | $+15 \pm 0,1$                   | $+29^{+0,4}_{+0,25}$  | $+2 \pm 0,05$         | $-19^{-0,1}_{-0,2}$   | $-10^{+0,3}_{+0,1}$  | $-3^{-0,05}_{-0,15}$ |
| 19      | $+41^{+0,5}_{+0,2}$             | $-31^{+0,3}_{+0,1}$   | $+15 \pm 0,2$         | $-17^{-0,15}_{-0,35}$ | $+12^{-0,2}_{-0,2}$  | $-7^{-0,25}_{-0,45}$ |
| 20      | $+33 \pm 0,5$                   | $+27 \pm 0,1$         | $-10^{+0,2}_{-0,1}$   | $-15^{-0,1}_{-0,3}$   | $+19^{+0,5}_{+0,3}$  | $-16 \pm 0,25$       |

4. Исходя из заданных параметров исходного звена детальной размерной цепи, определить допуски и предельные отклонения составляющих звеньев по методу максимума-минимума; выполнить проверку. Варианты заданий приведены на рисунке 25

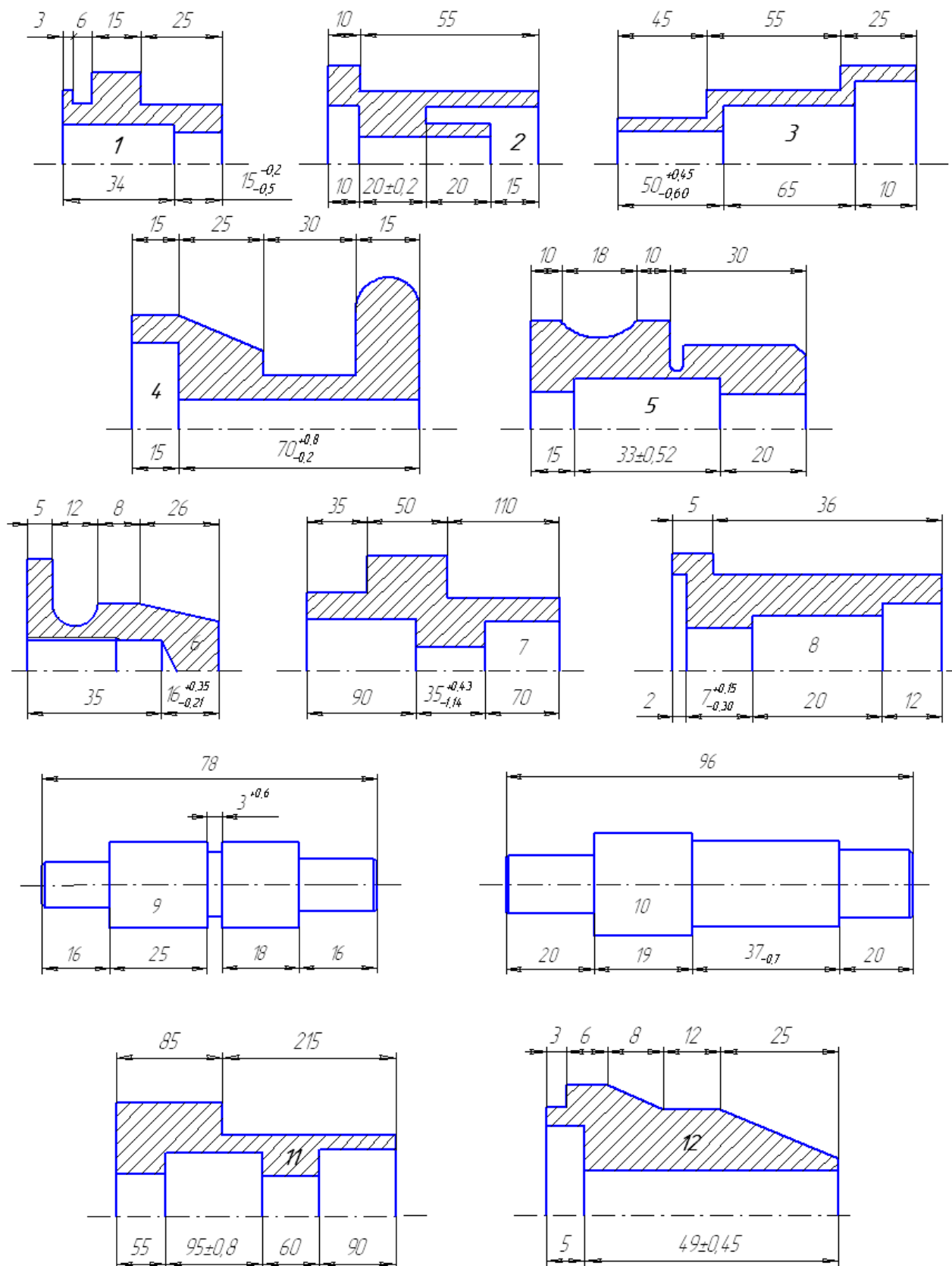


Рисунок 25 – Варианты заданий для расчета подетальной РЦ

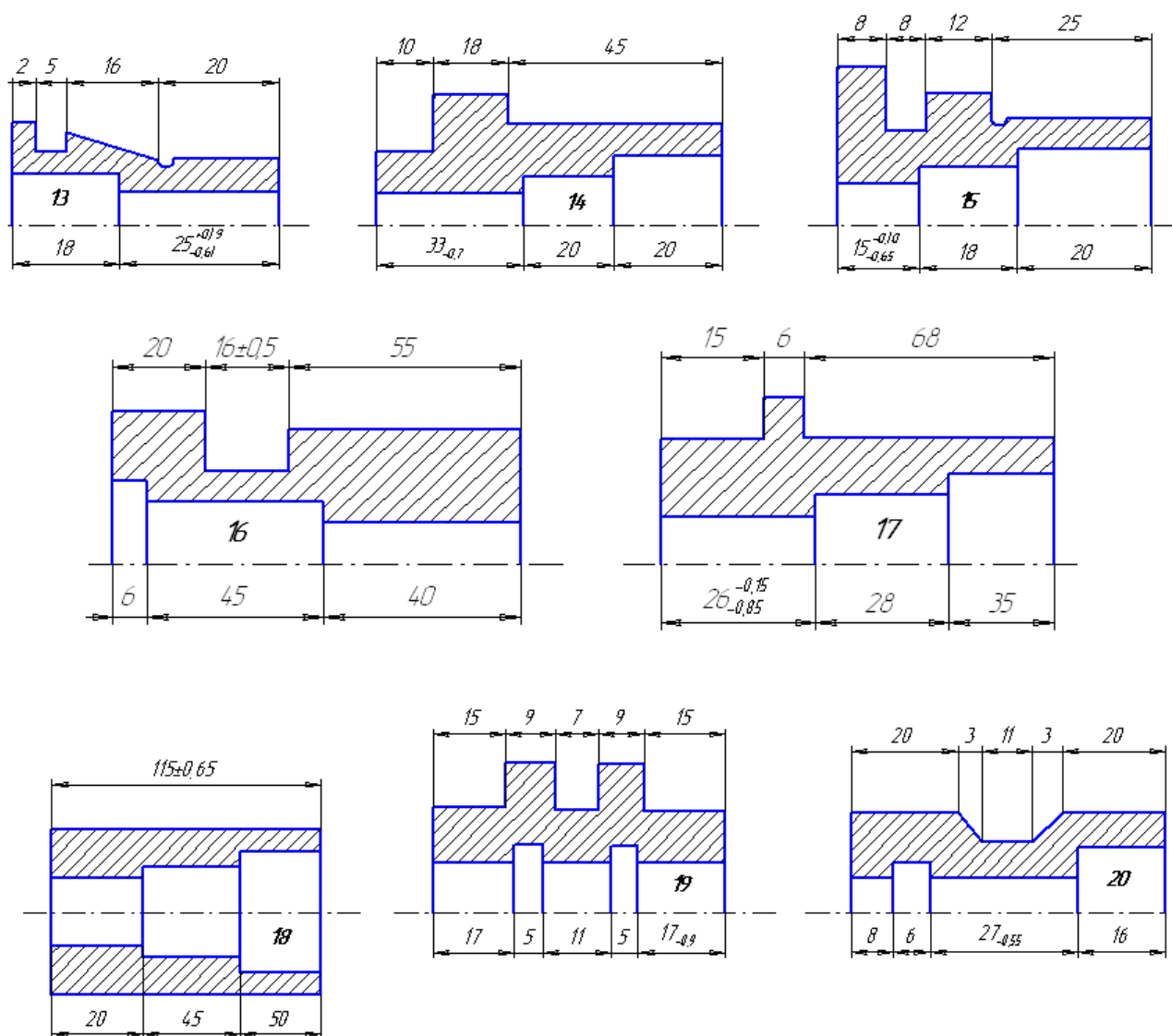


Рисунок 25 – Варианты заданий для расчета подетальной РЦ (продолжение)

5. Произвести расчёт подетальной размерной цепи вероятностным методом на основании исходных данных п. 4 и сравнить полученные значения допусков.

## 7.2 Методические указания

Размерной цепью (РЦ) называют совокупность размеров, образующих замкнутый контур и непосредственно участвующих в решении поставленной задачи – обеспечение точности детали при изготовлении или сборочной единицы. Размеры, образующие размерную цепь, называют звеньями размерной цепи.

РЦ, в которую входят размеры одной детали, называется детальной, а если размеры нескольких деталей – сборочной.

Расчёт РЦ и их анализ – обязательный этап конструирования машин, способствующий повышению качества, обеспечению взаимозаменяемости и снижению трудоёмкости их изготовления. Сущность расчёта РЦ заключается в установлении

допусков и предельных отклонений всех её звеньев, исходя из требований конструкции и технологии.

РЦ состоит из составляющих звеньев  $A_1, A_2, \dots, A_j$  и одного замыкающего (при решении некоторых задач исходного) звена  $A_\Delta$ .

Замыкающим звеном называется размер, получаемый в РЦ последним при обработке или сборке.

Исходное звено – звено РЦ, заданные номинальный размер и предельные отклонения которого определяют функционирование механизма и должны быть обеспечены в результате решения РЦ. Исходя из предельных значений этого размера, рассчитывают допуски и отклонения всех остальных размеров цепи.

Корректирующее звено – размер, компенсирующий погрешности звеньев, составляющих РЦ.

Составляющие звенья РЦ делятся на увеличивающие и уменьшающие в зависимости от их действия на замыкающее звено. Если с увеличением составляющего звена замыкающее звено уменьшается, то составляющее звено называют уменьшающим, если замыкающее звено увеличивается, то составляющее звено называется увеличивающим. Увеличивающие размеры на схемах обозначаются стрелками, направленными вправо  $\vec{A}_j$ , уменьшающие – влево  $\vec{A}_j$ .

При расчёте РЦ используем метод максимума-минимума, обеспечивающий полную взаимозаменяемость, и вероятностный метод, который в зависимости от процента риска  $p$  может обеспечивать полную или неполную (ограниченную) взаимозаменяемость при расширенных допусках составляющих звеньев.

Процент риска  $p$  – допускаемая вероятность несоблюдения предельных значений замыкающего размера у части деталей или сборочных единиц партии, позволяющая значительно расширить допуски составляющих размеров и тем самым снизить себестоимость изготовления деталей. На этом основан вероятностный метод расчёта РЦ.

В разделе РЦ студент решает две задачи: прямую (проектную) и обратную (проверочную). Прямая – задача, в которой заданы параметры замыкающего звена и требуется определить параметры составляющих звеньев. Обратная – задача, в которой известны параметры составляющих звеньев и требуется определить параметры замыкающего звена.

При назначении предельных отклонений составляющие размеры рекомендуется разбить на три группы:

- охватывающих поверхностей;
- охватываемых поверхностей;
- смешанные (уступы, углубления и т. п.).

Предельные отклонения первых двух групп принимают равными допуску на изготовление: со знаком «+» – для охватывающих поверхностей, как на основное отверстие  $H$ ; со знаком «-» – для охватываемых, как на основной вал  $h$ . Таким образом, для этих двух групп размеров допуск задают «в обрабатываемый материал».

Для третьей группы размеров предельные отклонения назначают в зависимости от технологии обработки поверхности (как на вал или как на отверстие), либо симметричные предельные отклонения.

Метод сложения, вычитания размеров и предельных отклонений позволяет математически определить номинальный размер и предельные отклонения замыкающего звена при заданных параметрах составляющих звеньев.

Прежде, чем сложить или вычесть номинальные размеры и предельные отклонения, необходимо подготовить уравнение к операции сложения и вычитания: если перед номинальным размером стоит знак «+» (увеличивающее звено), то его

предельные отклонения переписываются без изменения; если перед номинальным размером стоит знак «-» (уменьшающее звено), то необходимо изменить знак предельных отклонений местами. Размеры с симметричными предельными отклонениями переписываются без изменений.

### 7.3 Пример выполнения задания

#### 1. Составление схем РЦ

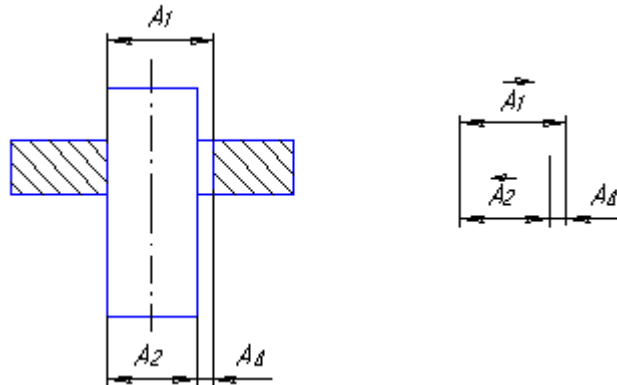


Рисунок 26 – Сборочная размерная цепь

#### 2. Расчёт подетальной размерной цепи методом максимума-минимума

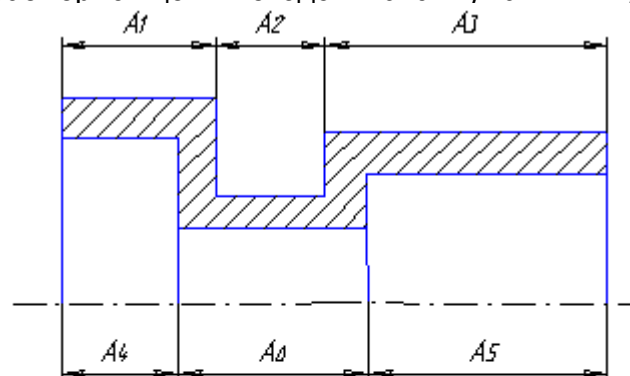


Рисунок 27 – Эскиз детали

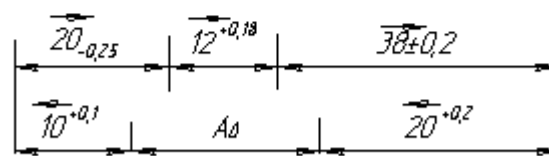


Рисунок 28 – Схема размерной цепи

Параметры составляющих звеньев: передаточное отношение  $\xi_1=+1$ ;  $\xi_2=+1$ ;  $\xi_3=+1$ ;  $\xi_4=-1$ ;  $\xi_5=-1$ .

Расчёт допусков звеньев:

$$TA_1 = ESA_1 - EIA_1 = 0 - (-0,25) = 0,25 \text{ мм};$$

$$TA_2 = ESA_2 - EIA_2 = 0,18 - 0 = 0,18 \text{ мм};$$

$$TA_3 = ESA_3 - EIA_3 = 0,2 - (-0,2) = 0,4 \text{ мм};$$

$$TA_4 = ESA_4 - EIA_4 = 0,1 - 0 = 0,1 \text{ мм};$$

$$TA_5 = ESA_5 - EIA_5 = 0,2 - 0 = 0,2 \text{ мм}.$$

Расчёт координат середины полей допусков:

$$\begin{aligned} E_c A_1 &= E S A_1 - \frac{T A_1}{2} = 0 - \frac{0,25}{2} = -0,125 \text{ мм}; \\ E_c A_2 &= E S A_2 - \frac{T A_2}{2} = 0,18 - \frac{0,18}{2} = +0,09 \text{ мм}; \\ E_c A_3 &= E S A_3 - \frac{T A_3}{2} = 0,2 - \frac{0,4}{2} = 0 \text{ мм}; \\ E_c A_4 &= E S A_4 - \frac{T A_4}{2} = 0,1 - \frac{0,1}{2} = +0,05 \text{ мм}; \\ E_c A_5 &= E S A_5 - \frac{T A_5}{2} = 0,2 - \frac{0,2}{2} = +0,1 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Расчёт номинального размера замыкающего звена:

$$A_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} \xi_{A_j} \cdot A_j = (+1) \cdot 20 + (+1) \cdot 12 + (+1) \cdot 38 + (-1) \cdot 10 + (-1) \cdot 20 = 40 \text{ мм}.$$

Расчёт допуска замыкающего звена:

$$T A_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} |\xi_{A_j}| \cdot T A_j = 1 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,18 + 1 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,2 = 1,13 \text{ мм}.$$

Расчёт предельных отклонений замыкающего звена:

$$\begin{aligned} E S A_{\Delta} &= \sum_{j=1}^n \overline{E S A}_j - \sum_{j=n+1}^{m-1} \overline{E I A}_j = 0 + 0,18 + 0,2 - (0 + 0) = +0,38 \text{ мм} \\ E I A_{\Delta} &= \sum_{j=1}^n \overline{E I A}_j - \sum_{j=n+1}^{m-1} \overline{E S A}_j = -0,25 + 0 - 0,2 - (0,1 + 0,2) = -0,75 \text{ мм} \end{aligned}$$

Расчёт координаты середины поля допуска замыкающего звена:

$$E_c A_{\Delta} = \sum_{j=1}^{m-1} \xi_{A_j} \cdot E_c A_j = (+1) \cdot (-0,125) + (+1) \cdot 0,09 + (+1) \cdot 0 + (-1) \cdot 0,05 + (-1) \cdot 0,1 = -0,185 \text{ мм}$$

Проверка:  $E_c A_{\Delta} = E S A_{\Delta} - T A_{\Delta} / 2 = +0,38 - 1,13 / 2 = -0,185 \text{ мм}.$

Строим схему расположения поля допуска замыкающего звена (рисунок 29).

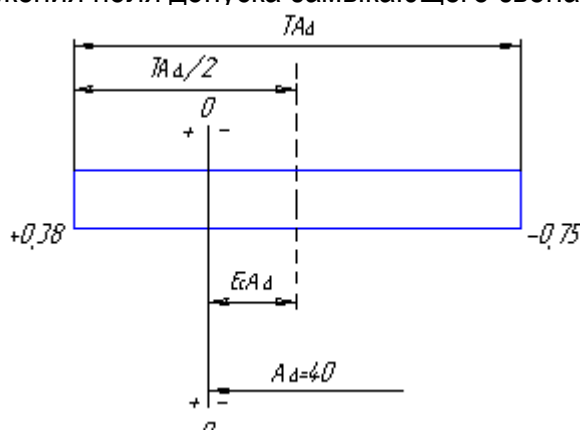


Рисунок 29 – Схема расположения поля допуска замыкающего звена

### 3. Сложение, вычитание размеров и предельных отклонений

Размерная цепь состоит из звеньев:  $A_1 = +40_{-0,3}$ ;  $A_2 = +20_{-0,2}$ ;  $A_3 = -16_{-0,3}$ ;  $A_4 = -18_{\pm 0,1}$ ;  $A_5 = -14_{+0,2}$ .

Определить  $A_{\Delta}$ .

Подготовим предельные отклонения к сложению и вычитанию и произведём расчёт:

$$A_{\Delta} = 40_{-0,3} + 20_{-0,2} - 16_{+0,3} - 18 \pm 0,1 - 14_{-0,2} = 12_{-0,8}^{+0,4} \text{ мм.}$$

#### 4. Расчёт поддетальной размерной цепи методом максимума-минимума (прямая задача)

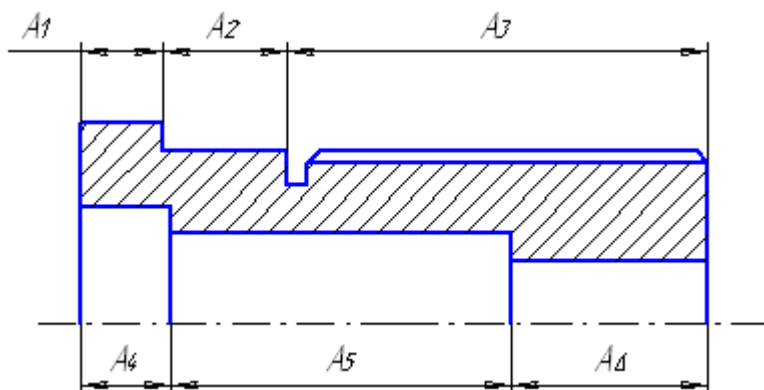


Рисунок 30 – Эскиз детали

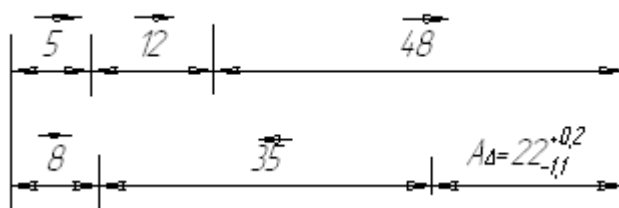


Рисунок 31 – Схема размерной цепи

Передаточные отношения составляющих звеньев:

$$\xi_1 = +1; \xi_2 = +1; \xi_3 = +1; \xi_4 = -1; \xi_5 = -1.$$

Требования к замыкающему звену:

$$\begin{aligned} ESA_{\Delta} &= +0,2; EIA_{\Delta} = -1,1 \text{ мм} \\ TA_{\Delta} &= ESA_{\Delta} - EIA_{\Delta} = 0,2 - (-1,1) = 1,3 \text{ мм} \\ E_{cA_{\Delta}} &= ESA_{\Delta} - TA_{\Delta}/2 = 0,2 - 1,3/2 = -0,45 \text{ мкм} \end{aligned}$$

Звенья с известными допусками в размерной цепи отсутствуют  $T_{изв} = 0$ .

В качестве корректирующего звена можно принять звено  $A_5 = 35$  мм, так как положение внутренней торцевой поверхности не будет влиять на служебное назначение детали.

Расчёт производится методом максимума-минимума. Связь между допуском замыкающего звена и допусками составляющих звеньев устанавливается способом одинакового качества.

$$a_c = \frac{TA_{\Delta} - \sum T_{изв}}{\sum i_j} = \frac{1300 - 0}{0,73 + 1,08 + 1,56 + 0,9 + 1,56} = 223$$

По таблице 25 принимаем значение единицы допуска  $i_j$ .

Таблица 25 – Единица допуска  $i$ 

в микрометрах

| Интервалы<br>номинальных<br>размеров, мм | 3...<br>6 | 6...<br>10 | 10...<br>18 | 18...<br>30 | 30...<br>50 | 50...<br>80 | 80...<br>120 | 120...<br>180 | 180...<br>250 | 250...<br>315 | 315...<br>400 | 400...<br>500 |
|------------------------------------------|-----------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| $i$                                      | 0,73      | 0,9        | 1,08        | 1,31        | 1,56        | 1,86        | 2,17         | 2,52          | 2,9           | 3,23          | 3,64          | 4,0           |
| $i^2$                                    | 0,53      | 0,81       | 1,17        | 1,72        | 2,43        | 3,46        | 4,71         | 6,35          | 8,41          | 10,43         | 13,25         | 16,0          |

Назначаем по таблице 26 в зависимости от табличного  $a=250$ , ближайшего к расчётному  $a_c$ , 13-ый квалитет.

Таблица 26 – Выбор квалитета по количеству единиц допуска  $a$ 

| Квалитет                | 6     | 7     | 8     | 9     | 10     | 11     | 12     | 13     | 14     | 15     | 16     |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Обозначение<br>допуска  | $IT6$ | $IT7$ | $IT8$ | $IT9$ | $IT10$ | $IT11$ | $IT12$ | $IT13$ | $IT14$ | $IT15$ | $IT16$ |
| Число единиц<br>допуска | 10    | 16    | 25    | 40    | 64     | 100    | 160    | 250    | 400    | 640    | 1000   |

Назначаем стандартные допуски составляющих звеньев, кроме  $T_{кор}$ , в зависимости от номинального размера и принятого 13-го квалитета. Данные сводим в таблицу 28. Стандартные допуски принимаем из таблицы 27.

Таблица 27 – Допуски составляющих звеньев

в микрометрах

| Интервалы<br>номинальных<br>размеров, мм | Квалитет |    |    |     |     |     |     |     |      |      |      |
|------------------------------------------|----------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                                          | 6        | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14   | 15   | 16   |
| до 3                                     | 6        | 10 | 14 | 25  | 40  | 60  | 100 | 140 | 250  | 400  | 600  |
| 3...6                                    | 8        | 12 | 18 | 30  | 48  | 75  | 120 | 180 | 300  | 480  | 750  |
| 6...10                                   | 9        | 15 | 22 | 36  | 58  | 90  | 150 | 220 | 360  | 580  | 900  |
| 10...18                                  | 11       | 18 | 27 | 43  | 70  | 110 | 180 | 270 | 430  | 700  | 1100 |
| 18...30                                  | 13       | 21 | 33 | 52  | 84  | 130 | 210 | 330 | 520  | 840  | 1300 |
| 30...50                                  | 16       | 25 | 39 | 62  | 100 | 160 | 250 | 390 | 620  | 1000 | 1600 |
| 50...80                                  | 19       | 30 | 46 | 74  | 120 | 190 | 300 | 460 | 740  | 1200 | 1900 |
| 80...120                                 | 22       | 35 | 54 | 87  | 140 | 220 | 350 | 540 | 870  | 1400 | 2200 |
| 120...180                                | 25       | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 | 1600 | 2500 |
| 180...250                                | 29       | 46 | 72 | 115 | 165 | 290 | 460 | 720 | 1150 | 1850 | 2900 |
| 250...315                                | 32       | 52 | 81 | 130 | 210 | 320 | 520 | 810 | 1300 | 2100 | 3200 |
| 315...400                                | 36       | 57 | 89 | 140 | 230 | 360 | 570 | 890 | 1400 | 2300 | 3600 |
| 400...500                                | 40       | 65 | 97 | 155 | 250 | 400 | 630 | 970 | 1550 | 2500 | 4000 |

Расчёт допуска корректирующего звена:

$$TA_{кор} = TA_{\Delta} - \sum_{j=1}^{m-2} \xi A_j \cdot TA_j = 1300 - (180 + 270 + 390 + 220) = 240 \text{ мкм}$$

Назначаем предельные отклонения составляющих звеньев, кроме  $A_{кор}$ , и записываем в таблицу 28.

Расчёт координаты середины поля допуска составляющих звеньев:

$$E_c A_j = E S A_j - \frac{T A_j}{2}$$

Расчёт координаты середины поля допуска корректирующего звена:

$$E_c A_{\text{кор}} = \frac{1}{\xi_{\text{кор}}} \cdot (E_c A_{\Delta} - \sum \xi_{A_j} \cdot E_c A_j)$$

$$E_c A_{\text{кор}} = \frac{1}{-1} \cdot \{-450 - [(+1) \cdot (-90) + (+1) \cdot (-135) + 0 + (-1) \cdot (+110)]\} = +115 \text{ мкм.}$$

Расчёт предельных отклонений корректирующего звена:

$$E S A_{\text{кор}} = E_{\text{с кор}} + \frac{T_{\text{кор}}}{2} = +115 + \frac{240}{2} = +235 \text{ мкм};$$

$$E I A_{\text{кор}} = E_{\text{с кор}} - \frac{T_{\text{кор}}}{2} = +115 - \frac{240}{2} = -5 \text{ мкм.}$$

Исполнительные размеры и отклонения составляющих звеньев сводим в таблицу 28

Таблица 28 – Сведения о размерной цепи, рассчитанной методом максимума-минимума

| Звено             | Номинальн. размер, мм | Характер звена | $\xi_{A_j}$ | $i_j$ | Квалитет  | $T A_j$ , мкм | $\frac{T A_j}{2}$ , мкм | $E S A_j$ , мкм | $E I A_j$ , мкм | $E_c A_j$ , мкм | Исполнительн. размер, мм |
|-------------------|-----------------------|----------------|-------------|-------|-----------|---------------|-------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| $A_1$             | 5                     | ув.            | +1          | 0,73  | 13        | 180           | 90                      | 0               | -180            | -90             | $5_{-0,18}$              |
| $A_2$             | 12                    | ув.            | +1          | 1,08  | 13        | 270           | 135                     | 0               | -270            | -135            | $12_{-0,27}$             |
| $A_3$             | 48                    | ув.            | +1          | 1,56  | 13        | 390           | 195                     | +195            | -195            | 0               | $48 \pm 0,195$           |
| $A_4$             | 8                     | ум.            | -1          | 0,9   | 13        | 220           | 110                     | +220            | 0               | +110            | $8^{+0,22}$              |
| $A_5 \text{ кор}$ | 35                    | ум.            | -1          | 1,56  | <u>12</u> | 240           | 120                     | +235            | -5              | +115            | $35_{-0,005}^{+0,235}$   |

Решение проверочной задачи способом сложения и вычитания номинальных размеров и предельных отклонений составляющих звеньев:

$$A_1 = +5_{-0,18}; A_2 = +12_{-0,27}; A_3 = +48 \pm 0,195; A_4 = -8^{+0,22}; A_5 = -35_{-0,005}^{+0,235}; A_{\Delta} = 22_{-1,1}^{+0,2}$$

Подготовим выражение для сложения и вычитания и выполним расчёт:

$$5_{-0,18} + 12_{-0,27} + 48 \pm 0,195 - 8_{-0,22} - 35_{-0,235}^{+0,005} = 22_{-1,1}^{+0,2} \text{ мм.}$$

В результате произведенных расчетов получилось, что квалитет корректирующего звена размерной цепи точнее, чем квалитет составляющих звеньев, что недопустимо. Необходимо принять для составляющих звеньев размерной цепи 12-ый квалитет и вновь выполнить расчет.

5. Расчёт поддетальной размерной цепи вероятностным методом (прямая задача)

Корректирующее звено остаётся тем же.

Метод расчёта – вероятностный, способ – допусков одинакового квалитета: процент риска  $p=0,27\%$ ,  $t_{\Delta}=3$ ,  $\lambda_j^2 = \frac{1}{9}$ .

Расчёт количества единиц допуска:

$$a_c = \frac{T A_{\Delta} - \sum T_{\text{узв}}}{t_{\Delta} \cdot \sqrt{\lambda_j^2 \cdot \sum i_j^2}} = \frac{1300 - 0}{3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \cdot (0,53 + 1,17 + 2,43 + 0,81 + 2,43)}} = 479$$

Назначим квалитет по таблице 26. Расчётное число единиц допуска  $a_c=479$  соответствует примерно 14-му квалитету, для которого табличное число единиц допуска  $a=400$ . Однако, если допуски всех звеньев  $A_1, A_2, A_3$  и  $A_4$  назначить по 14-му квалитету, то может нарушиться неравенство

$$TA_{\Delta} \geq t_{\Delta} \cdot \sqrt{\sum_{j=1} \xi_{Aj}^2 \cdot \lambda_j^2 \cdot TA_j^2}.$$

Учитывая это, а также то, что технологические условия для валов точнее, для отверстий грубее, допуски звеньев  $A_1, A_2$  и  $A_4$  устанавливаем по 14-му квалитету, а допуск звена  $A_3$  – по 15-му квалитету.

Назначаем табличные допуски звеньев  $A_1, A_2, A_3$  и  $A_4$  по таблице 27 и записываем их в таблицу 29.

Расчёт допуска корректирующего звена:

$$\begin{aligned} (TA_{\Delta} - \sum T_{изв})^2 &= t_{\Delta}^2 \cdot \lambda_j^2 \cdot (T_1^2 + T_2^2 + T_3^2 + T_4^2 + T_{кор}^2) \\ 1690000 &= 9 \cdot \frac{1}{9} \cdot (90000 + 184900 + 1000000 + 129600 + T_{кор}^2) \\ T_{кор} &= \sqrt{285500} = 534 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Назначаем предельные отклонения составляющих звеньев и записываем их в таблицу 29. Расчёт координат середины поля допуска составляющих звеньев:

$$E_{cA_j} = ESA_j - \frac{TA_j}{2}$$

расчёты сводим в таблицу 29.

Расчёт координат середины поля допуска корректирующего звена:

$$\begin{aligned} E_{cA_{кор}} &= \frac{1}{\xi_{кор}} \cdot (E_{cA_{\Delta}} - \sum \xi_{Aj} \cdot E_{cA_j}) \\ E_{cA_{кор}} &= \frac{1}{-1} \cdot \{-450 - [(+1) \cdot (-150) + (+1) \cdot (-215) + (+1) \cdot 0 + (-1) \cdot (+180)]\} = -95 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Расчёт предельных отклонений корректирующего звена:

$$\begin{aligned} ESA_{кор} &= E_{с\text{ кор}} + \frac{T_{кор}}{2} = -95 + \frac{534}{2} = +172 \text{ мкм;} \\ EIA_{кор} &= E_{с\text{ кор}} - \frac{T_{кор}}{2} = -95 - \frac{534}{2} = -362 \text{ мкм.} \end{aligned}$$

Таблица 29 – Сведения о размерной цепи, рассчитанной вероятностным методом

| Звено             | Номинальн. размер, мм | Характер действия звена | $\xi_j$ | $i_j$ | $i_j^2$ | $TA_j$ , мкм | $TA_j^2$ , мкм | $\frac{TA}{2}$ , мкм | $\frac{TA_j^2}{4}$ , мкм <sup>2</sup> | $ESA_j$ , мкм | $EIA_j$ , мкм | $E_{cA_j}$ , мкм | Исполнит. размер, мм   |
|-------------------|-----------------------|-------------------------|---------|-------|---------|--------------|----------------|----------------------|---------------------------------------|---------------|---------------|------------------|------------------------|
| $A_1$             | 5                     | ув.                     | +1      | 0,73  | 0,53    | 300          | 90000          | 150                  | 22500                                 | 0             | -300          | -150             | $5_{-0,3}$             |
| $A_2$             | 12                    | ув.                     | +1      | 1,08  | 1,17    | 430          | 184900         | 215                  | 46225                                 | 0             | -430          | -215             | $12_{-0,43}$           |
| $A_3$             | 48                    | ув.                     | +1      | 1,56  | 2,43    | 1000         | 1000000        | 500                  | 250000                                | +500          | -500          | 0                | $48 \pm 0,5$           |
| $A_4$             | 8                     | ум.                     | -1      | 0,90  | 0,81    | 360          | 129600         | 180                  | 32400                                 | +360          | 0             | +180             | $8^{+0,36}$            |
| $A_5 \text{ кор}$ | 35                    | ум.                     | -1      | 1,56  | 2,43    | 534          | 285500         | 267                  | 71375                                 | +172          | -362          | -95              | $35_{-0,362}^{+0,172}$ |

Решаем проверочную задачу.

Определим допуск замыкающего звена  $TA_{\Delta} = t_{\Delta} \cdot \sqrt{\sum_{j=1} \xi_{Aj}^2 \cdot \lambda_j^2 \cdot TA_j^2}$

$$TA_{\Delta} = 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \cdot (90000 + 184900 + 1000000 + 129600 + 285500)} = 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 169000} = 1300 \text{ мкм.}$$

Расчёт координаты середины поля допуска:

$$E_c A_{\Delta} = \sum \xi_{Aj} \cdot E_c A_j = (+1) \cdot (-150) + (+1) \cdot (-215) + (+1) \cdot 0 + (-1) \cdot 180 + (-1) \cdot (-95) = -450 \text{ мкм;}$$

Расчёт предельных отклонений замыкающего звена:

$$ES A_{\Delta} = E_c A_{\Delta} + t_{\Delta} \cdot \sqrt{\lambda_j^2 \cdot \frac{TA_{\Delta}^2}{4}} = -450 + 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 422500} = +200 \text{ мкм;}$$

$$EI A_{\Delta} = E_c A_{\Delta} - t_{\Delta} \cdot \sqrt{\lambda_j^2 \cdot \frac{TA_{\Delta}^2}{4}} = -450 - 3 \cdot \sqrt{\frac{1}{9} \cdot 422500} = -1100 \text{ мкм.}$$

Заключение: Сравнение допусков на изготовление составляющих звеньев одной и той же размерной цепи, рассчитанных методом максимума-минимума и вероятностным методом, показывает, что во втором случае величину допуска можно расширить в 1,5–2,5 раза, если распределение погрешностей изготовления подчиняется закону нормального распределения.

## Литература

1. Дунаев П. Ф., Лёликов О. П. Расчет допусков размеров. 4-е изд. перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 2006. – 400с.: ил.
2. Допуски и посадки. Учебное пособие. 3-е изд./ В.И. Анухин – Спб.: Питер, 2004.- 207с.: ил.
3. Козловский Н.С., Ключников В.М. Сборник примеров и задач по курсу “Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения”: Учебное пособие для учащихся техникумов. – М.: Машиностроение, 1983. – 304 с.
4. Марков Н.Н., Осипов В.В., Шабалина М.Б. Нормирование точности в машиностроении: Учеб. для машиностроит. спец. вузов. / Под ред. Ю.М. Соломенцева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк.; Издательский центр “Академия”, 2001. – 335 с.: ил.
- 5 Единая система допусков и посадок СЭВ в машиностроении и приборостроении: Справочник:/Палей М.А., Тайц Б.А., Марков Н.Н и др. В 2 т. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство стандартов, 1989. Т.1. – 263 с., ил. Т.2: Контроль деталей. – 208с.: ил.
6. Палей М.А. Допуски и посадки: Справочник: В 2-х ч. – 8-е изд., перераб. и доп.– Спб.: Политехника, 2001. ч. 1 – 576 с., ч. 2 – 608 с.: ил.
7. Якушев А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для втузов / А.И. Якушев, Л.Н. Воронцов, Н.М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.: ил.
8. ГОСТ 1643-81 Передатки зубчатые цилиндрические. Допуски.

## **Учебное издание**

Составители: Владимир Фёдорович Григорьев  
Юрий Анатольевич Хоронжевский

# **Нормирование точности и технические измерения**

Методическое пособие к выполнению  
расчётно-графических и курсовых работ  
для студентов машиностроительных  
специальностей  
2-е издание, исправленное и дополненное

Ответственный за выпуск: Хоронжевский Ю.А.  
Редактор: Строкач Т.В.  
Корректор: Никитчик Е.В.  
Компьютерная вёрстка: Кармаш Е.Л.

---

Подписано к печати 10.12.08г. Формат 60×84/8. Бумага «Снегурочка». Усл.п.л. 7,9. Уч.изд.л. 8,5.

Тираж 200 экз. Заказ № 1208. Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

## **РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ**

## **Перечень вопросов к экзамену по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения»**

1. Сущность, задачи и значение взаимозаменяемости.
2. Функциональная взаимозаменяемость.
3. Виды документов по техническому нормированию в республике Беларусь, их обозначение.
4. Методы нормирования параметров при проектировании.
5. Основные термины и определения по размерам, отклонениям, допускам.
6. Понятие о посадках, зазорах, натягах. Допуск посадки.
7. Основные причины, вызывающие погрешности обработки.
8. Точность деталей по геометрическим параметрам. Точность формы и принцип прилегающих поверхностей.
9. Отклонения формы цилиндрических деталей в продольном сечении.
10. Отклонения формы цилиндрических деталей в поперечном сечении.
11. Отклонения формы плоских деталей.
12. Нормирование точности формы деталей. Обозначение отклонений формы на чертежах.
13. Отклонения взаимного расположения плоскостей.
14. Отклонения взаимного расположения цилиндрических поверхностей.
15. Отклонения взаимного расположения плоскостей.
16. Нормирование точности взаимного расположения. Обозначение допусков расположения на чертежах.
17. Шероховатость поверхности, параметры.
18. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах.
19. Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения на качество деталей.
20. Система допусков и посадок гладких цилиндрических соединений. Семь основных признаков.
21. Система отверстия и система вала. Выбор, примеры применения.
22. Единица допуска. Число единиц допуска.
23. Температурные погрешности размеров деталей. Нормальная температура измерений.
24. Посадки с зазором, выбор.
25. Переходные посадки, выбор.
26. Посадки с натягом, выбор.
27. Общие допуски (размеров с неуказанными допусками).
28. Обозначение на чертежах допусков, предельных отклонений размеров и посадок.
29. Выбор посадок подшипников качения.
30. Предельные калибры для контроля гладких цилиндрических соединений.
31. Размерные цепи. Виды звеньев. Типы задач в теории размерных цепей.
32. Размерные цепи: метод максимума-минимума.

33. Размерные цепи: вероятностный метод.
34. Размерные цепи: метод групповой взаимозаменяемости.
35. Основные параметры резьбы:  $d$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $P$ ,  $P_n$ ,  $\alpha$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H_\psi$ .
36. Суммарный допуск среднего диаметра резьбы
37. Резьба метрическая с зазором, допуски.
38. Шпоночные соединения, допуски.
39. Прямобоочные шлицевые соединения, допуски.
40. Эвольвентные шлицевые соединения, допуски.
41. Контроль шлицевых деталей.
42. Классификация зубчатых передач по эксплуатационному назначению.
43. Зубчатые передачи, допуски.
44. Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых передач.
45. Нормы плавности зубчатых колес.
46. Нормы бокового зазора зубчатых колес
47. Нормы константа зубчатых колес.
48. Виды сопряжения зубьев цилиндрических колес в передаче и их допуски.
49. Виды средств измерений по конструктивному исполнению. Метрологические характеристики средств измерений.
50. Расшифровать обозначение: допусков размеров, формы, расположения, шероховатости, резьбы, шлицевого соединения, зубчатого колеса.
51. Точность в машиностроении.
52. Параметры геометрической точности элементов деталей.
53. Основные причины возникновения погрешностей обработки.
54. Достоинства взаимозаменяемого производства.
55. Обязательность и добровольность применения стандартов.
56. Качество продукции машиностроения.
57. Технические кодексы.
58. Технические регламенты.
59. Связь допуска размера с экономикой производства.
60. Схема полей допусков посадки с натягом в системе вала.
61. Характеристика точности посадки.
62. Проходной предел для вала и отверстия.
63. Непроходной предел для вала и отверстия.
64. Основное отклонение.
65. Радиальное биение. Сумму каких отклонений оно составляет.
66. Торцовое биение. Сумму каких отклонений оно включает.
67. В каком месте торцовой поверхности проявляется торцовое биение.
68. Знаки, используемые для указания вида обработки поверхностей.
69. Знаки указания поверхностей, не обрабатываемых по данному чертежу.
70. Направление неровностей поверхности, обозначаемое  $R$  и место указания.
71. Область применения посадок с зазором.

72. Область применения посадок с натягом.
73. Область применения переходных посадок.
74. Рассчитать проходной предел для вала  $\varnothing 37k6^{(+0.016)}_{(-0.002)}$
75. Расшифровать обозначение: ГОСТ 30893.2 - mK.
76. Построить условную схему полей допусков посадки  $\varnothing 45 \frac{L0}{n6}$ .
77. Сущность решения размерной цепи
78. Исходное звено размерной цепи.
79. Допуск замыкающего звена размерных цепей при расчете на максимум-минимум.
80. Способы решения проектировочной задачи при решении размерных цепей.
81. Методы расчета размерных цепей при обеспечении неполной взаимозаменяемости.
82. По какому нормативному параметру образуется резьбовое сопряжение.
83. Приведенный средний диаметр резьбы.
84. Какая форма впадины резьбы предпочтительна и почему.
85. Предпочтительная посадка крепёжных резьб.
86. Какие виды посадок применяются в метрических резьбах.
87. Типы шпоночных соединений с призматическими шпонками.
88. Система посадок (вала и отверстия), применяемая в шпоночных соединениях.
89. Способы центрирования прямобочных шлицевых соединений.
90. Преимущества эвольвентных шлицевых соединений по сравнению с прямобочными.
91. Принцип образования бокового зазора зубчатых зацеплений.
92. Обозначение нормального бокового зазора зубчатых зацеплений.
93. Максимальная разность температуры зубчатых колес и корпуса, допускаемая нормальным боковым зазором.

## **ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ**

Учреждение образования  
«Брестский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе БрГТУ

\_\_\_\_\_ М.В.Нерода

«        » \_\_\_\_\_ 2024г.

Регистрационный № УД- 24-1-108 /уч.

Нормирование точности и технические измерения

Учебная программа учреждения высшего образования

По учебной дисциплине для специальности

6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и  
инструменты»

Профилизация: «Технология машиностроения»

Профилизация: «Технологическое оборудование машиностроительного  
производства»

2024 г.

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта ОСВО 6-05 -0714-02-2023 специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» и учебного плана БрГТУ

СОСТАВИТЕЛЬ:

В.Ф.Григорьев, доцент кафедры машиноведения, к.т.н., доцент

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой машиноведения

(протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024);

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ В.М.Голуб

Методической комиссией машиностроительного факультета

Председатель \_\_\_\_\_ В.П.Горбунов

(протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024);

Научно-методическим советом БрГТУ (протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024)

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Курс «Нормирование точности и технические измерения» входит в государственный компонент цикла общепрофессиональных и специальных дисциплин, модуль «Моделирование механических систем, конструирование, расчет деталей машин и механизмов».

Целью освоения дисциплины является изучение методов обеспечения взаимозаменяемости изделия на этапах его жизненного цикла; изучение основ выбора требований к точности параметров и сущности стандартизации данных требований.

Задачами изучения дисциплины является:

- изучение принципов построения нормативных документов по стандартизации и технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации, регламентирующих нормы точности параметров;

- изучение систем стандартов, относящихся к нормированию точности параметров и обозначения стандартных требований к точности параметров и контроля их соблюдения.

Изучение дисциплины взаимосвязано с изучением следующих дисциплин:

- «Математика» (математический анализ, теория вероятностей, математическая статистика);
- «Физика»;
- «Прикладная механика» (дисциплина компонента УВО), (передачи, трение, основы теории напряженного и деформированного состояния);
- «Детали машин» (соединения, передачи);
- «Инженерная графика» (Единая система конструкторской документации);
- «Материаловедение» (конструкционные материалы, их свойства).

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста: знания и умения, полученные студентами при изучении данной дисциплины, необходимы для освоения последующих специальных дисциплин и дисциплин специализаций, связанных с проектированием и расчетом машин, механизмов, их деталей и узлов.

В результате освоения дисциплины «Нормирование точности и технические измерения» студент должен:

знать:

- методы обеспечения взаимозаменяемости на этапах жизненного цикла изделия;
- методы нормирования точности параметров;
- основные принципы построения систем допусков и посадок, базовые стандарты
- основных норм взаимозаменяемости, охватывающие системы допусков и посадок для типовых видов соединений деталей машин и приборов;
- теоретические основы измерительного контроля параметров;

уметь:

- пользоваться стандартами основных норм взаимозаменяемости;
- обозначать требования к точности параметров на чертежах, читать и расшифровать условные обозначения;

- осуществлять измерительный контроль параметров калибрами и основными универсальными средствами измерений;
- представлять результаты измерений с указанием погрешностей и неопределенности.

Владеть:

- методологией обеспечения взаимозаменяемости узлов технических систем;
- методами использования нормирования точности при изготовлении деталей и узлов.
- методами контроля геометрических параметров деталей.

Освоение данной учебной дисциплины обеспечивает формирование следующих компетенций.

Требования к академическим компетенциям специалиста:

УК-1. Владеть основами исследовательской деятельности, осуществлять поиск, анализ и синтез информации.

УК-5. Быть способным к саморазвитию и совершенствованию в профессиональной деятельности.

Требования к профессиональной компетенции специалиста:

БПК – 5.2. Применять основные принципы взаимозаменяемости, нормирования точности, стандартизации допусков и посадок, владеть методами нормирования точности для различных деталей машин и условий производства.

Методы (технологии) обучения, отвечающие целям изучения дисциплины:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на практических или лабораторных занятиях и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссии, учебные дебаты, «мозговой штурм» и др.), реализуемые на практических занятиях;
- проектные технологии, используемые при проектировании конкретного объекта, реализуемые при выполнении курсовой работы.

Организация самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы:

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя в соответствии с расписанием;
- подготовка курсовой работы по индивидуальным заданиям.

Диагностика компетенций студента

Оценка уровня знаний студентов производится по десятибалльной шкале. Для оценки достижений студентов используется следующий диагностический инструментарий:

- защита выполненных лабораторных работ;
- проведение двух текущих аттестаций по изученным разделам;
- компьютерное тестирование;
- защита курсовой работы;
- сдача экзамена по дисциплине.

Таблица 1 - План учебной дисциплины

| Код специальности (направления специальности), форма получения высшего образования | Наименование специальности (направления специальности)                                                                                                    | Курс | Семестр | Всего учебных часов | Количество зачетных единиц | Аудиторных часов (в соответствии с учебным планом УВО) |        |                      |                      | Академических часов на курсовую работу | Форма текущей аттестации |
|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------|---------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------------------------|--------------------------|
|                                                                                    |                                                                                                                                                           |      |         |                     |                            | Всего                                                  | Лекции | Лабораторные занятия | Практические занятия |                                        |                          |
| 6-05-0714-02, дневная                                                              | Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты (Технология машиностроения; Технологическое оборудование машиностроительного производства) | 2    | 3       | 100                 | 3                          | 66                                                     | 34     | 16                   | 16                   |                                        | экзамен                  |
|                                                                                    |                                                                                                                                                           | 2    | 3       |                     | 1                          |                                                        |        |                      |                      | 40                                     | Защита курс. работы      |

## 1. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

### 1.1. ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

#### Тема 1. Стандартизация и качество продукции

Введение. Качество изделий машиностроения. Точность, как один из труднодостижимых показателей качества. Количественные показатели точности. Поля рассеивания погрешностей как характеристики точности. Виды и причины возникновения погрешностей при изготовлении и измерениях.

Взаимозаменяемость, её сущность и виды. Связь взаимозаменяемости с конструированием, изготовлением, эксплуатацией машин, техническими измерениями и организацией производственного процесса. Функциональная взаимозаменяемость. Экономическая эффективность взаимозаменяемости. Связь взаимозаменяемости со стандартизацией. Развитие взаимозаменяемости.

Виды документов по техническому нормированию в Республике Беларусь.

Номинальные и действительные размеры. Ряды нормальных линейных размеров, отклонения, предельные размеры, допуски. Соотношения размеров, допусков и полей рассеивания. Системы посадок: система отверстия и система вала.

Методы нормирования параметров при проектировании.

Тема 2. Нормирование и контроль отклонений формы и расположения поверхностей, волнистости и шероховатости

Основные термины и определения. Отклонения и допуск формы поверхностей. Отклонения и допуски расположения поверхностей. Суммарные отклонения формы и расположения поверхностей. Зависимые и независимые допуски расположения. Ряды значений допусков формы и расположения поверхностей. Обозначение допусков формы и расположения в зависимости от эксплуатационных показателей. Методы и средства контроля отклонений формы и расположения поверхностей.

Волнистость поверхности и её параметры. Контроль волнистости поверхности.

Шероховатость поверхности и её параметры. Выбор параметров шероховатости и их величины в зависимости от требования к поверхности. Методы и средства контроля шероховатости поверхности. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах.

Тема 3. Нормирование точности и контроль гладких цилиндрических соединений

Классификация и взаимозаменяемость гладких цилиндрических соединений. Единая система допусков и посадок (ЕСДП) и связь её с международной системой (ИСО). Система отверстия и система вала. Единицы допуска, квалитеты, интервалы диаметров. Область применения квалитетов точности. Основные отклонения, используемые для образования различных полей допусков. Посадки, образование посадок в системе отверстия и в системе вала. Схемы расположения полей допусков и посадок. Предпочтительные поля допусков и предпочтительные посадки. Условное обозначение полей допусков и посадок на чертежах.

Расчет и выбор посадок в гладких соединениях.

Область применения, расчет и выбор посадок с гарантированным натягом. Методы сборки соединений с натягом.

Область применения и выбор переходных посадок.

Расчет и выбор посадок с гарантированным зазором. Выбор посадок в зависимости от условий эксплуатации и назначения соединения.

Методы и средства контроля гладких цилиндрических деталей.

Контроль калибрами, их назначение, классификация, правила пользования. Конструкции калибров. Схемы расположения полей допусков калибров. Расчет предельных и исполнительных размеров калибров.

Тема 4. Общие допуски размеров, формы и расположения поверхностей деталей

Нормирование требований к точности несопрягаемых поверхностей. Общие допуски размеров, стандартные нормы точности. Указание общих допусков размеров на чертежах.

Допуски формы и расположения при отсутствии специальных указаний на чертежах, стандартные нормы точности. Общие допуски формы и расположения поверхностей, указание на чертежах.

Тема 5. Допуски и посадки подшипников качения

Основные требования, предъявляемые к подшипникам качения. Классы точности подшипников качения. Поля допусков посадочных мест валов и корпусов под подшипники качения. Выбор посадки в зависимости от вида

нагрузки, режима работы, класса точности подшипника и особых требований. Обозначение посадок подшипников качения на чертежах.

#### Тема 6. Размерные цепи, методы решения размерных цепей

Основные термины и определения, относящиеся к расчету размерных цепей (Методические указания РД-50-635-87). Общая характеристика методов решения размерных цепей. Экономичность использования различных методов в зависимости от требуемой точности замыкающего размера, числа составляющих размеров, серийности выпуска изделий, технического уровня производства и требований к взаимозаменяемости частей эксплуатируемых изделий. Расчет размерных цепей методом полной взаимозаменяемости и методом групповой взаимозаменяемости. Расчет размерных цепей методом неполной взаимозаменяемости.

Решение размерных цепей методом компенсации. Конструкция компенсаторов, используемых для равномерного регулирования. Приемы технологической компенсации: удаление припуска с поверхности детали компенсатора, совместная обработка поверхностей, подбор. Расчет пределов необходимого изменения компенсатора.

#### Тема 7. Нормирование точности, методы и средства контроля гладких конических соединений и углов

Нормальные углы и допуски на угловые размеры. Нормальные конусности и углы конусов. Стандартизация точности выполнения угловых размеров и конических соединений. Система допусков и посадок конических соединений. Методы и средства контроля углов и допусков.

Указания размеров, допусков и посадок конусов на чертежах.

#### Тема 8. Нормирование точности, методы и средства контроля резьбовых соединений

Конструктивные типы резьб, используемые в машиностроении. Метрическая резьба, профиль резьбы, основные параметры резьбы. Диаметральная компенсация погрешностей шага и половины угла профиля. Приведенный средний диаметр резьбы.

Система допусков и посадок метрической резьбы. Посадки с зазором, с натягом и переходные посадки. Степени точности, основные отклонения метрической резьбы, указание на чертежах полей допусков и посадок резьб. Комплексный и дифференцированный методы контроля резьбы. Контроль резьбы калибрами.

#### Тема 9. Нормирование точности, методы и средства контроля шпоночных и шлицевых соединений

Классификация шпоночных и шлицевых соединений. Основные эксплуатационные требования к шпоночным и шлицевым соединениям. Допуски и посадки шпоночных соединений с призматическими шпонками.

Допуски и посадки шлицевых соединений с прямобочным профилем.

Способы центрирования, допуски и посадки шлицевых соединений с эвольвентным профилем.

Обозначение допусков и посадок шлицевых соединений на чертежах. Методы и средства контроля шпоночных и шлицевых соединений. Комплексные калибры для шлицевых соединений.

Тема 10. Нормирование точности, методы и средства контроля зубчатых колёс и червячных передач

Требования, предъявляемые к зубчатым колесам и передачам.

Нормы точности и виды сопряжений цилиндрических зубчатых колёс и передач. Нормы бокового зазора. Степени точности и контролируемые показатели точности зубчатых колес и передач. Выбор степени точности и вида сопряжений в зависимости от эксплуатационных требований к цилиндрической зубчатой передаче. Обозначение степеней точности и вида сопряжений на чертежах. Методы, средства контроля цилиндрических зубчатых колёс, комплексный и дифференцированный методы контроля. Комплексы показателей при контроле точности. Автоматизация контроля зубчатых колёс.

Тема 11. Основные понятия о метрологии и технических измерениях

Роль метрологии и технических измерений в оценке точности контролируемых изделий. Государственная система обеспечения единства измерений.

Классификация средств и методов измерений. Метрологические показатели средств измерений. Погрешности измерений и выбор измерительных средств.

Погрешности, допустимые при измерении линейных размеров.

Приборы, используемые для измерений линейных и угловых размеров. Универсальные измерительные приборы. Специальные измерительные приборы. Приборы для контроля и управления в процессе обработки. Координатно-измерительные машины, их использование.

## 1.2 ПЕРЕЧЕНЬ ТЕМ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ

1. Измерение наружных и внутренних размеров деталей штангенинструментом.

2. Измерение наружных и внутренних размеров деталей микрометрическим инструментом.

3. Измерение углов угломерами.

4. Измерение размеров гладких наружных цилиндрических поверхностей относительным методом. Плоскопараллельные концевые меры длины.

5. Измерение радиального, торцевого биений и отклонений формы вала.

6. Измерение среднего диаметра резьбы резьбовым микрометром.

7. Контроль параметров, характеризующих нормы бокового зазора зубчатых колес: измерение толщины зуба зубчатого колеса.

8. Измерение длины общей нормали и колебания длины общей нормали зубчатых колес.

### 1.3 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ, ИХ СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет посадок гладких цилиндрических деталей и сопряжений.
2. Нормирование шероховатости, точности формы и расположения поверхностей.
3. Посадки подшипников качения.
4. Точность шпоночных и шлицевых сопряжений.
5. Точность резьбовых соединений.
6. Нормирование точности зубчатых передач.
7. Расчет размерных цепей.

### 2.ТРЕБОВАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Целью выполнения курсовой работы на тему «Расчет соединений деталей машин» является закрепление знаний, полученных при изучении дисциплины и навыков пользования нормативными документами по стандартизации и техническими нормативными правовыми актами в области технического нормирования и стандартизации. Курсовая работа включает типовые расчеты по определению характеристик посадок основных соединений, с целью обеспечения их взаимозаменяемости: гладких цилиндрических, шпоночных, шлицевых, резьбовых, зубчатых колес, подшипников качения, а также выполняют расчеты калибров и размерных цепей. Графическая часть работы содержит рабочие чертежи детали (например, зубчатого колеса, вала, стакана подшипника) формата А3, а также эскизы и схемы полей допусков. На выполнение курсовой работы отводится 40 часов.

Примерный перечень заданий курсовой работы и их содержание:

1.Гладкие сопряжения. Определить систему и тип посадки, предельные размеры валов и отверстий для заданных посадок, параметры посадок (максимальный и минимальный зазоры, натяги в соединениях), рассчитать допуски валов, отверстий, посадок и проверить правильность расчетов, выполнить схемы предложенных посадок и проставить размеры на эскизах.

2.Расчет и выбор посадок подшипников качения. Расшифровать маркировку подшипника качения. Определить минимальный и максимальный допустимые натяги для внутреннего кольца подшипника (при вращении наружного кольца подшипника производится расчёт только минимального допустимого натяга). Подобрать из числа рекомендуемых посадку для вращающегося кольца подшипника. Определить минимальный и максимальный натяги в соединении. Выбрать посадку для невращающегося кольца подшипника. Построить схемы полей допусков, выбранных посадок, для колец подшипника качения.

3. Шероховатость, отклонения формы и расположение поверхностей. Назначить шероховатость поверхностей и допуски на отклонения формы и взаимного расположения поверхностей для вала и стакана подшипника

4. Допуски и посадки шпоночных и шлицевых соединений. Выбрать по

ГОСТ 23360-78 недостающие параметры шпоночного соединения с призматической шпонкой и записать условное обозначение. Для заданного типа соединения назначить поля допусков деталей шпоночного соединения из рекомендуемых посадок и указать условия применения. Определить предельные отклонения всех параметров шпоночного соединения. Построить схемы расположения допусков для деталей шпоночного соединения. На эскизах сечения вала и втулки проставить необходимые размеры.

Расшифровать условное обозначение прямобочного шлицевого соединения по ГОСТ 1139-80. Указать условия применения. Выбрать по ГОСТ 1139-80 недостающие параметры прямобочного шлицевого соединения. Назначить поля допусков шлицевой втулки и шлицевого вала из рекомендованных посадок. Определить предельные отклонения всех параметров шлицевых деталей. Для шлицевого прямобочного соединения построить схему расположения полей допусков для вала и втулки с указанием необходимых размеров.

5. Резьбовые соединения. Расшифровать условное обозначение резьбового соединения. Установить верхние и нижние предельные отклонения для сопрягаемых параметров внутренней и наружной резьб. Рассчитать предельные размеры сопрягаемых элементов резьбы и их допуски. Определить  $\max$  и  $\min$  зазоры в сопряжении по сопрягаемым элементам. Рассчитать компенсационные поправки средних диаметров наружной и внутренней резьбы, обусловленные накопленной погрешностью шага и отклонением угла профиля. Определить максимальный и минимальный зазоры в сопряжении по среднему диаметру резьбы и при необходимости подобрать другие поля допусков по этому параметру. Изобразить схему полей допусков резьбового соединения.

### 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2 - Учебно-методическая карта учебной дисциплины для специальности 6-05-0714-02 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»: Профилизация: «Технология машиностроения»; «Технологическое оборудование машиностроительного производства»

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                                                                                     | Количество аудиторных часов |                      |                      |                 | Количество часов самост. работы | Форма контроля знаний  |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|---------------------------------|------------------------|
|                     |                                                                                                            | Лекции                      | Лабораторные занятия | Практические занятия | Курсовая работа |                                 |                        |
| 1                   | Введение. Стандартизация и качество продукции. Взаимозаменяемость. Методы нормирования точности параметров | 2                           |                      |                      |                 | 2                               | Экзамен                |
| 2                   | Нормирование точности и контроль гладких цилиндрических соединений                                         | 4                           | 6                    | 4                    |                 | 2                               |                        |
| 3                   | Нормирование и контроль отклонений формы и расположения поверхностей, волнистости и шероховатости          | 6                           | 2                    | 2                    |                 | 2                               |                        |
| 4                   | Общие допуски размеров, формы и расположения поверхностей деталей                                          | 2                           |                      |                      |                 | 2                               |                        |
| 5                   | Допуски и посадки подшипников качения                                                                      | 2                           |                      | 2                    |                 | 2                               |                        |
| 6                   | Размерные цепи, методы решения размерных цепей                                                             | 4                           |                      | 2                    |                 | 2                               |                        |
| 7                   | Нормирование точности, методы и средства контроля гладких конических соединений и углов                    |                             | 2                    |                      |                 | 2                               |                        |
| 8                   | Нормирование точности, методы и средства контроля резьбовых соединений                                     | 4                           | 2                    | 2                    |                 | 2                               |                        |
| 9                   | Нормирование точности, методы и средства контроля штифтовых, шпоночных, шлицевых соединений                | 4                           |                      | 2                    |                 | 2                               |                        |
| 10                  | Нормирование точности, методы и средства контроля зубчатых колёс и червячных передач                       | 4                           | 4                    | 2                    |                 | 4                               |                        |
| 11                  | Основные понятия о метрологии и технических измерениях                                                     | 2                           |                      |                      |                 | 2                               |                        |
|                     | Курсовая работа                                                                                            |                             |                      |                      |                 | 40                              | Защита курсовой работы |
|                     | ИТОГО                                                                                                      | 34                          | 16                   | 16                   |                 | 24                              | 100                    |

## 4. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 4.1 Перечень литературы

Основная:

1. Соломахо В.Л., Цитович Б.В., Соколовский С.С. Нормирование точности и технические измерения: Учебник для студентов учреждений высшего образования по машиностроительным специальностям. – Мн.: Вышэйшая школа, 2015. – 367 с.
2. Марков, Н.Н., Осипов, В.В., Шабалина, М.Б. Нормирование точности в машиностроении: учеб. для машиностроительных специальностей вузов / Под ред. Ю.Н. Соломенцева. 2-е изд. – М.: Высш. шк.; Издательский центр «Академия», 2001. – 335 с.
3. Клименков, С.С. Нормирование точности и технические измерения в машиностроении: учебник / С.С. Клименков. – Мн.: Новое знание, 2013. – 248 с.

Дополнительная:

4. Дунаев, П.Ф., Леликов, О.П. Расчет допусков размеров: Учебное пособие. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 2006. – 400 с.
5. Соломахо В.Л. Нормирование точности и технические измерения: учебное пособие для студентов вузов по машиностроительным специальностям / В.Л. Соломахо, Б.В. Цитович, С.С. Соколовский. – Минск: Издательство Гревцова, 2011. – 359 с.
6. Никифоров, А.Д. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2000. – 510 с.
7. Допуски и посадки: Справочник в 2-х частях / Под ред. М.А. Палея. – 8-е изд. – Спб.: Политехника, 2001. ч.1 – 576 с., ч.2 – 608 с.
8. Допуски и посадки: Учебное пособие. – 3-е изд. / И.И. Анухин – Спб.: Питер, 2004. – 2007 с.
9. Якушев, А.И. и др. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: Учебник для вузов / А.И. Якушев, Л.И. Воронцов, Н.М. Федотов. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 362 с.

4.2. Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения, оборудования для выполнения лабораторных работ

Рекомендуемыми методами обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы проблемного обучения (проблемное изложение, вариативное изложение, частично-поисковый метод), реализуемые на лекционных занятиях;
- элементы учебно-исследовательской деятельности, реализуемые на практических занятиях (или лабораторных занятиях) и при самостоятельной работе;
- коммуникативные технологии (дискуссия, учебные дебаты, «мозговой штурм» и другие формы и методы), реализуемые на практических занятиях и конференциях;

– проектные технологии, используемые при проектировании конкретного объекта, реализуемые при выполнении курсовой работы.

Учебно-методические разработки:

1. Нормирование точности и технические измерения. Методическое пособие к выполнению расчетно-графических и курсовых работ машиностроит. специальностей, 2-е изд. / В.Ф. Григорьев, Ю.А. Хоронжевский – Брест, БрГТУ, 2008. – 69 с.

2. Нормирование точности и технические измерения. Методическое пособие к лабораторным работам для студентов машиностроительных специальностей. Ч.1. Методы и средства линейно-угловых измерений. / В.Ф. Григорьев, Ю.А. Хоронжевский. – Брест, БрГТУ, 2006. – 48 с.

#### 4.3. Перечень средств диагностики результатов учебной деятельности

Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время практических занятий;
- дистанционное компьютерное тестирование для самоконтроля;
- защита выполненных лабораторных работ;
- собеседование при проведении индивидуальных и групповых консультаций;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- защита курсовой работы;
- текущая аттестация;
- сдача экзамена.

В соответствии с Положением о текущей аттестации студентов БрГТУ №5/1 от 8.02.2024г. при изучении разделов курса предусмотрена промежуточная аттестация в виде письменного экзамена, а также текущая аттестация.

Текущая (внутрисеместровая) аттестация предусмотрена в форме контрольной работы с включением вопросов по темам 1-5.

К промежуточной аттестации (экзамену) допускаются студенты, получившие по результатам текущей аттестации положительные оценки.

Результаты текущей аттестации учитываются при проведении промежуточной аттестации по учебной дисциплине. Промежуточная аттестация проводится в письменном виде и включает вопросы по темам 6 – 11.

Экзаменационные вопросы:

1. Сущность, задачи и значение взаимозаменяемости.
2. Функциональная взаимозаменяемость.
3. Виды документов по техническому нормированию в республике Беларусь, их обозначение.
4. Методы нормирования параметров при проектировании.

5. Основные термины и определения по размерам, отклонениям, допускам.
6. Понятие о посадках, зазорах, натягах. Допуск посадки.
7. Основные причины, вызывающие погрешности обработки.
8. Точность деталей по геометрическим параметрам. Точность формы и принцип прилегающих поверхностей.
9. Отклонения формы цилиндрических деталей в продольном сечении.
10. Отклонения формы цилиндрических деталей в поперечном сечении.
11. Отклонения формы плоских деталей.
12. Нормирование точности формы деталей. Обозначение отклонений формы на чертежах.
13. Отклонения взаимного расположения плоскостей.
14. Отклонения взаимного расположения цилиндрических поверхностей.
15. Отклонения взаимного расположения плоскостей.
16. Нормирование точности взаимного расположения. Обозначение допусков расположения на чертежах.
17. Шероховатость поверхности, параметры.
18. Обозначение шероховатости поверхности на чертежах.
19. Влияние шероховатости, волнистости, отклонений формы и расположения на качество деталей.
20. Система допусков и посадок гладких цилиндрических соединений. Семь основных признаков.
21. Система отверстия и система вала. Выбор, примеры применения.
22. Единица допуска. Число единиц допуска.
23. Температурные погрешности размеров деталей. Нормальная температура измерений.
24. Посадки с зазором, выбор.
25. Переходные посадки, выбор.
26. Посадки с натягом, выбор.
27. Общие допуски (размеров с неуказанными допусками).
28. Обозначение на чертежах допусков, предельных отклонений размеров и посадок.
29. Выбор посадок подшипников качения.
30. Предельные калибры для контроля гладких цилиндрических соединений.
31. Размерные цепи. Виды звеньев. Типы задач в теории размерных цепей.
32. Размерные цепи: метод максимума-минимума.
33. Размерные цепи: вероятностный метод.
34. Размерные цепи: метод групповой взаимозаменяемости.
35. Основные параметры резьбы:  $d$ ,  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $P$ ,  $P_n$ ,  $\alpha$ ,  $H_1$ ,  $H_2$ ,  $H, \psi$ .
36. Суммарный допуск среднего диаметра резьбы
37. Резьба метрическая с зазором, допуски.
38. Шпоночные соединения, допуски.
39. Прямобоочные шлицевые соединения, допуски.
40. Эвольвентные шлицевые соединения, допуски.
41. Контроль шлицевых деталей.
42. Классификация зубчатых передач по эксплуатационному назначению.

43. Зубчатые передачи, допуски.
44. Нормы кинематической точности цилиндрических зубчатых передач.
45. Нормы плавности зубчатых колес.
46. Нормы бокового зазора зубчатых колес
47. Нормы константа зубчатых колес.
48. Виды сопряжения зубьев цилиндрических колес в передаче и их допуски.
49. Виды средств измерений по конструктивному исполнению. Метрологические характеристики средств измерений.
50. Расшифровать обозначение: допусков размеров, формы, расположения, шероховатости, резьбы, шлицевого соединения, зубчатого колеса.
51. Точность в машиностроении.
52. Параметры геометрической точности элементов деталей.
53. Основные причины возникновения погрешностей обработки.
54. Достоинства взаимозаменяемого производства.
55. Обязательность и добровольность применения стандартов.
56. Качество продукции машиностроения.
57. Технические кодексы.
58. Технические регламенты.
59. Связь допуска размера с экономикой производства.
60. Схема полей допусков посадки с натягом в системе вала.
61. Характеристика точности посадки.
62. Проходной предел для вала и отверстия.
63. Непроходной предел для вала и отверстия.
64. Основное отклонение.
65. Радиальное биение. Сумму каких отклонений оно составляет.
66. Торцовое биение. Сумму каких отклонений оно включает.
67. В каком месте торцевой поверхности проявляется торцовое биение.
68. Знаки, используемые для указания вида обработки поверхностей.
69. Знаки указания поверхностей, не обрабатываемых по данному чертежу.
70. Направление неровностей поверхности, обозначаемое R и место указания.
71. Область применения посадок с зазором.
72. Область применения посадок с натягом.
73. Область применения переходных посадок.
74. Рассчитать проходной предел для вала  $\varnothing 37k6 \begin{pmatrix} +0.016 \\ -0.002 \end{pmatrix}$
75. Расшифровать обозначение: ГОСТ 30893.2 - mK.
76. Построить условную схему полей допусков посадки  $\varnothing 45 \frac{L0}{n6}$ .
77. Сущность решения размерной цепи
78. Исходное звено размерной цепи.
79. Допуск замыкающего звена размерных цепей при расчете на максимум-минимум.
80. Способы решения проекторочной задачи при решении размерных цепей.
81. Методы расчета размерных цепей при обеспечении неполной взаимозаменяемости.
82. По какому нормативному параметру образуется резьбовое сопряжение.

83. Приведенный средний диаметр резьбы.
84. Какая форма впадины резьбы предпочтительна и почему.
85. Предпочтительная посадка крепёжных резьб.
86. Какие виды посадок применяются в метрических резьбах.
87. Типы шпоночных соединений с призматическими шпонками.
88. Система посадок (вала и отверстия), применяемая в шпоночных соединениях.
89. Способы центрирования прямобочных шлицевых соединений.
90. Преимущества эвольвентных шлицевых соединений по сравнению с прямобочными.
91. Принцип образования бокового зазора зубчатых зацеплений.
92. Обозначение нормального бокового зазора зубчатых зацеплений.
93. Максимальная разность температуры зубчатых колес и корпуса, допускаемая нормальным боковым зазором.

#### 4.4. Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы обучающихся по учебной дисциплине

При изучении дисциплины используются следующие формы самостоятельной работы в соответствии с п. 3 Положения о самостоятельной работе студентов учреждения образования «Брестский государственный технический университет», утвержденный ректором БрГТУ №56 от 01.06.2020:

- самостоятельное изучение тем лекционного курса по литературным источникам и методическим указаниям, имеющимся в библиотеке БрГТУ и указанным в разделе 4 настоящей программы;
- самостоятельная подготовка к выполнению лабораторных работ по методическим указаниям, разработанных на кафедре машиноведения и указанным в разделе 4 настоящей программы;
- самостоятельная работа под контролем преподавателя во время лабораторных занятий по расписаниям и по индивидуальным заданиям;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам.

| <i>Вид самостоятельной работы</i>   | <i>Форма контроля</i>     |
|-------------------------------------|---------------------------|
| Работа над лекционным материалом    | Устный опрос              |
| Подготовка к лабораторным занятиям  | Защита лабораторных работ |
| Подготовка к текущей аттестации     | Контрольная работа        |
| Подготовка к защите курсовой работы | Зачет дифференцированный  |
| Подготовка к сдаче экзамена         | Экзамен                   |

Самостоятельное изучение тем лекционного курса выполняется по следующим литературным источникам:

| Номер темы | Название темы, раздела                                                                                     | Номер литературного источника |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1          | Введение. Стандартизация и качество продукции. Взаимозаменяемость. Методы нормирования точности параметров | [1,2,3]                       |
| 2          | Нормирование и контроль отклонений формы и расположения поверхностей, волнистости и шероховатости          | [1,2,3,9]                     |
| 3          | Нормирование точности и контроль гладких цилиндрических соединений                                         | [1,2,5]                       |
| 4          | Общие допуски размеров, формы и расположения поверхностей деталей                                          | [1, 3]                        |
| 5          | Допуски и посадки подшипников качения                                                                      | [1,2,9]                       |
| 6          | Размерные цепи, методы решения размерных цепей                                                             | [2, 3,9]                      |
| 8          | Нормирование точности, методы и средства контроля гладких конических соединений и углов                    | [3, 6,7]                      |
| 9          | Нормирование точности, методы и средства контроля штифтовых, шпоночных, шлицевых соединений                | [1,2,3]                       |
| 10         | Нормирование точности, методы и средства контроля зубчатых колёс и червячных передач                       | [1,2,9]                       |
| 11         | Основные понятия о метрологии и технических измерениях                                                     | [1,3,5]                       |

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование         | Название кафедры | Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине                                        | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) <sup>1</sup>                                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Детали машин<br>Технологическая оснастка<br>Технология машиностроения | МиЭА             | <p style="text-align: center;">Нет</p> <p style="text-align: center;">Зав. кафедрой МиЭА</p> <p style="text-align: center;">_____<br/>С.В.Монтик</p> | <p style="text-align: center;">Рекомендовать к утверждению (протокол № от )</p> <p style="text-align: center;">Зав. кафедрой машиноведения</p> <p style="text-align: center;">_____<br/>В.М.Голуб</p> |

Содержание учебной программы  
согласовано с выпускающей кафедрой  
Заведующий выпускающей кафедрой,  
кандидат технических наук, доцент \_\_\_\_\_

С.В.Монтик

\_\_\_\_\_