



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

**Кафедра «Стандартизация, метрология
и информационные системы»**

**НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ
(ПРАКТИКУМ)**

Учебное пособие

Часть 1

**Минск
БНТУ
2024**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Стандартизация, метрология и информационные системы»

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ (ПРАКТИКУМ)

Учебное пособие для студентов специальности
1-53 01 01-01 «Автоматизация технологических процессов
и производств (машиностроение и приборостроение)»

В 2 частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
по образованию в области автоматизации технологических процессов,
производств и управления*

Минск
БНТУ
2024

УДК 621.713+621:53.08

ББК 31.41я73

Н83

А в т о р ы :

*В. Л. Соломахо, П. С. Серенков,
С. С. Соколовский, Ю. Б. Спесивцева*

Р е ц е н з е н т ы :

кафедра «Техническое регулирование и товароведение»
УО «Витебский государственный технический университет»
(зав. кафедрой, доктор техн. наук, профессор *А. Н. Буркин*);
доцент кафедры «Стандартизация, метрология и инженерная графика»
«УО Белорусский государственный аграрно-технический университет»,
канд. техн. наук, доцент *А. В. Кудина*

Н83 Нормирование точности и технические измерения (практикум) :
учебное пособие для студентов специальности 1-53 01 01-01 «Автоматизация технологических процессов и производств (машиностроение и приборостроение)» : в 2 ч. / В. Л. Соломахо [и др]. – Минск : БНТУ, 2024. – Ч. 1. – 85 с.

ISBN 978-985-583-976-8 (Ч. 1)

В первой части пособия рассмотрены методики практического использования основных теоретических положений разделов лекционного курса: «Нормирование и контроль точности гладких цилиндрических поверхностей», «Сопряжения и посадки», «Нормирование и контроль точности формы и расположения поверхностей», «Нормирование и контроль точности конических поверхностей и углов призматических элементов деталей» – при выборе и назначении норм точности на соответствующие размерные элементы деталей. Рекомендации, приведенные в учебном пособии, могут быть также использованы для самостоятельной работы студентов как дневного, так и заочного отделений высших учебных заведений по дисциплинам «Нормирование точности и технические измерения», «Стандартизация норм точности», «Взаимозаменяемость и техническое нормирование».

УДК 621.713+621:53.08

ББК 31.41я73

ISBN 978-985-583-976-8 (Ч. 1)

ISBN 978-985-583-977-5

© Белорусский национальный
технический университет, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	4
Практическая работа № 1. Расчет предельных размеров размерного элемента детали.....	5
Практическая работа № 2. Расчет параметров посадки с зазором (натягом).....	16
Практическая работа № 3. Расчет параметров переходной посадки.....	29
Практическая работа № 4. Нормирование точности формы и расположения функциональных поверхностей деталей.....	38
Практическая работа № 5. Нормирование точностных требований к угловым размерам размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностями.....	60
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	73
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	85

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие подготовлено в соответствии с типовой программой дисциплины «Нормирование точности и технические изменения» и ориентировано на подготовку специалистов в области машиностроения и автотракторостроения.

Материалы, представленные в рассматриваемом пособии, охватывают первую часть дисциплины и включают пять практических работ, направленных на изучение методик расчета предельных размеров геометрических элементов деталей, расчет параметров посадок, нормирование точности формы и расположения функциональных поверхностей деталей, а также нормирование точностных требований к угловым и коническим размерным элементам поверхностей.

Количество практических работ может корректироваться в соответствии с количеством занятий, предусмотренных учебным планом подготовки специалистов по конкретной специальности.

Отличительной особенностью представленного пособия является структурирование каждой практической работы, которое предполагает:

- ознакомление с содержанием основополагающих стандартов в изучаемой области;
- изучение терминов и определений;
- детальное рассмотрение практических примеров расчета параметров либо методики назначения точностных требований на отдельные, функционально важные, размерные элементы деталей;
- изучение вариантов обозначения размеров или точностных требований на чертеже.

Наличие в учебном пособии приложений, необходимых для выполнения практических работ, позволяет максимально эффективно использовать учебное время для освоения соответствующего раздела дисциплины.

Пособие предполагает возможность самостоятельной работы студентов с использованием дополнительных заданий. Наличие контрольных вопросов по каждой практической работе позволяет проводить текущую оценку степени освоения соответствующего раздела дисциплины.

Практическая работа № 1

РАСЧЕТ ПРЕДЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ РАЗМЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА ДЕТАЛИ

Цель работы: изучить методику расчета предельных размеров размерного элемента детали.

Решаемые задачи:

1. Ознакомиться со структурой и содержанием ГОСТ 25346, ГОСТ 25347 и ГОСТ 30893.1.
2. Изучить термины и определения в области нормирования точности размерных элементов гладких цилиндрических поверхностей.
3. В соответствии с заданным размером детали, используя ГОСТ 25346, построить интервал допуска и определить предельные размеры размерного элемента детали.
4. Изучить варианты обозначения размеров на чертеже.

Общие положения

Межгосударственный стандарт ГОСТ 25346-2013 «Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски и посадки» устанавливает систему допусков на линейные размеры следующих геометрических элементов деталей: плоскость, цилиндр, сфера. Стандарт также включает термины и определения, относящиеся к сопряжениям, образуемым двумя размерными элементами.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 25347-2013 «Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков и посадок на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов» содержит числовые значения предельных отклонений валов и отверстий, определенных на основании ГОСТ 25346. Стандарт устанавливает поля допусков валов и отверстий, которые являются предпочтительными для общего применения, из всей совокупности полей допусков, которые могут быть получены различным сочетанием основных отклонений и допусков по ГОСТ 25346.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 30893.1-2002 «Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками» уста-

навливает общие допуски для линейных и угловых размеров, если эти допуски не указаны непосредственно у номинальных размеров.

Размерный элемент – это геометрическая форма, определяемая чертежом, ограниченная линейным или угловым размером. Под термином **размер** будем понимать числовое значение линейной (или угловой) величины в выбранных единицах измерения, объединяющий такие геометрические параметры изделий, как диаметры, высоты, толщины, глубины и т. д. (рис. 1.1).

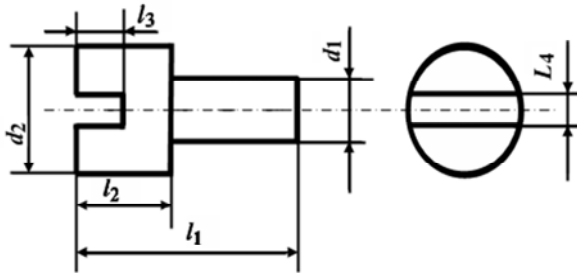


Рис. 1.1. Элементы изделия, объединяемые термином «длина»

В соединении деталей, входящих одна в другую, различают внутренние (охватывающие) и наружные (охватываемые) размерные элементы.

Вал – термин, условно применяемый для обозначения любых наружных размерных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы (рис. 1.2). Все обозначения размерных элементов деталей, подпадающих под термин «вал», записываются строчными буквами (например d_1 , l_1 и т. д.).

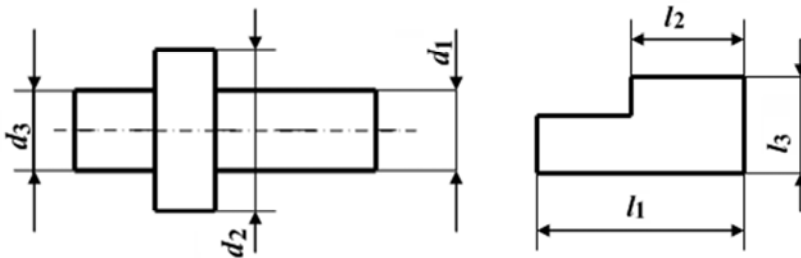


Рис. 1.2. Наружные размерные элементы деталей (валы)

Отверстие – термин, условно применяемый для обозначения любых внутренних размерных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы (рис. 1.3). Все обозначения размерных элементов деталей, подпадающих под термин «отверстие», записывают прописными буквами (например D_1 , L_1 и т. д.).

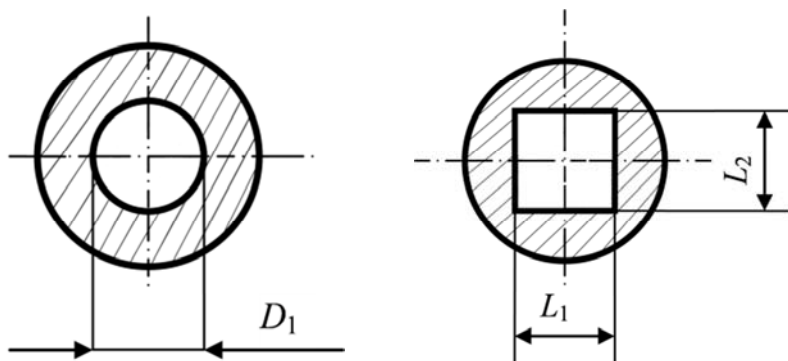


Рис. 1.3. Внутренние размерные элементы деталей (отверстия)

Номинальный размер – размер геометрического элемента детали «идеальной формы», определяемый чертежом.

Действительный размер – размер геометрического элемента детали, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Указанные на чертеже размеры не могут быть выполнены абсолютно точно, поскольку в процессе изготовления проявляется нестабильность физико-механических характеристик материала заготовки, происходит износ режущего инструмента, изменение температуры в зоне обработки и окружающей среды и т. д. Поэтому в процессе изготовления размеры будут незначительно изменяться от детали к детали. Однако существует возможность практического определения такого диапазона варьирования размеров, в пределах которого их изменение не приведет к «ухудшению» качества функционирования изделия. Зная допустимый диапазон варьирования размеров, можно определить размеры, его ограничивающие.

Предельные размеры – два предельно допустимых размера размерного элемента, между которыми должен находиться (или одному из которых может соответствовать) действительный размер годной детали (рис. 1.4).

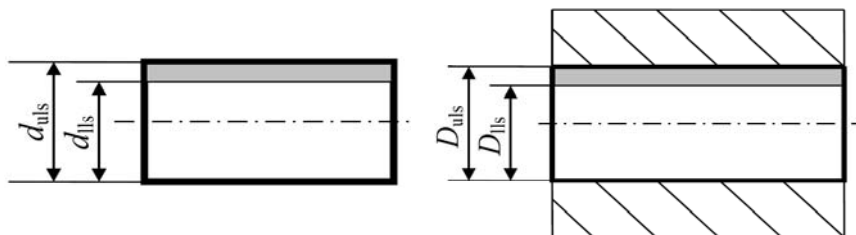


Рис. 1.4. Предельные размеры вала и отверстия

Нижний предельный размер – это наименьший допустимый размер размерного элемента (D_{ils} , d_{ils} на рис. 1.4), **верхний предельный размер** – наибольший допустимый размер размерного элемента (D_{uls} , d_{uls} на рис. 1.4).

Отклонение – алгебраическая разность между размером (действительным или предельным) и опорным значением размера. При расчете размеров и отклонений за опорный принимают номинальный размер.

Различают следующие виды отклонений:

1) **действительное отклонение** – алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размером;

2) **предельное отклонение** – алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размером:

– **верхнее предельное отклонение** (для отверстий – ES, для валов – es) – алгебраическая разность между верхним предельным и соответствующим номинальным размерами $ES = D_{uls} - D$; $es = d_{uls} - d$;

– **нижнее предельное отклонение** (для отверстий EI, для валов – ei) – алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами $EI = D_{ils} - D$, $ei = d_{ils} - d$.

Основным отклонением является одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), ближайшее к номинальному значению размера.

Допуск T – разность между наибольшими и наименьшими предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями. Допуск (величина заведомо положительная) определяет диапазон допустимого рассеивания действительных размеров годных деталей. Чем меньше диапазон рассеивания (допуск параметра), тем выше точность изготовления.

Допуск вала будем обозначать T_d , а допуск отверстия, соответственно, T_D .

$$T_D = D_{\text{uls}} - D_{\text{lls}};$$

$$T_d = d_{\text{uls}} - d_{\text{lls}}.$$

Интервал допуска – это совокупность размеров, ограниченная предельными размерами, включая эти пределы.

Стандартный допуск IT – любой из допусков, установленный данной системой допусков (т. е. указанный в стандарте).

Общий допуск размера – термин, распространяемый на допуски линейных или угловых размеров, указываемый общей записью в технических требованиях. Общий допуск применяется в тех случаях, когда предельные отклонения (интервалы допусков) не указаны индивидуально у соответствующих номинальных размеров непосредственно на чертеже.

Примечание: общий допуск размера зависит от значения номинального размера.

Методика расчета предельных размеров размерного элемента

Методику рассмотрим на примере расчета предельных размеров вала $\varnothing 20 f7$.

Расчет размеров будем проводить в следующей последовательности:

1. Используя прил. 1, определим положение основного отклонения f и интервала допуска ($f7$) относительно номинального размера (нулевой линии).

2. Для номинального размера $\varnothing 20$, используя прил. 2, определим значение основного (верхнего) отклонения (f): $es = -20$ мкм.

3. Зная номинальный размер ($\varnothing 20$) и качество допуска ($f7$), по таблице прил. 3 определим значение допуска: 21 мкм.

4. Определим нижнее предельное отклонение, в соответствии со схемой прил. 1, следующим образом:

$$ei = es - IT = -20 - 21 = -41 \text{ мкм.}$$

5. Рассчитаем верхний предельный размер размерного элемента:

$$d_{\text{uls}} = d_0 + es = 20,000 + (-0020) = 19,980 \text{ мм.}$$

6. Рассчитаем нижний предельный размер размерного элемента:

$$d_{\text{нлс}} = d_0 + ei = 20,000 + (-0041) = 19,959 \text{ мм.}$$

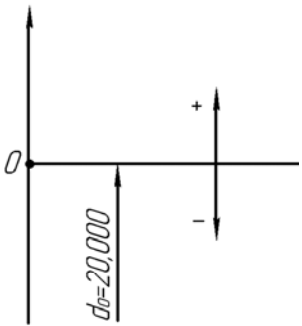
Методика построения интервала допуска

Сравнение двух или нескольких взаимодействующих элементов деталей существенно упрощается, если допустимый диапазон изменения размеров деталей можно показать схематически, в виде интервала допуска, без изображения самой детали. При графической интерпретации (на схемах) интервал допуска можно представить в виде поля, заключенного между двумя линиями, эквидистантными профилю номинальной поверхности, которые соответствуют верхнему предельному и нижнему предельному размерам (или верхнему предельному и нижнему предельному отклонениям). Интервал допуска характеризуется высотой и положением относительно опорного значения (которым, как правило, является номинальный размер). На схемах номинальный размер представлен «нулевой» линией, которая обычно располагается горизонтально и задает некоторую систему отсчета.

Построим схематичное изображение интервала допуска $\varnothing 20 f7$. Пошаговый алгоритм процедуры представлен в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Алгоритм построения интервала допуска

$N_{\text{шага}}$	Содержание процедуры	Графическое представление
1	Проведем вертикально числовую ось и, в принятом нами масштабе, определим точку O . Проведенная через точку O горизонтальная прямая будет соответствовать номинальному значению (эта горизонталь обычно называется «нулевой линией»). От «нулевой линии» отсчитываются отклонения: вверх – положительные, вниз – отрицательные	

$N_{\text{шага}}$	Содержание процедуры	Графическое представление
2	Отложим верхнее предельное отклонение ($es = -20$). Через полученную точку проведем отрезок горизонтальной прямой. Аналогичным образом определим положение точки, соответствующей нижнему предельному отклонению ($ei = -41$), через которую также проведем отрезок горизонтальной прямой	
3	Соединим вспомогательными вертикальными отрезками проведенные горизонтали. Заключенные в прямоугольник, расположенный определенным образом относительно «нулевой линии», отрезки горизонтальных прямых представляют собой интервал допуска. <i>Примечание:</i> при контроле все детали, действительные размеры которых находятся в пределах интервала допуска или совпадают с границами этого интервала, соответствуют годным	
4	Проведем размерные линии и обозначим верхний предельный размер (d_{uls}), нижний предельный размер (d_{lls}), верхнее предельное отклонение (es), нижнее предельное отклонение (ei), стандартный допуск (IT7). <i>Примечание:</i> на схемах все размеры указываются в миллиметрах, все отклонения – в микрометрах	

Обозначение размеров на чертеже

Основанием для определения величины изображенного изделия или его размерных элементов служат размеры. При обозначении размеров непосредственно у размерного элемента (индивидуально) указывается номинальный размер, а для придания изделию свойства взаимозаменяемости – точность изделия, задаваемая интервалом допуска.

В связи с тем, что интервал допуска может указываться несколькими способами, предусмотрено несколько вариантов обозначения размеров на чертеже. Возможные варианты рассмотрим на примере обозначения размера $\varnothing 20 f7$ (рис. 1.5):

– в первом варианте (рис. 1.5, а) интервал допуска размерного элемента обозначается буквенно-цифровыми символами в следующей последовательности: номинальный размер, основное отклонение (буквой), качество (цифрой);

– во втором (рис. 1.5, б) – номинальным размером и числовыми значениями предельных отклонений в миллиметрах (верхнее отклонение указывается сверху, нижнее – снизу); отклонение, равное нулю, указывается;

– третий вариант (рис. 1.5, в) включает в себя комбинацию двух предыдущих, значения отклонений при этом указывают в скобках.

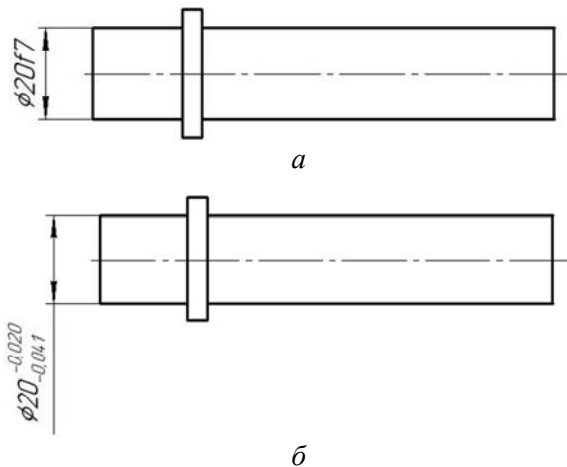
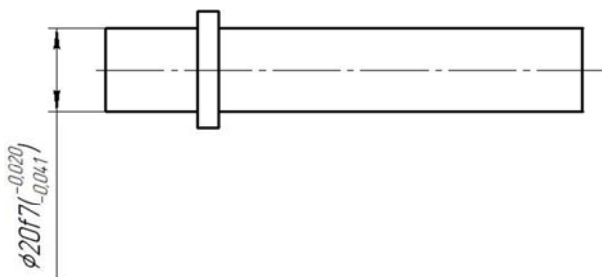


Рис. 1.5. Варианты обозначения размера на чертежах



6

Рис. 1.5. Окончание

Некоторые размерные элементы на чертежах (рис. 1.6) могут иметь только номинальные значения размеров. Это возможно в случаях, когда требования к точности размерного элемента детали «относительно» невысоки. Таким размерным элементам устанавливается одинаковая точность и, соответственно, общий допуск размера (по ГОСТ 30893.1-2002).

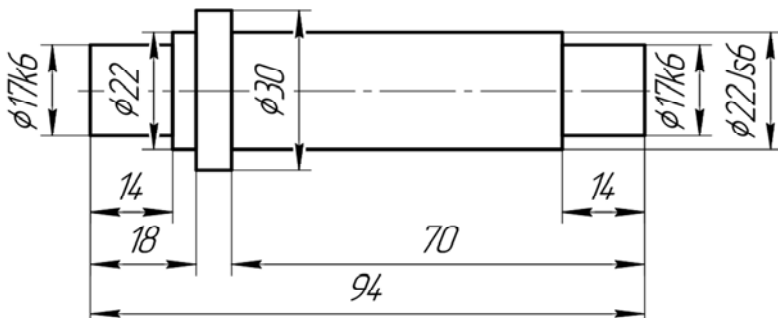


Рис. 1.6. Деталь, имеющая размерные элементы с неуказанными требованиями к их точности

Общие допуски размеров устанавливаются, в зависимости от конструктивных и технологических соображений, по четырем классам точности:

- точный – f ;
- средний – m ;
- грубый – c ;
- очень грубый – v .

Примечание: требования к нормированию общих допусков распространяются на металлические детали, изготовленные резанием, и на детали, изготовленные формообразованием из листового металла.

Числовые значения общих допусков линейных размеров приведены в прил. 4.

К размерным элементам вала, изображенного на рис. 1.6, подпадающим под нормирование точности по ГОСТ 30893.1, следует отнести:

- диаметры $\varnothing 22$, $\varnothing 30$;
- линейные размеры 14, 18, 70, 94.

Установим общий класс точности для этих размеров – средний (*m*). Тогда на основании прил. 4 определим стандартные допуски на эти размерные элементы с учетом их номинальных размеров:

- 14, 18, $\varnothing 22$, $\varnothing 30$ – 0,2 мм;
- 70, 90 – 0,3 мм.

Ссылка на общие допуски линейных и угловых размеров, указываемая записью в технических требованиях, должна содержать номер стандарта и буквенное обозначение класса точности, например, для класса точности средний:

- «Общие допуски по ГОСТ 30893.1 – *m*»;
- «ГОСТ 30893.1 – *m*».

Дополнительные задания

Задание 1. Рассчитать предельные размеры размерного элемента $\varnothing 72$ S9 и построить схематическое изображение интервала допуска.

Задание 2. Рассчитать предельные размеры размерного элемента $\varnothing 40$ K7 и построить схематическое изображение интервала допуска.

Задание 3. Определить, какие размеры из представленного ряда действительных размеров, полученных при изготовлении детали 30 h8, соответствуют размерам годной детали:

29,992; 29,987; 30,000; 29,996; 30,002; 29,996; 29,977;
29,969; 29,971; 29,988; 29,967; 29,961; 29,960; 29,980.

Задание 4. К заданным размерным элементам детали, с учетом номинального размера и класса точности, определить общие допуски и сформулировать запись в технических требованиях.

Вопросы для самоконтроля

1. Какими терминами обозначаются элементы деталей, образующие соединения?
2. Как определяются номинальные и действительные размерные элементы деталей?
3. Что такое допуск и как определить его величину?
4. Какие бывают отклонения у размерных элементов, какое отклонение является основным?
5. В чем отличие допуска от интервала допуска?
6. Как обозначаются размеры на чертеже?
7. Как нормируется и обозначается на чертеже точность размеров, имеющих общие допуски?
8. Какие действительные размеры соответствуют размерам «годной» детали?
9. Как построить интервал допуска?

Практическая работа № 2

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОСАДКИ С ЗАЗОРОМ (НАТЯГОМ)

Цель работы: изучить методику расчета параметров посадки с зазором (натягом).

Решаемые задачи:

1. Определить предельные размеры сопрягаемых поверхностей.
2. Построить схему расположения интервалов допусков вала и отверстия.
3. Рассчитать параметры посадки, определив предельные и вероятностные зазоры (натяги), и обозначить их на схеме расположения интервалов допусков вала и отверстия.
4. Изучить варианты обозначения посадок на чертеже.

Общие положения

Две детали, сопряженные друг с другом, образуют соединение. Поверхности, по которым происходит соединение деталей, являются сопрягаемыми поверхностями.

По степени свободы взаимного перемещения деталей различают:

- неподвижные неразъемные соединения;
- неподвижные разъемные соединения;
- подвижные соединения.

В неподвижных неразъемных соединениях сопрягаемые детали не перемещаются относительно друг друга в течение всего срока эксплуатации механизма. В случае разборки такого соединения его повторная сборка невозможна.

Неподвижные разъемные соединения характеризуются неподвижностью одной сопрягаемой детали относительно другой в период работы механизма. В ходе эксплуатации механизма возможна разборка соединения с целью его регулировки или ремонта и повторная сборка.

В подвижных соединениях предполагается взаимное перемещение сопрягаемых деталей во время работы механизма. Соединение легко разбирается, например для технического обслуживания или ремонта, и повторно собирается.

По способу образования различают посадки:

- в системе основного отверстия;
- в системе основного вала.

Посадка – характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки.

Номинальный размер посадки – номинальный размер, общий для отверстия и вала, составляющих соединение.

Посадка характеризует большую или меньшую свободу относительного перемещения или степень сопротивления взаимному смещению соединяемых деталей. Вид посадки определяется соотношением действительных размеров отверстия и вала и иллюстрируется определенным взаимным расположением интервалов допусков отверстия и вала. Различают посадки с зазором, посадки с натягом и переходные посадки.

Посадка с зазором – посадка, реализация которой всегда приводит к образованию зазора в соединении, т. е. нижний предельный размер отверстия больше верхнего предельного размера вала или равен ему.

Зазор S – разность между размерами отверстия и вала, если размер отверстия больше размера вала (рис. 2.1).

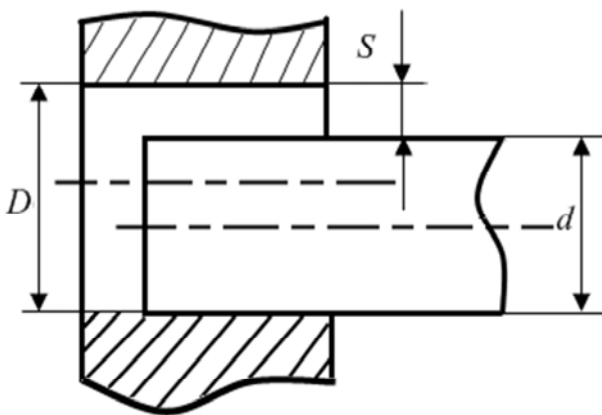


Рис. 2.1. Графическая интерпретация термина «зазор»

При графическом изображении посадки с зазором поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала (рис. 2.2).

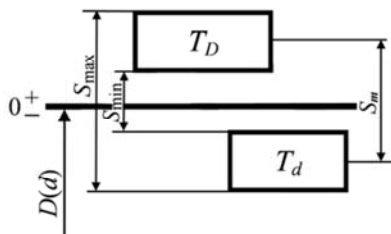


Рис. 2.2. Графическая интерпретация максимального (S_{\max}), минимального (S_{\min}) и среднего (S_m) зазоров

Различают наименьший S_{\min} и наибольший S_{\max} зазоры (рис. 2.2).

Наименьший зазор – разность между нижним предельным размером отверстия и верхним предельным размером вала в посадке с зазором (т. е. в случае, когда размер отверстия больше размера вала).

$$S_{\min} = D_{\text{lls}} - d_{\text{uls}}.$$

Наибольший зазор – разность между верхним предельным размером отверстия и нижним предельным размером вала в посадке с зазором.

$$S_{\max} = D_{\text{uls}} - d_{\text{lls}}.$$

Для количественной характеристики посадки прибегают также к расчету **среднего зазора** S_m :

$$S_m = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}.$$

Натяг N – разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия (рис. 2.3).

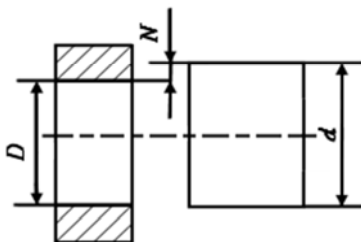


Рис. 2.3. Графическая интерпретация термина «натяг»

Посадка с натягом – посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т. е. верхний предельный размер отверстия меньше нижнего предельного размера вала. При графическом представлении посадки с натягом поле допусков отверстия расположено под полем допусков вала.

Наименьший натяг – разность между верхним предельным размером отверстия и нижним предельным размером вала до сборки в посадке с натягом (т. е. в случае, когда размер отверстия меньше размера вала) (рис. 2.4).

$$N_{\min} = D_{\text{uls}} - d_{\text{lls}}$$

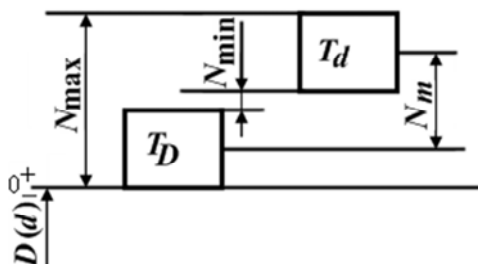


Рис. 2.4. Графическая интерпретация максимального (N_{\max}), минимального (N_{\min}) и среднего (N_m) зазоров

Наибольший натяг – разность между нижним предельным размером отверстия и верхним предельным размером вала до сборки в посадке с натягом (рис. 2.4).

$$N_{\max} = D_{\text{lls}} - d_{\text{uls}}$$

Средний натяг N_m равен полусумме наибольшего и наименьшего натягов (рис. 2.4).

$$N_m = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}$$

Посадка в системе основного отверстия – посадка, у которой основное (нижнее предельное) отклонение отверстия равно нулю.

Посадки в системе основного отверстия образуются путем сопряжения отверстия, имеющего интервал допусков, у которого основное

(нижнее предельное) отклонение равно нулю, с валами, изменение интервалов допусков которых при неизменном интервале допуска отверстия обеспечивает различный характер сопряжения (зазор или натяг). При этом используются интервалы допусков валов, которые являются предпочтительными для общего применения, из всей совокупности интервалов допусков, которые могут быть получены различным сочетанием основных отклонений и допусков по ГОСТ 25346 (рис. 2.5).

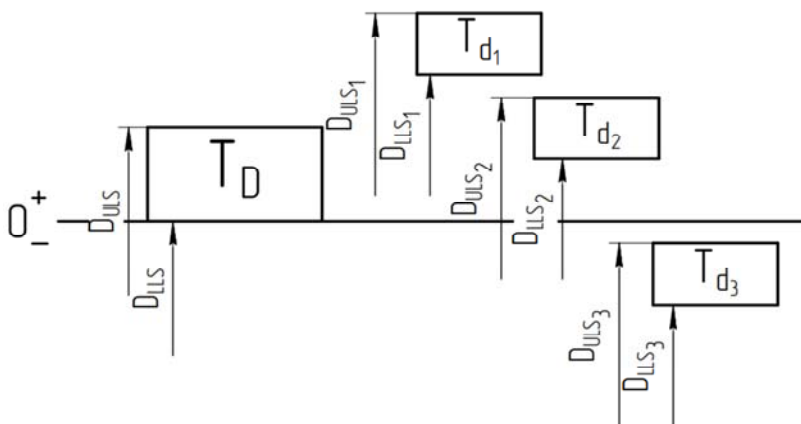


Рис. 2.5. Пример расположения интервалов допусков валов при образовании различного характера посадок (сопряжений) в системе основного отверстия

Посадка в системе основного вала – посадка, у которой основное (верхнее предельное) отклонение вала равно нулю.

Посадки в системе основного вала образуются путем сопряжения вала, имеющего интервал допуска, у которого основное (верхнее предельное) отклонение равно нулю, с отверстиями, изменение интервалов допусков которых при неизменном интервале допуска вала обеспечивает различный характер сопряжения (зазор или натяг).

При этом используются интервалы допусков отверстий, которые являются предпочтительными для общего применения, из всей совокупности интервалов допусков, которые могут быть получены различным сочетанием основных отклонений и допусков по ГОСТ 25346 (рис. 2.6).

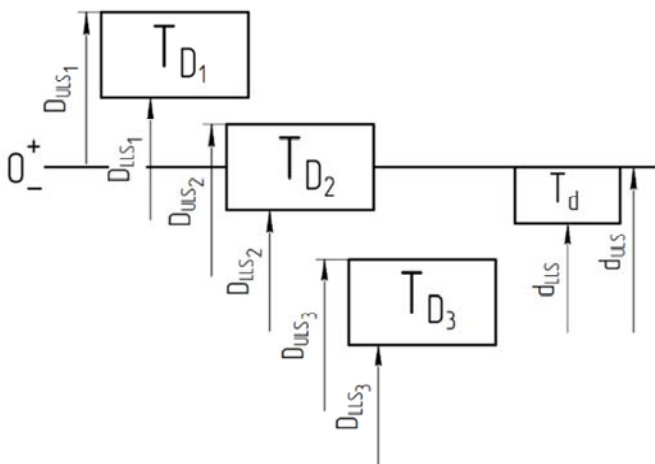


Рис. 2.6. Пример расположения интервалов допусков отверстий при образовании различного характера посадок (сопряжений) в системе основного вала

Методика расчета параметров посадки с зазором (натягом)

При применении стабильных, статистически управляемых технологических процессов изготовления деталей, образующих соединения, размеры сопрягаемых деталей распределены по нормальному закону, а центр группирования каждого из размеров практически совпадает с координатой середины поля допуска. При нормальном распределении параметра 99,73% всех его значений (с доверительной вероятностью 0,99) попадают в диапазон рассеивания, ограниченный значением шести стандартных отклонений ($\pm 3\sigma$). На долю несоответствующих единиц продукции в этом случае будет приходиться 0,27% деталей, что для условий машиностроительного производства является малозначимым. Такой подход позволяет считать, что диапазон рассеивания параметра равен допуску (т. е. $T = 6\sigma$). Тогда стандартное отклонение значений нормируемого параметра можно рассчитать по приближенной формуле как шестую часть допуска размерного элемента:

$$\sigma_d = T_d / 6;$$

$$\sigma_D = T_D / 6.$$

Стандартное отклонение посадки получим путем геометрического суммирования стандартных отклонений размеров вала и отверстия:

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2} = \sqrt{\left(\frac{IT_D}{6}\right)^2 + \left(\frac{IT_d}{6}\right)^2}.$$

В условиях реального производства вероятность одновременного попадания на сборку сопрягаемых деталей, каждая из которых имеет предельные (максимальный или минимальный) размеры, весьма мала. Поэтому наряду с предельными зазорами (натягами) рассчитывают так называемые вероятностные зазоры (натяги).

В основу их расчета положены следующие соображения. Так как зазор (натяг) – это разность между диаметрами отверстия и вала, то при распределении размеров в партии деталей по нормальному закону сами зазоры (натяги) также будут распределены по нормальному закону, а центр группирования зазоров (натягов) будет соответствовать среднему значению зазора (натяга). Тогда значения вероятностных зазоров можно рассчитать следующим образом:

$$S_{\max.в} = S_m + 3\sigma_S;$$

$$S_{\min.в} = S_m - 3\sigma_S.$$

Предельные значения вероятностных натягов, соответственно, определяются:

$$N_{\max.в} = N_m + 3\sigma_S;$$

$$N_{\min.в} = N_m - 3\sigma_S.$$

Пример расчета посадки с зазором

Расчет посадок с зазором или натягом проводится по одному и тому же алгоритму. Последовательность расчета рассмотрим на примере определения параметров посадки с зазором $\varnothing 48H8/e7$.

Рассчитаем предельные размеры отверстия $\varnothing 48H8$, с этой целью: – в соответствии со схемой расположения основных отклонений (прил. 1), уточним расположение основного (нижнего предельного) отклонения относительно нулевой линии, а используя прил. 5, определим его величину $EI = 0$ мкм;

– для номинального размера $\varnothing 48$, используя прил. 3, определим значение допуска $IT8 = 39$ мкм;

– определим значение верхнего предельного отклонения следующим образом:

$$ES = EI + IT8 = 0 + 39 = 39 \text{ мкм};$$

– рассчитаем верхний предельный размер отверстия:

$$D_{uls} = D_0 + ES = 48,000 + 0,039 = 48,039 \text{ мм};$$

– рассчитаем нижний предельный размер отверстия:

$$D_{lls} = D_0 + EI = 48,000 + 0,000 = 48,000 \text{ мм}.$$

Аналогично рассчитываем предельные размеры вала $\varnothing 48e7$.

Используя прил. 1, 2, 3, последовательно определим:

– положение основного (верхнего) отклонения вала и его величину: $es = -50$;

– значение допуска 7 квалитета для номинального размера $\varnothing 48$: $IT = 25$ мкм;

– значение нижнего отклонения вала: $ei = es - IT7 = -50 - 25 = -75$ мкм;

– значение верхнего предельного размера вала:

$$d_{uls} = d_0 + es = 48,000 - 0,050 = 47,950 \text{ мм};$$

– значение нижнего предельного размера вала:

$$d_{lls} = d_0 + ei = 48,000 - 0,075 = 47,925 \text{ мм}.$$

Результаты расчетов представим в табличной форме (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Расчет предельных размеров сопряжения

Размер	IT, мкм	ES (es), мкм	EI (ei), мкм	$D_{lls}(d_{lls})$, мм	$D_{uls}(d_{uls})$, мм
$\varnothing 48H8$	39	39	0	48,000	48,039
$\varnothing 48e7$	25	-50	-75	47,925	47,950

Рассчитаем значения предельных зазоров:

$$S_{\max} = D_{\text{uls}} - d_{\text{lls}} = 48,039 - 47,925 = 0,114 \text{ мм};$$

$$S_{\min} = D_{\text{lls}} - d_{\text{uls}} = 48,000 - 47,950 = 0,050 \text{ мм}.$$

Определим средний зазор, который в нашем случае будет равен:

$$S_m = (S_{\max} + S_{\min}) / 2 = (0,114 + 0,050) / 2 = 0,082 \text{ мм}.$$

Строим схему расположения интервалов допусков сопрягаемых деталей и обозначим предельные и средний зазоры в рассматриваемой посадке (рис. 2.7).

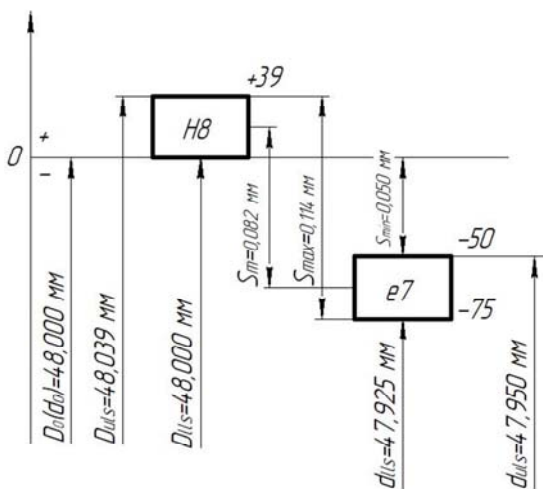


Рис. 2.7. Схема расположения интервалов допусков вала Ø48e7 и отверстия Ø48H8, наибольшего предельного (S_{\max}), наименьшего предельного (S_{\min}) и среднего (S_m) зазора в посадке

Определим допуск посадки:

$$T_S = IT_D + IT_d = 0,039 + 0,025 = 0,064 \text{ мм}.$$

Стандартные отклонения значений нормируемых параметров определяются как шестая часть допуска размерного элемента, а стандартное отклонение посадки – путем геометрического суммирования стандартных отклонений размеров вала и отверстия.

Рассчитаем предельные значения вероятных зазоров:

$$\sigma_d = T_d / 6 = 39 / 6 = 6,5 \text{ мкм};$$

$$\sigma_D = T_D / 6 = 25 / 6 = 4,15 \text{ мкм};$$

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2} = \sqrt{(6,5)^2 + (4,15)^2} = 7,71 \text{ мкм}.$$

Тогда наибольший вероятностный зазор будет равен:

$$S_{\max.в} = S_m + 3\sigma_S = 82 + 3 \cdot 7,71 = 105,13 \text{ мкм} = 0,105 \text{ мм},$$

а наименьший, соответственно:

$$S_{\min.в} = S_m - 3\sigma_S = 82 - 3 \cdot 7,71 = 58,87 \text{ мкм} = 0,059 \text{ мм}.$$

Порядок построения схемы представления предельных зазоров и распределения вероятностных зазоров сопрягаемых деталей

Построение схемы представления предельных зазоров и распределения вероятностных зазоров сопрягаемых деталей осуществляется в следующем порядке (табл. 2.2).

Таблица 2.2

Порядок построения схемы представления предельных зазоров и распределения вероятностных зазоров сопрягаемых деталей

N шага	Содержание процедуры	Графическое представление
1	Проведем горизонтально размерную линию и, установив точку 0, зададим систему координат (систему отсчета). От начала координат, с учетом знака в принятом масштабе, отложим отрезки, соответствующие рассчитанному максимальному (S_{\max}) и минимальному (S_{\min}) зазорам	

№ шага	Содержание процедуры	Графическое представление
2	От начала координат (с учетом знака) отложим отрезок, соответствующий среднему зазору (S_m)	
3	От точки, соответствующей среднему зазору, вправо и влево от S_m отложим отрезки, равные 3σ . Полученные на числовой оси точки обозначим как $S_{\max,в}$ и $S_{\min,в}$	
4	Принимая во внимание, что при нормальном законе распределения наиболее ожидаемое значение зазора будет соответствовать S_m , проведем кривую, распределения плотности вероятности значений зазоров в сопряжении $\varnothing 48H8/e7$ от $S_{\min,в}$ до $S_{\max,в}$	

Для рассчитываемой посадки $\varnothing 48H8/e7$ схема представления предельных зазоров и распределения вероятностных зазоров сопрягаемых деталей, в соответствии с предложенной методикой, представлена на рис. 2.8.

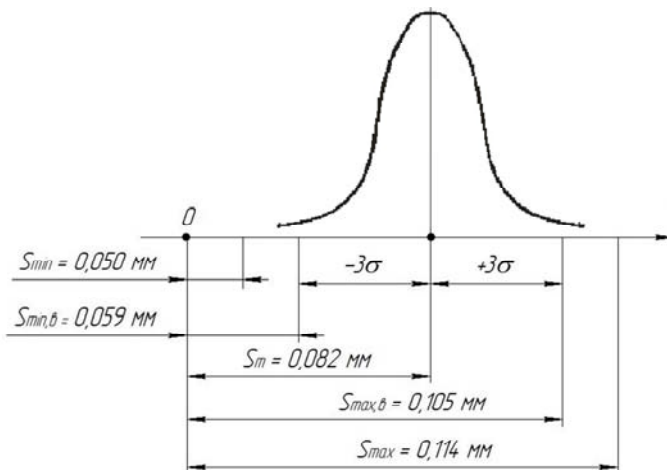


Рис. 2.8. Схема представления предельных зазоров и распределения вероятностных зазоров сопрягаемых деталей

Варианты обозначения посадок на чертежах

Посадки в технической документации можно указывать несколькими способами (рис. 2.9):

– в первом варианте (рис. 2.9, а) интервалы допусков отверстия и вала обозначаются в виде дроби буквенно-цифровыми символами (интервал допуска отверстия в числителе дроби, интервал допуска вала – в знаменателе);

– во втором (рис. 2.9, б) – числовыми значениями предельных отклонений в миллиметрах (верхнее отклонение пишется сверху, нижнее – снизу);

– третий вариант (рис. 2.9, в), включает в себя оба предыдущих.

Ø48 H8/e7;

+0,021
0
Ø20 — ;
-0,007
-0,028

H7^(+0,021)₀
Ø20 — .
g7^(-0,007)_(-0,028)

а

б

в

Рис. 2.9. Варианты обозначения посадок на чертежах

Дополнительные задания

Задание 1. Рассчитать параметры посадки $\varnothing 26H7/s6$, определив предельные и вероятностные зазоры (натяги), и построить схему распределения вероятностных зазоров (натягов).

Задание 2. Определить вероятностные зазоры (натяги) посадки $\varnothing 72 T7/h6$ и построить схему распределения вероятностных зазоров (натягов).

Вопросы для самоконтроля

1. Как классифицируются посадки по степени свободы взаимного перемещения деталей?
2. Что такое посадка, зазор, натяг?
3. Как определяются предельные зазоры и натяги посадки?
4. Что такое допуск посадки и как определить его величину?
5. Как образуются посадки в системе основного отверстия и в системе основного вала?
6. Как обозначаются посадки на чертежах?
7. Как рассчитываются вероятностные зазоры (натяги)?
8. Как построить схему представления предельных зазоров (натягов) и распределения вероятностных зазоров (натягов) сопрягаемых деталей?

Практическая работа № 3

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДНОЙ ПОСАДКИ

Цель работы: изучить методику расчета параметров переходной посадки.

Решаемые задачи:

1. Рассчитать параметры переходной посадки, определив предельные зазоры и натяги.
2. Изучить методику определения вероятностных зазоров и натягов.
3. Рассчитать вероятность образования посадок с зазором (натягом) и построить схему распределения вероятностных зазоров и натягов.

Общие положения

Переходная посадка – это термин, обозначающий характеристику сопряжений, у которых в зависимости от действительных размеров валов и отверстий, образующих соединение, с большей или меньшей вероятностью будет наблюдаться зазор или натяг (рис. 3.1). При этом в конкретном сопряжении двух деталей (имеющих «индивидуальные» действительные размеры) может быть либо зазор, либо натяг.

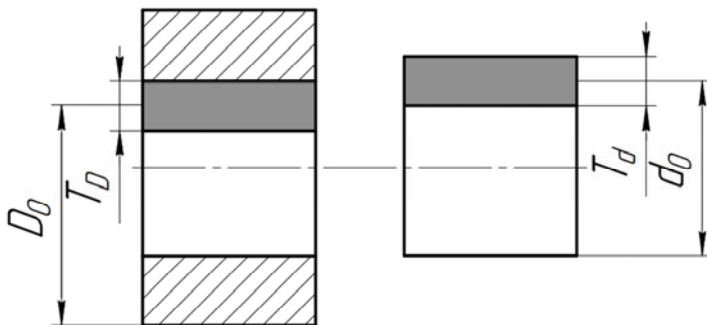


Рис. 3.1. Графическая интерпретация соотношения размеров отверстия и вала при реализации переходной посадки

При графическом изображении интервалов допусков отверстия и вала, образующих переходную посадку, они перекрываются полностью или частично (рис. 3.2, а, б, в).

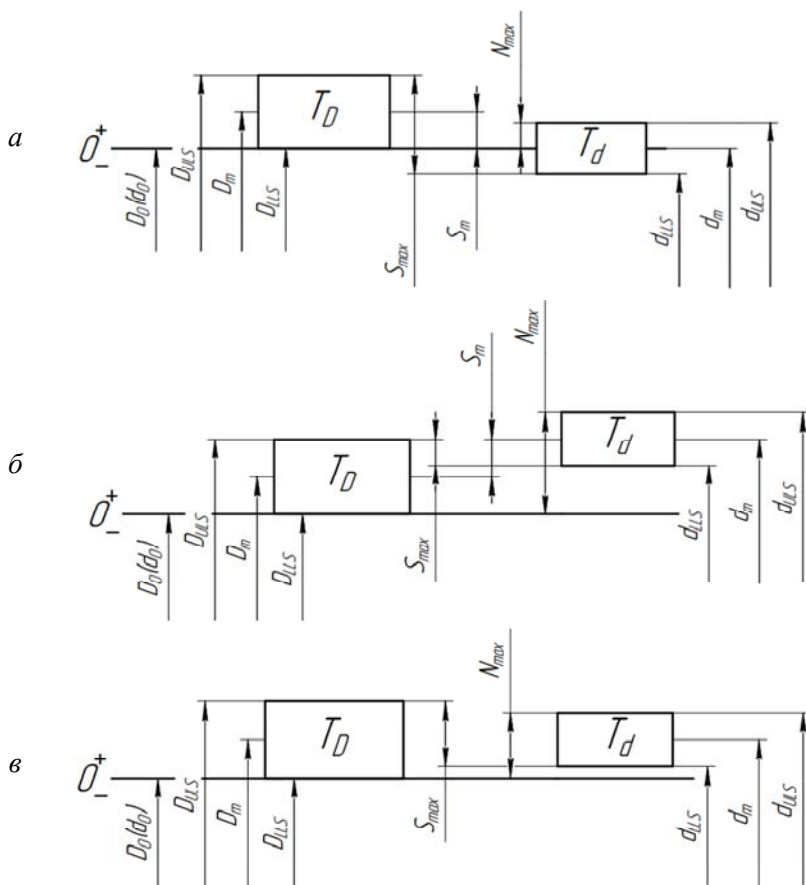


Рис. 3.2. Графическая интерпретация частичного (*a*, *б*) или полного (*в*) перекрытия интервалов допусков отверстия и вала, образующих переходную посадку

Переходные посадки применяются для создания «малых» зазоров и натягов при наличии повышенных требований к центрированию деталей в сопряжении. Точность центрирования и легкость сборки/разборки соединений при применении небольших усилий возможна только при незначительных колебаниях допустимых зазоров и натягов. Поэтому переходные посадки целесообразно проектировать, используя относительно точные качества (для валов – 5–7, а для отверстий – 6–8).

Для придания необходимой прочности соединению (например, в случае передачи значительных нагрузок) сопряжение обеспечивается дополнительными конструктивными элементами: резьбовыми элементами, шпонками, штифтами и др.

Эксплуатация соединений с переходными посадками связана, как правило, с необходимостью их сборки/разборки, а правильность выбора посадки во многом определяется вероятностью (частотой) получения в них зазоров или натягов.

Таким образом, вероятность получения зазоров и натягов является основным критерием выбора того или иного сопряжения. Общие правила выбора посадки заключаются в следующем: чем выше требования к центрированию сопрягаемых размерных элементов деталей, тем с большим натягом (большей вероятностью появления натяга в сопряжении) должна быть назначена посадка; чем больше частота необходимых разборок или регулировок сопряжений, тем с большим зазором (большей вероятностью зазора в сопряжении) выбирается посадка.

Методика расчета переходной посадки

При расчете переходной посадки определяются максимальный зазор (S_{\max}), максимальный натяг (N_{\max}), максимальный вероятностный зазор ($S_{\max,в}$), максимальный вероятностный натяг ($N_{\max,в}$), математическое ожидание зазоров и натягов ($M_{(S,N)}$).

Порядок расчета рассмотрим на примере расчета посадки $\text{Ø}18\text{H}7/\text{k}6$.

Рассчитаем предельные размеры отверстия $\text{Ø}18\text{H}7$.

По таблицам прил. 1, 3 и 5 определяем значения основного (нижнего) отклонения $EI = 0$ мкм и допуска $IT7 = 18$ мкм.

Верхнее отклонение будет равно:

$$ES = EI + IT9 = 0 + 18 = 18 \text{ мкм.}$$

Тогда предельные размеры отверстия определим следующим образом:

$$D_{lls} = D_0 + EI = 18,000 + 0 = 18,000 \text{ мм;}$$

$$D_{uls} = D_0 + ES = 18,000 + 0,018 = 18,018 \text{ мм.}$$

Рассчитаем предельные размеры вала Ø18k6.

По таблицам прил. 1, 2 и 3 определяем значения основного (нижнего) отклонения вала $e_i = +1$ мкм и допуска ИТ6 = 11 мкм.

Верхнее отклонение будет равно:

$$e_s = e_i + IT_6 = +1 + 11 = 12 \text{ мкм.}$$

Определим предельные размеры вала:

$$d_{l\text{ls}} = d_0 + e_i = 18,000 + 0,001 = 18,001 \text{ мм;}$$

$$d_{u\text{ls}} = d_0 + e_s = 18,000 + 0,012 = 18,012 \text{ мм.}$$

Результаты расчетов сведем в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Расчет предельных размеров деталей сопряжения

Размер	IT, мкм	ES (es), мкм	EI, (ei), мкм	$D_{l\text{ls}} (d_{l\text{ls}})$, мм	$D_{u\text{ls}} (d_{u\text{ls}})$, мм
Ø18H7	18	+18	0	18,000	18,018
Ø18k6	11	+12	+1	18,001	18,012

Рассчитаем предельные значения зазора и натяга в сопряжении и построим схему расположения интервалов допусков сопрягаемых деталей:

$$S_{\text{max}} = D_{u\text{ls}} - d_{l\text{ls}} = 18,018 - 18,001 = 0,017 \text{ мм;}$$

$$N_{\text{max}} = D_{l\text{ls}} - d_{u\text{ls}} = 18,000 - 18,012 = -0,012 \text{ мм.}$$

Примечание: знак минус (–), полученный при расчете, означает то, что при сопряжении вала и отверстия, имеющих действительные размеры $D_{l\text{ls}}$ и $d_{u\text{ls}}$, имеет место натяг.

По полученным результатам строим схему расположения интервалов допусков сопрягаемых деталей (рис. 3.3).

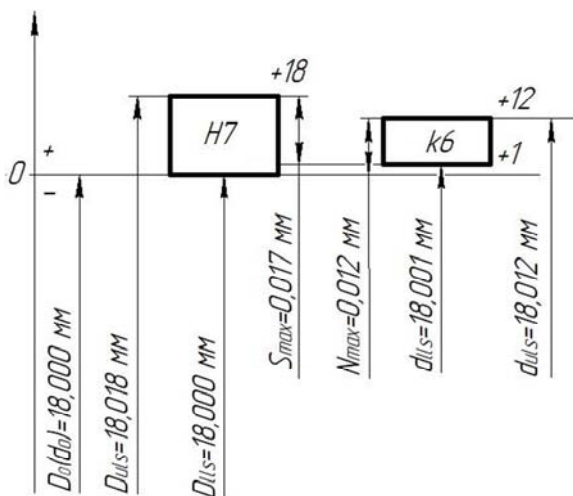


Рис. 3.3. Схема расположения интервалов допусков сопрягаемых деталей

Определим допуск посадки:

$$T_{(S,N)} = IT_D + IT_d = 0,018 + 0,011 = 0,029 \text{ мм.}$$

Принимаем нормальный закон распределения размеров и рассчитываем предельные значения вероятностных зазоров (натягов).

Если средний диаметр отверстия меньше среднего диаметра вала (рис. 3.2, б), то результат расчета будет иметь знак минус. Это означает, что в сопряжении будет большая вероятность возникновения натягов. В этом случае рассчитывают математическое ожидание натягов. Если средний диаметр отверстия больше среднего диаметра вала (рис. 3.2, а), то результат расчета будет иметь знак плюс. Это означает, что в сопряжении будет большая вероятность возникновения зазоров. В этом случае рассчитывают математическое ожидание зазоров. Если средний диаметр отверстия равен среднему диаметру вала (рис. 3.2, в), то в сопряжении будет одинакова вероятность возникновения зазоров и натягов. Математическое ожидание зазоров и натягов в этом случае равно нулю.

В рассматриваемом примере средний размер отверстия $D_m = 18,0090$, а средний размер вала $d_m = 18,0055$. Так как $D_m > d_m$, то в данном сопряжении будет большая вероятность возникновения зазоров.

Рассчитаем математическое ожидание и стандартное отклонение зазоров:

$$M_{(S)} = D_m - d_m = 18,0090 - 18,0055 = 0,0035 \text{ мм};$$

$$\sigma_{(S,N)} = \sqrt{\sigma_D^2 + \sigma_d^2} = \sqrt{\left(\frac{\text{IT}_D}{6}\right)^2 + \left(\frac{\text{IT}_d}{6}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{18}{6}\right)^2 + \left(\frac{11}{6}\right)^2} = 3,5 \text{ мкм.}$$

Рассчитаем предельные значения вероятностных зазоров и натягов:

$$S_{\text{max.в}} = M_{(S)} + 3\sigma_{(S,N)} = 3,5 + 3 \cdot 3,5 = 14 \text{ мкм} = 0,014 \text{ мм};$$

$$N_{\text{max.в}} = M_{(S)} - 3\sigma_{(S,N)} = 3,5 - 3 \cdot 3,5 = -7 \text{ мкм} = -0,007 \text{ мкм.}$$

Так как при применении переходных посадок в сопряжениях возможно образование зазоров и натягов, рассчитаем вероятность их получения. Для этой цели удобно использовать табулированные значения функции $\Phi(z)$ (прил. 6).

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz, \text{ где}$$

$$z = \frac{x}{\sigma}.$$

В нашем примере

$$x = M_{(S)} = 3,5 \text{ мкм};$$

$$\sigma_{(S,N)} = 3,5 \text{ мкм.}$$

Тогда

$$z = M_{(S)}/\sigma_{(S,N)} = 3,5/3,5 = 1;$$

$$\Phi(1) = 0,3413 = 34,13 \text{ \%}.$$

Таким образом, с учетом симметрии закона распределения, вероятность получения зазоров в сопряжении $\varnothing 18\text{H}7/\text{k}6$ составляет:

$$P(S) = 50 \% + 34,13 \% = 84,13 \text{ \%}.$$

Вероятность получения натягов, соответственно:

$$P(N) = 100\% - P(S) = 15,87\%$$

Методика построения схемы распределения вероятностных зазоров и натягов в переходной посадке

Построение схемы распределения вероятностных зазоров и натягов в переходной посадке осуществляется в следующем порядке (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Порядок построения схемы распределения вероятностных зазоров и натягов в переходной посадке

N шага	Содержание процедуры	Графическое представление
1	Проведем горизонтально размерную линию и, установив точку 0, зададим систему координат (систему отсчета). От начала координат, с учетом знака в принятом масштабе, отложим отрезки, соответствующие рассчитанному математическому ожиданию $M(S)$, а также максимальному зазору S_{\max} и максимальному натягу N_{\max}	
2	От точки, соответствующей математическому ожиданию, вправо и влево от $M(S)$ отложим отрезки, равные $3\sigma_{(S,N)}$. Полученные на числовой оси, точки обозначим как $S_{\max,в}$ и $N_{\max,в}$	
3	Принимая во внимание, что при нормальном законе распределения наиболее ожидаемое значение зазора будет соответствовать $M(S)$, проведем кривую распределения плотности вероятности значений зазоров и натягов в сопряжении Ø18H7/k6 от S_{\max} и N_{\max}	

N шага	Содержание процедуры	Графическое представление
4	Перпендикуляр, восстановленный из точки 0 до пересечения с кривой распределения плотности вероятности, делит пространство, замкнутое этой кривой, на площади, пропорциональные вероятности образования посадок с зазором и натягом	

Для рассматриваемого примера схема распределения вероятностных зазоров и натягов выглядит следующим образом (рис. 3.4).

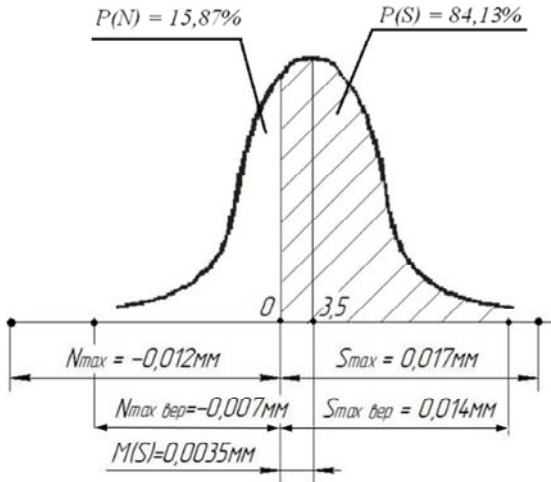


Рис. 3.4. Схема распределения вероятностных зазоров и натягов

Дополнительные задания

Задание 1. Рассчитать параметры посадки $\varnothing 52\text{H}7/\text{m}6$, определить предельные и вероятностные зазоры и натяги, построить схему распределения вероятностных зазоров и натягов.

Задание 2. Определить вероятностные зазоры и натяги посадки $\varnothing 72 \text{ N7/h6}$, построить схему распределения вероятностных зазоров и натягов.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое переходная посадка?
2. Назначение переходных посадок?
3. Как определяются предельные зазоры и натяги в переходной посадке?
4. Что такое допуск посадки и как определить его величину?
5. Что такое математическое ожидание посадки и как определить его величину?
6. Как определяется стандартное отклонение зазоров/натягов?
7. Как рассчитываются вероятностные зазоры и натяги?
8. Как построить схему распределения вероятностных зазоров и натягов сопрягаемых деталей?

Практическая работа № 4

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОРМЫ И РАСПОЛОЖЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Цель работы: изучить методику нормирования точности формы и расположения функциональных поверхностей деталей, способы обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертеже.

Решаемые задачи:

1. Ознакомиться со структурой и содержанием ГОСТ 24642-81, ГОСТ 24643-81, ГОСТ 2.308-79.

2. Изучить термины и определения в области нормирования точности формы и расположения функциональных поверхностей деталей.

3. В соответствии с заданием, используя ГОСТ 24643, нормировать точность формы и расположения функциональных поверхностей деталей:

– методом аналогий;

– используя установленные уровни относительной геометрической точности.

4. Изучить способы обозначения допусков формы и расположения поверхностей на чертеже.

Общие положения

Межгосударственный стандарт ГОСТ 24642-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения» устанавливает термины и определения, относящиеся к основным видам отклонений и допусков формы и расположения поверхностей деталей машин и приборов.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 24643-81 «Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения» распространяется на детали машин и приборов и устанавливает числовые значения допусков, которые должны применяться для сборочных единиц в машиностроении и в других отраслях промышленности.

Межгосударственный стандарт ГОСТ 2.308-79 «Единая система конструкторской документации. Указание на чертежах допусков

формы и расположения поверхностей» устанавливает правила указания допусков формы и расположения поверхностей на чертежах изделий всех отраслей промышленности.

Реальные поверхности деталей, получаемые с помощью любых технологических процессов, всегда характеризуются отклонениями от номинальной (геометрически правильной) формы и номинального расположения размерных элементов.

Отклонения формы и расположения от номинальных формы и положения – это характеристики любой реальной поверхности. Допуски формы и расположения – это нормативные ограничения отклонений формы и расположения назначенными полями допусков.

Допуск формы – наибольшее допускаемое значение отклонения формы.

Поле допуска формы – область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реального рассматриваемого элемента в пределах нормируемого участка.

Допуск расположения – предел, ограничивающий допускаемое значение отклонения расположения.



Суммарное отклонение формы и расположения – отклонение, являющееся результатом совместного проявления отклонений формы и отклонения расположения рассматриваемой поверхности или рассматриваемого профиля относительно баз.

Суммарный допуск формы и расположения – предел, ограничивающий допускаемое значение суммарного отклонения формы и расположения.

Стандартом установлен ряд допусков формы, расположения и суммарных допусков формы и расположения, которые сведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Стандартные допуски формы, расположения и суммарные допуски формы и расположения поверхностей

Группа допусков	Вид допуска	Условное обозначение допуска
Допуски формы	Допуск прямолинейности	
	Допуск плоскостности	

Группа допусков	Вид допуска	Условное обозначение допуска
	Допуск круглости	
	Допуск цилиндричности	
	Допуск профиля продольного сечения	
Допуски расположения	Допуск параллельности	
	Допуск перпендикулярности	
	Допуск наклона	
	Допуск соосности	
	Допуск симметричности	
	Позиционный допуск	
	Допуск пересечения осей	
Суммарные допуски формы и расположения	Допуск радиального биения Допуск торцового биения Допуск биения в заданном направлении	
	Допуск полного радиального биения Допуск полного торцового биения	
	Допуск формы заданного профиля	
	Допуск формы заданной поверхности	

Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей указаны в ГОСТ 24643.

Нормирование точности размерных элементов деталей по форме и расположению

Максимальные отклонения формы и расположения поверхностей годной детали не могут быть больше тех, что допускают предельные контуры детали. Значит, допустимое отклонение формы Δ_f , допу-

стимое отклонение расположения Δ_p и допустимое суммарное отклонение Δ_c в предельном случае определяются допуском соответствующего размера T_h (рис. 4.1, *a*).

Это означает, что, например, отклонение от цилиндричности Δ_ϕ не может превысить половины значения допуска размера, т. е. $T_\phi = T_h / 2 = IT / 2$, а отклонение от прямолинейности и плоскостности в предельном случае равно значению допуска размера $T_\phi = T_h = IT$ (рис. 4.1, *б*).

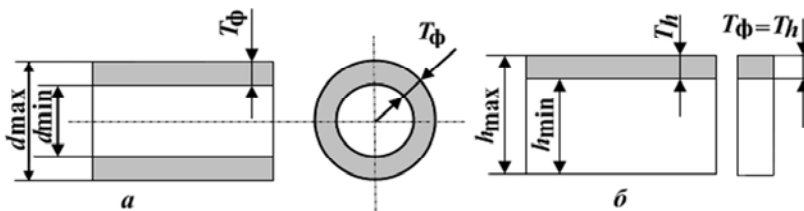


Рис. 4.1. Схемы предельных контуров для цилиндрической поверхности (*a*) и для плоской поверхности призматического элемента детали (*б*)

Отклонения формы следует нормировать только в случаях, когда необходимо их ужесточить по сравнению с теми значениями, которые уже фактически установлены при назначении допуска размера. На практике достаточно часто имеют место случаи, когда отклонения формы нормируются, а отклонения расположения – нет, и наоборот. Раздельное нормирование обеспечивается введением базового элемента, в качестве которого выступает прилегающий элемент.

Прилегающий элемент имеет номинальную (геометрически правильную) форму, соприкасается с реальной поверхностью и располагается вне материала детали так, чтобы отклонение от него наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение (наименьшее из всех возможных).

Прилегающий элемент (рис. 4.2) формирует систему координат и служит началом (базой) для отсчета отклонений.

Для плоских поверхностей деталей прилегающими элементами являются плоскость (при нормировании отклонения поверхности) и прямая (при нормировании отклонения профиля), для цилиндрических поверхностей – прилегающий цилиндр и прилегающая окружность соответственно.

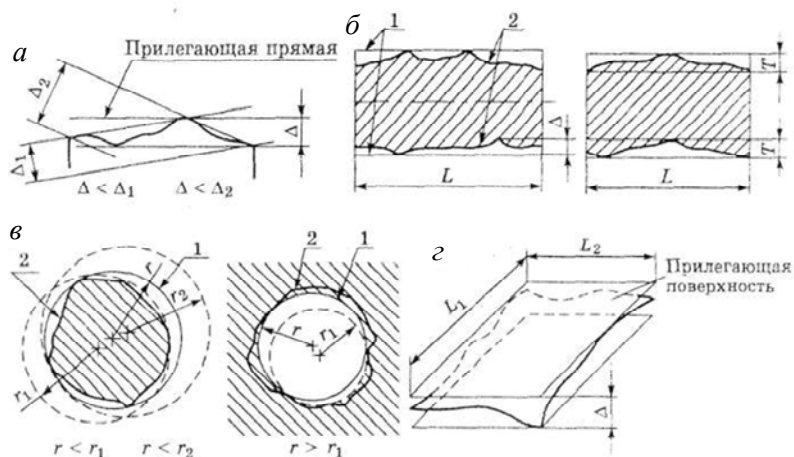


Рис. 4.2. Прилегающие элементы:
a – прямая; *б* – профиль продольного сечения;
в – окружность; *г* – плоскость

Прилегающая окружность и прилегающий цилиндр должны иметь экстремальные размеры: для внутренних элементов это соответствует вписанной окружности или цилиндру наибольшего диаметра, для наружных – описанной окружности или цилиндру наименьшего возможного диаметра.

Поскольку реальная поверхность достаточно неудобна для оценки отклонений расположения из-за присущих ей погрешностей формы, контролируют не расположение реального элемента, а положение его геометрически правильного аналога. Использование прилегающего элемента в качестве заменяющего реальную поверхность аналога полностью соответствует требованиям стандарта. Такой подход позволяет выделить «в чистом виде» погрешности расположения, отделив их от погрешностей формы реальных элементов.

Поскольку отсчет отклонения формы всегда осуществляется от одной и той же базы (прилегающего элемента), она при обозначении допуска формы не указывается. Для отсчета отклонений расположения необходимо задать систему координат путем определения базовых элементов (баз). Выбор системы координат (одномерной, плоской или пространственной) зависит от того, как задан допуск расположения. Можно задать допуск расположения рассматриваемого элемента

по отношению к базе или комплекту баз. Каждая база задает ось или плоскость координат, причем сама база воспроизводится как прилегающий профиль или прилегающая поверхность соответствующего базового элемента. Другой вариант предусматривает возможность назначения допуска взаимного расположения элементов. В таком случае за базовый принимают любой из равноправных элементов, взаимное расположение которых нормируется.

Назначение числовых значений допусков формы и расположения

ГОСТ 24643-81 вводит 16 степеней точности формы, расположения и суммарных отклонений, а также ряды числовых значений допусков в зависимости от вида отклонений и размеров нормируемых элементов деталей.

Нормирование точности может осуществляться:

- по методу аналогии;
- в соответствии с установленными «уровнями относительной геометрической точности».

Нормирование по методу аналогий предполагает использование тех же норм точности, которые показали свою эффективность при назначении допусков на размерные элементы деталей в аналогичных конструкциях. При отсутствии необходимой технической информации прибегают к рекомендациям, имеющимся в справочной литературе и представленным в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Рекомендации по выбору норм точности в зависимости от условий применения сопрягаемых размерных элементов деталей

Стандартные степени точности	Условия применения плоских размерных элементов	Условия применения цилиндрических размерных элементов
1, 2	Применяют для измерительных и рабочих поверхностей особо точных средств измерений (плоскопараллельных концевых мер длины, лекальных линейек и т. д.), направляющих прецизионных измерительных приборов и технологического оборудования	Используют для роликов подшипников класса точности 2, деталей плунжерных и золотниковых пар, подшипниковых шеек прецизионных шпинделей

Продолжение табл. 4.2

Стандартные степени точности	Условия применения плоских размерных элементов	Условия применения цилиндрических размерных элементов
3, 4	Для измерительных и рабочих поверхностей средств измерений нормальной точности (поверочных линеек и плит, микрометров, опорных поверхностей рамных и брусковых уровней и др.); направляющих приборов и технологического оборудования повышенной точности, а также для базовых, установочных и измерительных поверхностей контрольных приспособлений повышенной точности	Для посадочных поверхностей подшипников 4 и 5 классов точности и сопрягаемых с ними поверхностей валов и корпусов, поверхностей поршневых пальцев, плунжеров, цапф осей гиросприборов
5, 6	Для поверхностей направляющих и столов приборов и станков нормальной точности, базовых и установочных поверхностей технологических приспособлений повышенной точности, плоских рабочих поверхностей упорных подшипников	Для назначения норм точности посадочных поверхностей подшипников 6 и нормального классов точности, вкладышей подшипников скольжения и сопрягаемых с ними поверхностей. Их можно рекомендовать для посадочных поверхностей валов редукторов, деталей гидравлической и пневматической аппаратуры средних и низких давлений (без уплотнения) и высоких давлений (с уплотнениями)
7, 8	Для рабочих поверхностей разметочных плит, ползунов, опорных поверхностей рам, плоских поверхностей корпусов подшипниковых опор, разъемов корпусов редукторов, опорных и привалочных поверхностей станин	Для подшипников скольжения двигателей и редукторов, для отверстий под втулки в шатунах двигателей внутреннего сгорания
9, 10	Для неподвижных поверхностей стыков и опорных поверхностей машин пониженной точности, работающих в легких режимах нагружения, для поверхностей присоединения арматуры.	Для подшипников скольжения, работающих при низких частотах вращения, для поршней и цилиндров гидроаппаратуры низкого давления (с мягким уплотнением)

Стандартные степени точности	Условия применения плоских размерных элементов	Условия применения цилиндрических размерных элементов
11 и грубее	Для неответственных рабочих поверхностей машин пониженной точности	При повышенных требованиях к форме несопрягаемых поверхностей и поверхностей с неуказанными допусками

В случае, когда допуски формы или расположения специально не установлены (имеет место «грубая» относительная геометрическая точность), отклонения фактически ограничиваются всем полем допуска размера. В иных случаях для нормирования допусков формы и расположения могут использоваться три уровня «относительной геометрической точности», которые устанавливаются соотношением между допуском формы или расположения и ограничивающим тот же размерный элемент допуском размера.

Для плоских элементов деталей эти соотношения выглядят следующим образом:

- уровень *A* (нормальная относительная геометрическая точность) – допуск составляет не более 60 % допуска размера;
- уровень *B* (повышенная относительная геометрическая точность) – не более 40 % допуска размера;
- уровень *C* (высокая относительная геометрическая точность) – не более 25 % допуска размера.

Допуски формы цилиндрических поверхностей назначаются не на диаметр, а на радиус, поэтому их значения, соответствующие уровням геометрической точности *A*, *B* и *C*, составляют не более 30 %, 20 % и 12 % допусков соответствующих размеров.

Рекомендации по выбору уровней относительной геометрической точности в зависимости от условий применения сопрягаемых размерных элементов деталей приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Рекомендации по выбору уровней относительной геометрической точности в зависимости от условий применения сопрягаемых размерных элементов деталей

Уровень относительной геометрической точности	Условия применения
Не установлен	Используют для несопрягаемых поверхностей; для поверхностей, к которым не предъявляются особые конструктивные требования по точности центрирования и прочности. Такие допуски применяют и для поверхностей, образующих сопряжения с зазором, если он предназначен для обеспечения собираемости, а относительные перемещения деталей не нужны либо носят эпизодический характер. Такие же допуски формы и (или) расположения устанавливают для поверхностей, сопрягаемых с небольшими натягами, которые не подвергаются при эксплуатации тяжелым нагрузкам с ударами и вибрацией и, как правило, не подлежат повторной сборке
А	Назначают на поверхности подвижных сопряжений при небольших скоростях относительных перемещений и легких нагрузках, если не предъявляются повышенные требования к плавности хода или стабильности трения. Они также могут применяться для поверхностей соединений с небольшими натягами (включая сопряжения с переходными посадками) при необходимости обеспечения повышенных требований к точности центрирования и стабильности натяга, если сопряжения подлежат разборке и повторной сборке. Такой же уровень относительной геометрической точности обычно используют для допусков формы и расположения рабочих поверхностей калибров, а также для назначения технологических допусков формы и расположения, обеспечивающих точность технологических и измерительных баз при установленных допусках размеров качитетов от 4 до 12

Уровень относительной геометрической точности	Условия применения
<i>B</i>	Назначают на поверхности подвижных соединений, работающих при средних относительных скоростях перемещения и умеренных нагрузках, если к сопряжению предъявляют повышенные требования по плавности хода и герметичности уплотнений. Аналогичные требования предъявляют к поверхностям сопряжений с натягом (включая сопряжения с переходными посадками) для обеспечения повышенных требований к точности и прочности изделия, работающего в условиях больших скоростей и нагрузок с ударами и вибрациями. Такой же уровень точности используют для назначения технологических допусков формы и расположения, обеспечивающих требуемую точность обработки и упрощенного контроля параметров деталей, в том числе и активного контроля размеров
<i>C</i>	Назначают на поверхности, образующие подвижные соединения, работающие при высоких скоростях и нагрузках, если предъявляются высокие требования к точности хода, стабильности трения и герметичности уплотнений. Такие же требования предъявляют к поверхностям сопряжений с натягом (включая сопряжения с переходными посадками) при высоких требованиях к точности и прочности сопряжений, работающих в условиях воздействия больших скоростей и нагрузок с ударами и вибрациями

Обозначения допусков формы и расположения

Допуски формы и расположения поверхностей в графических документах указывают с использованием условных обозначений (предпочтительный вариант), а в случае отсутствия таких символов – текстом в технических требованиях.

Условное обозначение выполняется в виде прямоугольной рамки на поле чертежа, разделенной на два-три (или более) поля. Знак, чис-

ловое значение допуска и обозначение базы (при нормировании отклонения расположения и суммарных отклонений формы и расположения) вписывают в рамку, используемую для условного обозначения (рис. 4.3). Графические символы (знаки) для указания допуска формы и расположения поверхностей приведены в табл. 4.1. Обозначения вписываются в следующем порядке (слева направо): в первой части рамки приводят условный знак допуска, во второй – числовое значение допуска в миллиметрах (при необходимости) и дополнительную информацию, в третьей (и последующих) – обозначение базы или комплекта баз.



Рис. 4.3. Графические обозначения допусков формы и расположения на чертеже

Если перед числовым значением допуска стоят символы T или \emptyset , значит, значение допуска приведено в диаметральном выражении, если $T/2$ или R – допуск приведен в радиусном выражении.

Числовые значения допусков формы и расположения поверхностей указаны в ГОСТ 24643. Допуски формы и расположения поверхностей допускается указывать текстом в технических требованиях, как правило, в том случае, если отсутствует знак вида допуска.

Указание на элемент поверхности, на который распространяются устанавливаемые нормы, осуществляется с помощью соединительной линии (прямой или ломаной). Направление отрезка соединительной линии, заканчивающегося стрелкой, должно соответствовать направлению линии измерения отклонения (рис. 4.4).

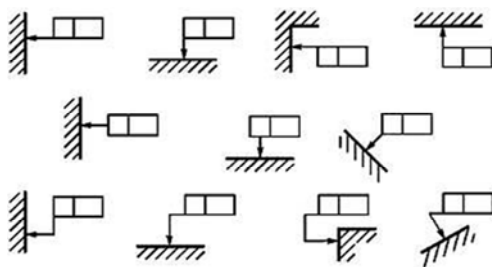


Рис. 4.4. Варианты расположения соединительных линий

В необходимых случаях допускается:

- проводить соединительную линию от второй (последней) части рамки (рис. 4.5, *a*);
- заканчивать соединительную линию стрелкой и со стороны материала детали (рис. 4.5, *б*).



Рис. 4.5. Варианты расположения соединительных линий

Базы обозначают зачерненным треугольником, который при помощи соединительной линии соединяют с рамкой (рис. 4.6).

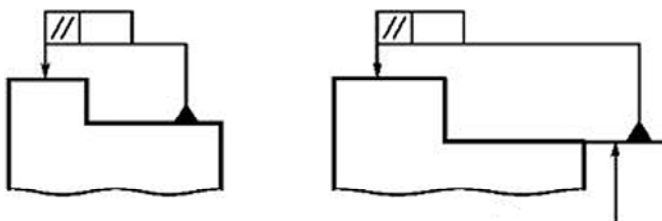


Рис. 4.6. Варианты расположения соединительных линий

Если допуск или знак базы относится к поверхности, то рамку соединяют с контурной линией поверхности или ее продолжением, при этом соединительная линия не должна быть продолжением размерной линии (рис. 4.7).

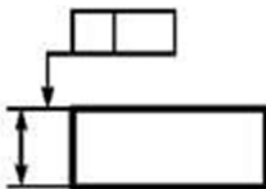


Рис. 4.7. Варианты расположения соединительных линий

Если допуск или знак базы относится к оси или плоскости симметрии, то соединительная линия должна быть продолжением размерной линии (рис. 4.8).

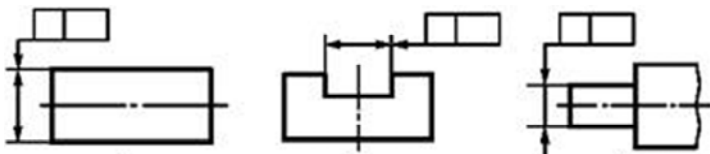


Рис. 4.8. Варианты расположения соединительных линий

Если два или несколько элементов образуют объединенную базу (общую ось или плоскость симметрии), то каждый элемент обозначают самостоятельно и все буквы вписывают подряд в третью часть рамки (рис. 4.9).

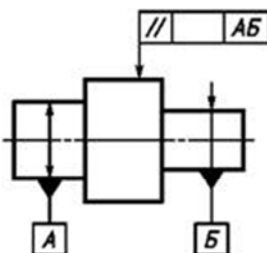


Рис. 4.9. Варианты расположения соединительных линий

Если необходимо задать допуск расположения относительно комплекта баз, то буквенные обозначения баз указывают в третьей и четвертой частях рамки (рис. 4.10).

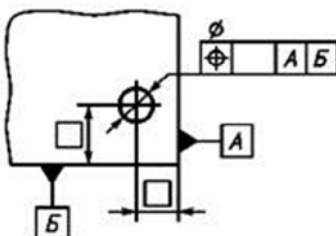


Рис. 4.10. Варианты расположения соединительных линий

Методика нормирования отклонения формы и расположения размерных элементов деталей

Рассмотрим методику назначения допусков формы и расположения на конструктивные элементы вала и втулки (подшипника скольжения) элемента редуктора (рис. 4.11).

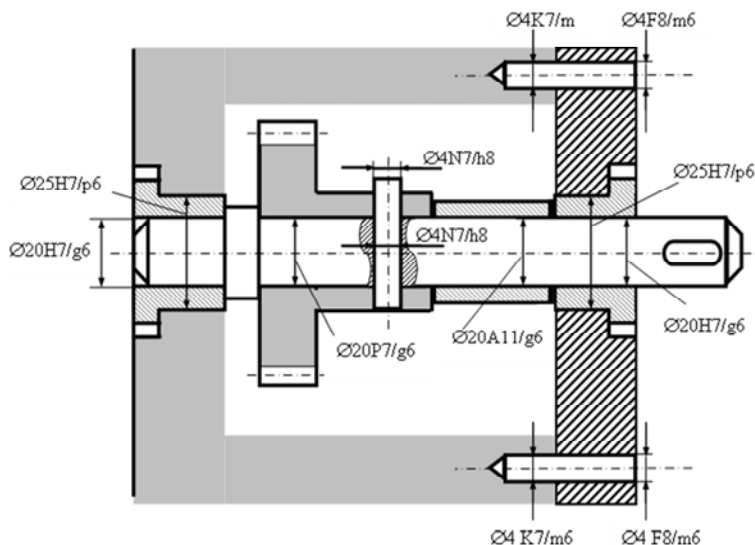


Рис. 4.11. Фрагмент чертежа редуктора

Установим допуски формы и расположения на функционально важные поверхности вала, руководствуясь рекомендациями применения уровней относительной геометрической точности.

В сопряжении зубчатого колеса и вала необходимо обеспечить повышенную точность центрирования, поэтому на посадочную и привалочную поверхности вала под зубчатое колесо назначаем допуски уровня относительной геометрической точности *A*.

Цапфы (участки вала, которыми он опирается на подшипник) относятся к поверхностям подвижных соединений, работающих при средних относительных скоростях перемещения и умеренных нагрузках. К сопряжению с подшипником скольжения предъявляют повышенные требования по плавности хода, поэтому назначаем допуски формы и расположения повышенной относительной точности *B*.

Отверстие на валу под штифт является поверхностью соединения с небольшим натягом (сопряжение с переходной посадкой), есть необходимость обеспечения повышенных требований к точности его расположения и возможность разборки и повторной сборки, поэтому применяем уровень относительной геометрической точности *A*.

Для обеспечения собираемости шпоночного соединения устанавливаются допуски параллельности шпоночного паза вала относительно оси вращения и его симметричности. Допуск параллельности определяется по классу относительной геометрической точности *A* и составляет около 60 % от допуска на ширину шпоночного паза, а допуск симметричности, заданный в диаметральном выражении, составляет четыре допуска ширины шпоночного паза.

Таким образом, будут нормированы отклонения формы и расположения следующих размерных элементов вала:

- цилиндрической поверхности, на которой расположено зубчатое колесо (допуски круглости и профиля продольного сечения, допуск радиального биения относительно общей оси подшипниковых шеек);
- заплечика, предназначенного для упора зубчатого колеса (допуск торцового биения относительно общей оси подшипниковых шеек);
- цапф вала (допуски круглости и профиля продольного сечения, допуск соосности относительно общей оси подшипниковых шеек);
- отверстия под штифт (допуски перпендикулярности и пересечения осей отверстия и шейки вала);
- шпоночного паза (допуски параллельности и симметричности плоскости симметрии шпоночного паза относительно оси вала).

Порядок назначения допусков формы и расположения поверхностей

1. Определяем по ГОСТ 25346 допуски размеров тех конструктивных элементов детали, на которые требуется установить допуск формы или расположения поверхностей.

2. Рассчитываем, какая часть допуска размера в процентах будет соответствовать требуемому уровню относительной геометрической точности. Для уровня *A* – не более 60 % допуска размера (для плоских поверхностей) и не более 30 % для цилиндрических поверхностей.

3. Округляем рассчитанное значение до меньшего стандартного допуска по ГОСТ 24643 (табл. 4.4).

4. При отсутствии индивидуальных отклонений размеров конструктивных элементов детали принимаем класс точности общих допусков – *m*, как предпочтительный вариант.

Таблица 4.4

Числовые значения допусков формы, допусков расположения и суммарных допусков формы и расположения поверхностей

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
10000	12000	16000	–	–	–	–	–	–	–

Расчет значений допусков сведен в табл. 4.5, вал с оформленными допусками формы и расположения представлен на рис. 4.12.

Таблица 4.5

Расчет допусков формы и расположения вала

Нормируемый параметр	Эффективный параметр	Допуск эффективного параметра, мкм	Результат расчета, мкм	Значение допуска, мкм
Отклонение от круглости и правильного профиля продольного сечения (20%IT)	Ø20g6	13	2,6	2,5
Отклонение от соосности цапф относительно общей оси подшипниковых шеек (20%IT)	Ø20g6	13	2,6	2,5
Радиальное биение (30%IT)	Ø20g6	13	3,9	4,0
Отклонение от перпендикулярности и пересечения оси отверстия и оси вала (30%IT)	Ø4N7	12	3,6	4,0
Торцовое биение (60%IT)	4 (класс точности общих допусков – <i>m</i>)	200	120	120

Нормируемый параметр	Эффективный параметр	Допуск эффективного параметра, мкм	Результат расчета, мкм	Значение допуска, мкм
Отклонение от параллельности шпоночного паза относительно оси вала (60%IT)	$\varnothing 6N9$	30	18	16
Отклонение от симметричности шпоночного паза относительно оси вала (4IT)	$\varnothing 6N9$	30	120	120

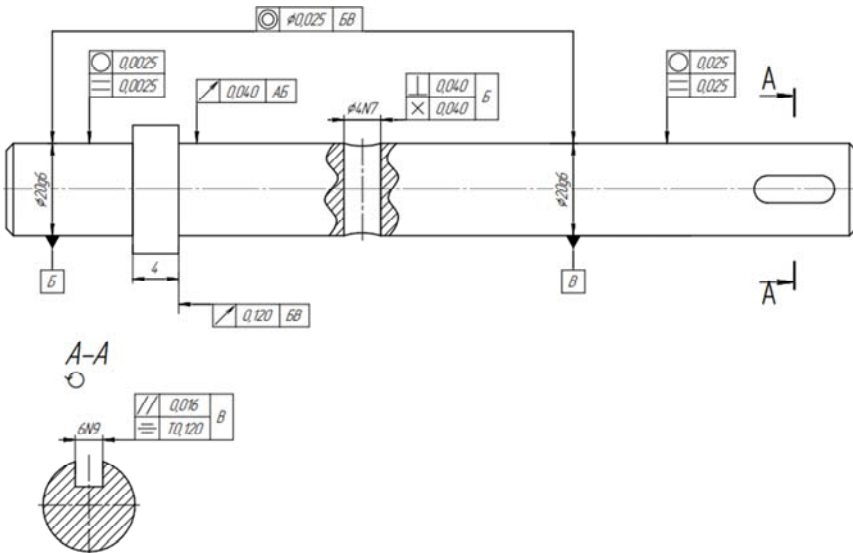


Рис. 4.12. Фрагмент чертежа вала

Функционально важными поверхностями втулки, выполняющей роль подшипника скольжения, являются посадочные внутренняя и наружная цилиндрические поверхности (рис. 4.13). Нормируем их допуском радиального биения, используя метод нормирования точности по аналогии. Для подшипников скольжения рекомендована 5 степень точности. В таблице прил. 10 для номинального размера 20 мм и степени точности 5 указано числовое значение допуска 10 мкм.

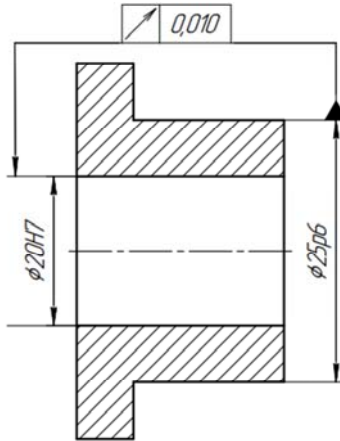
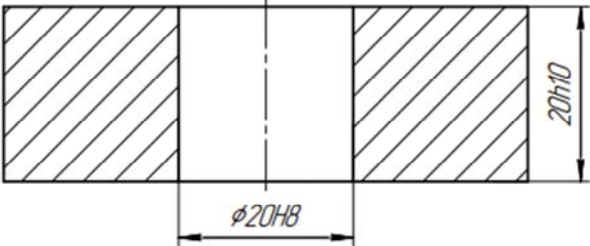
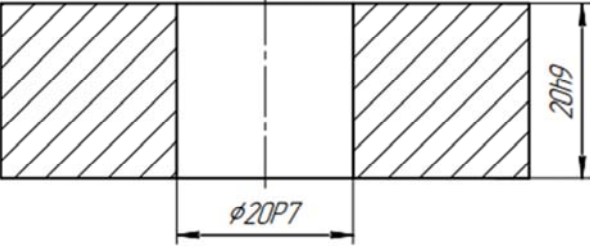
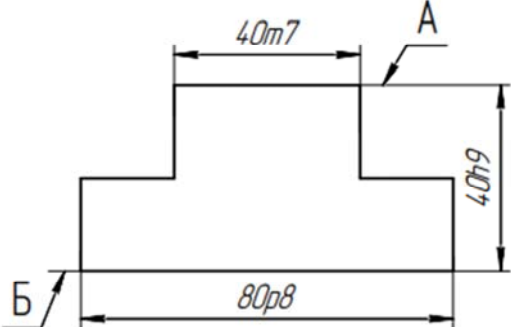
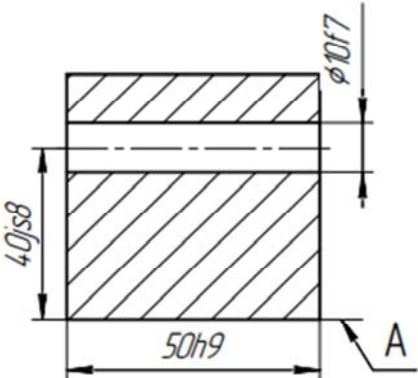


Рис. 4.13. Фрагмент чертежа втулки

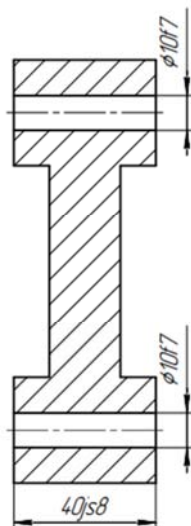
Дополнительные задания

Используя прил. 7–11, назначить числовые значения допусков формы и расположения и оформить их условными обозначениями на эскизах деталей.

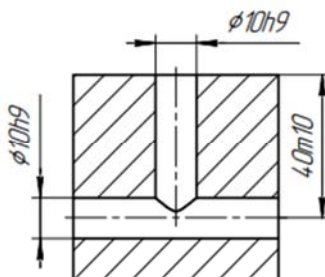
<p>Задание 1. Назначить допуск прямолинейности оси вала по 6 степени точности</p>	
<p>Задание 2. Назначить допуск прямолинейности поверхности по уровню относительной геометрической точности A</p>	

<p>Задание 3. Назначить допуск круглости отверстия по уровню относительной геометрической точности <i>A</i></p>	
<p>Задание 4. Назначить допуск перпендикулярности оси отверстия плоскости основания по 7 степени точности</p>	
<p>Задание 5. Назначить допуск параллельности поверхности <i>A</i> относительно поверхности <i>B</i> по 9 степени точности</p>	
<p>Задание 6. Назначить допуск параллельности оси отверстия относительно плоскости основания <i>A</i> по уровню относительной геометрической точности <i>B</i></p>	

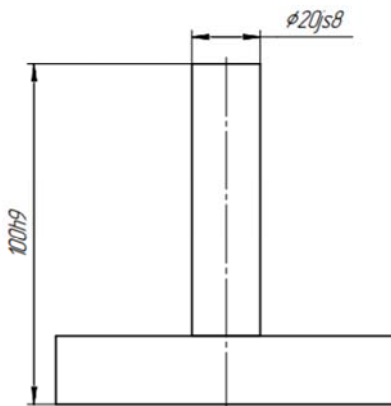
Задание 7.
 Назначить допуск параллельности осей отверстий по 7 степени точности

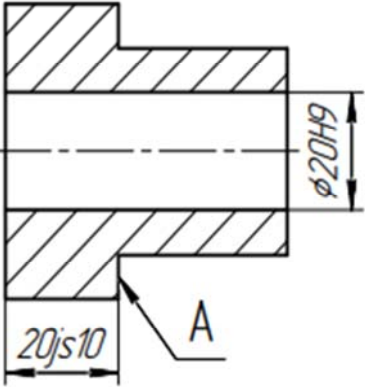
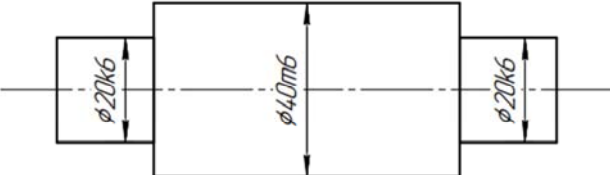


Задание 8.
 Назначить допуск перпендикулярности осей отверстий по уровню относительной геометрической точности A



Задание 9.
 Назначить допуск перпендикулярности оси вала основанию по 6 степени точности



<p>Задание 10. Назначить допуск торцового биения плоскости <i>A</i> относительно оси отверстия по 5 степени точности</p>	
<p>Задание 11. Назначить допуск радиального биения средней шейки вала относительно общей оси подшипниковых шеек по уровню относительной геометрической точности <i>B</i></p>	

Вопросы для самоконтроля

1. В чем отличие отклонения формы (расположения) от допуска формы (расположения)?
2. Что принимается за базу отсчета при контроле отклонения формы поверхностей?
3. Как определяются отклонения расположения элементов детали?
4. Как определяется прилегающий элемент при контроле призматических и цилиндрических элементов деталей?
5. Какие отклонения формы стандартизованы и какие символы используются при указании их предельных значений (допусков) на чертеже?
6. Какие отклонения расположения и суммарные отклонения стандартизованы и какие символы используются при указании их предельных значений (допусков) на чертеже?

7. Сколько степеней точности формы, расположения и суммарных отклонений вводит ГОСТ 24643-81?

8. Какие методы используются при нормировании точности элементов деталей по форме и расположению поверхностей?

9. Как обозначаются на чертеже допуски формы, расположения и суммарные допуски?

10. В чем отличие в обозначении на чертеже допуска формы от обозначения допуска расположения (суммарного допуска)?

11. Как обозначаются на чертеже базы для отсчета отклонений?

Практическая работа № 5

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К УГЛОВЫМ РАЗМЕРАМ РАЗМЕРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЕТАЛЕЙ, ОГРАНИЧЕННЫХ ПЛОСКИМИ И КОНИЧЕСКИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Цель работы: изучить методику нормирования точностных требований к угловым размерам размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностями, и их обозначения на чертежах.

Решаемые задачи:

1. Ознакомиться со структурой и содержанием ГОСТ 8908-2002, ГОСТ 8593-81, ГОСТ 2.320-82.

2. Изучить термины и определения в области нормирования точностных требований к угловым размерам размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностями.

3. Изучить систему допусков на угловые размеры размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностями.

4. Изучить варианты обозначения точностных требований к угловым размерам размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностями.

5. В соответствии с заданными размерами нормируемых элементов деталей и предъявляемыми к ним точностными требованиями определить числовые значения допусков на угловые размеры размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностям, и обозначить их на чертежах соответствующих деталей (фрагментах чертежей, содержащих нормируемые элементы), используя один из возможных вариантов таких обозначений.

Общие положения

Если образующие размерных элементов деталей машин и приборов располагаются под некоторым углом друг к другу, отличным от прямого, то в таком случае на их расположение назначают угловые размеры с соответствующими допусками. ГОСТ 8908-2002 распространяется на углы (угловые размеры) и допуски углов конусов и призматических элементов деталей, применяемые в машиностро-

нии (указанные нормы применимы и для других отраслей промышленности). ГОСТ 8593-81 распространяется на конусности и углы конусов гладких конических элементов деталей и устанавливает два ряда нормальных конусностей и углов конусов, а ГОСТ 2.320-82 при этом определяет правила обозначения размеров и точностных требований к ним таких элементов деталей, а также их посадок.

Угол – обобщенный термин, под которым понимают геометрическую фигуру, образованную двумя лучами, выходящими из одной точки, называемой вершиной угла, и частью плоскости, которую они ограничивают.

В зависимости от конкретных условий термин «угол» может распространяться на угловой размер, угловую поверхность или угловой элемент детали.

Нормальный угол – угол, значение которого внесено в ряды нормальных углов призматических элементов деталей и конусов по ГОСТ 8908-2002. Стандарт устанавливает три ряда нормальных углов (табл. 5.1). В соответствии с принципом предпочтительности первый ряд имеет приоритет перед вторым, второй – перед третьим.

Таблица 5.1

Ряды нормальных углов по ГОСТ 8908-81

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

Для призматических элементов деталей, кроме нормальных углов, дополнительно допускается применять значения уклонов и соответствующих им углов (углов уклона), указанных в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Значения допускаемых уклонов и соответствующих им углов

Уклон	Угол уклона	Уклон	Угол уклона
1 : 500	6' 52,5"	1 : 50	1° 8' 44,7"
1 : 200	17' 11,3"	1 : 20	2° 51' 44,7"
1 : 100	34' 22,6"	1 : 10	5° 42' 38,1"

При этом уклон S трактуется как отношение перепада высот $(H - h)$ элемента к расстоянию L между местами их измерения (рис. 5.1):

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

Как следует из формулы, уклон S равен тангенсу угла уклона β рассматриваемого размерного элемента.

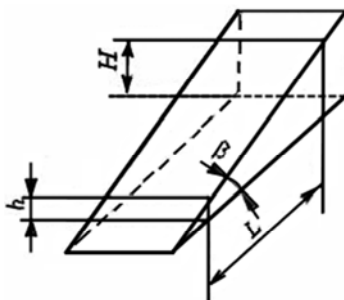


Рис. 5.1. Основные параметры, необходимые для расчета уклона

Под **конической поверхностью** понимают поверхность вращения, воспроизводимую образующей в виде прямой линии, вращающейся относительно оси и пересекающей ее.

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

В деталях машин и приборов конические поверхности часто имеют вид усеченного конуса с большим и меньшим основаниями.

Под **основаниями конуса** понимают круговые его сечения плоскостями, перпендикулярными оси и ограничивающими его в осевом направлении.

Основной плоскостью называют плоскость поперечного сечения, 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.

Определяющие размеры конических элементов деталей обозначаются следующим образом (рис. 5.2).

Диаметры поперечных сечений конусов: большого основания – D ; малого – d ; заданного сечения (в котором задан допуск) – D_S ; произвольно расположенного сечения – d_x . Угол конуса обозначают α , угол уклона конуса – $\alpha / 2$. При обозначениях параметров наружных конусов используют индекс e , параметров внутренних конусов – индекс i , а параметров конических соединений – p . Обозначение длины конуса – L , длины конического соединения – L_p , осевого расстояния от большего основания конуса до заданного сечения – L_S , до произвольно расположенного сечения – L_x . Расстояние между основной и базовой плоскостями конуса (базорасстояние конуса) обозначают z_e или z_i , а базорасстояние конического соединения – z_p .

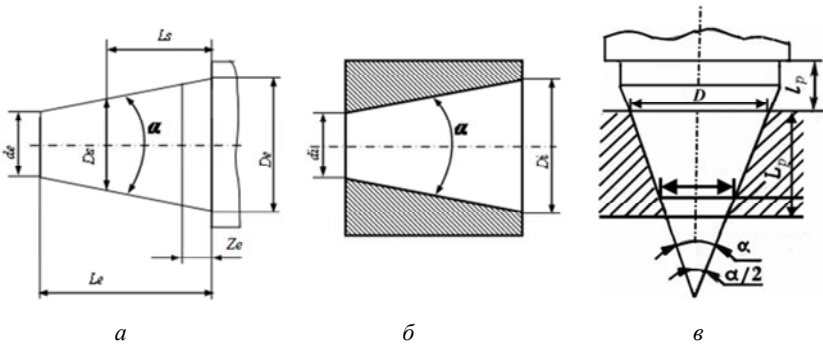


Рис. 5.2. Основные параметры наружного (а) и внутреннего (б) конусов и конического соединения (в)

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

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

или

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

где C – конусность; $C / 2$ – уклон конуса.

Конусность, как правило, указывают в виде отношения 1: X , где X – расстояние между поперечными сечениями конуса, разность диаметров которых равна 1 мм, например, $C = 1:20$.

Система допусков на угловые размеры деталей

Стандартом определены четыре вида допусков на угловые размеры (рис. 5.3):

AT_α – «теоретический» (рассчитанный) допуск угла, выраженный в угловых единицах (в микроградусах или в градусах, минутах, секундах);

AT'_α – округленное значение допуска угла в градусах, минутах, секундах. Например, если допуск $AT_\alpha 17 = 4^\circ 30' 01''$ (при интервале длин L_1 до 10 мм), то соответствующий ему допуск $AT'_\alpha 17$ равен 4° ;

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) и задаваемый как разность диаметров в двух нормальных к оси конуса сечениях на заданном расстоянии L между ними (определяется по перпендикуляру к оси конуса).

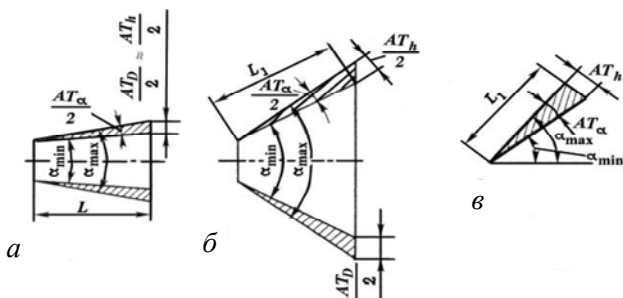


Рис. 5.3. Виды допусков углов

Допуски в угловых и линейных единицах связаны зависимостью:

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

где AT_h – допуск угла в единицах длины, мкм;

AT_α – 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 $\alpha \leq 19^\circ$), практически $AT_D \approx AT_h$ (разность составляет не более 2 %) и допуск AT_D назначают, исходя из этого. Допуск AT_h назначают в зависимости от длины L_1 для конусов, имеющих конусность более 1:3. При больших значениях C и α :

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

Способы нормирования точности углов призматических и конических элементов деталей

Стандартом ГОСТ 8908-2002 установлены 17 степеней точности допусков углов AT , обозначаемых числами в порядке убывания точности: 1, 2, ..., 17. При обозначении допуска угла заданной точности к обозначению допуска угла AT добавляют номер соответствующей степени точности: $AT1$, $AT2$, ..., $AT17$. Допуски углов устанавливаются в соответствии со степенью точности в зависимости от длины короткой стороны угла.

Типовые варианты расположения полей допусков углов для призматических элементов деталей относительно номинального размера угла показаны на рис. 5.4. Разрешаются и иные виды расположения полей допусков углов (одностороннее с двумя положительными или отрицательными отклонениями, асимметричное с отклонениями разных знаков), однако при конструировании наиболее часто используют вариант назначения поля допуска с симметрично расположенными отклонениями.

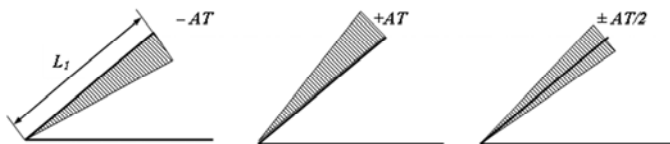


Рис. 5.4. Схемы расположения полей допусков углов призматических элементов деталей

Для конических поверхностей деталей стандартом установлены следующие два способа нормирования точности функциональных геометрических параметров, в том числе их угловых размеров.

Первый способ – назначением «углового допуска» AT (рис. 5.5). При этом поле допуска имеет треугольную форму с постоянным значением угла, который определяется одним из допусков угла AT_a , AT_r , AT_h или (наиболее часто) AT_D . Допуск ограничивает отклонения угла конуса и отклонения формы конуса. Дополнительно могут быть более жестко ограничены допуски формы (например, комплексом допусков круглости поперечного сечения конуса и прямолинейности его образующих), если отклонения формы недостаточно жестко ограничены допуском угла конуса.

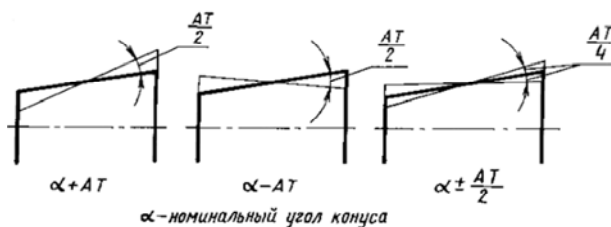


Рис. 5.5. Графическая интерпретация нормирования точности конических поверхностей деталей с помощью «углового допуска» AT

Второй способ – назначение допуска диаметра T_D (IT_D) (рис. 5.6), 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.

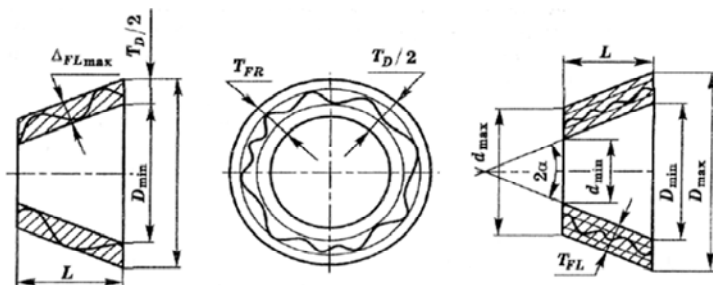


Рис. 5.6. Графическая интерпретация нормирования точности конических поверхностей деталей с помощью допуска диаметра T_D (IT_D)

Допуски T_D или T_{D_s} должны соответствовать ГОСТ 25346-2013. Для образования необходимых посадок в конических соединениях деталей обычно применяют именно этот способ назначения допусков.

Предельные отклонения угла конуса, если конус определен конусностью, следует наносить непосредственно под обозначением конусности:

а) числовыми значениями, соответствующими допуску AT_D (рис. 5.7, а);

б) условными обозначениями (рис. 5.7, б);

в) условными обозначениями с указанием в скобках числовых значений соответствующих предельных отклонений (рис. 5.7, в).

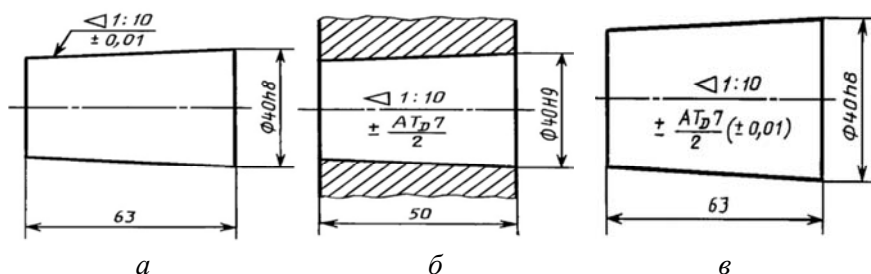


Рис. 5.7. Указание предельных отклонений угла конуса

Предельные отклонения угла конуса, если конус определен углом, следует указывать числовыми значениями непосредственно после номинального размера угла (рис. 5.8).

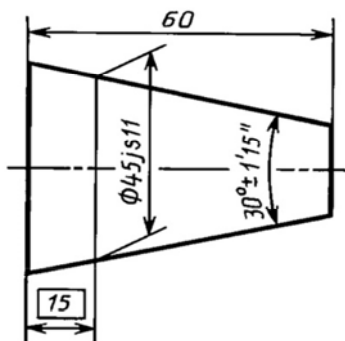


Рис. 5.8. Указание предельных отклонений угла конуса, заданного углом

Если задан допуск диаметра T_D конуса в любом сечении, то значение конусности или угла конуса следует заключать в прямоугольную рамку (рис. 5.9).

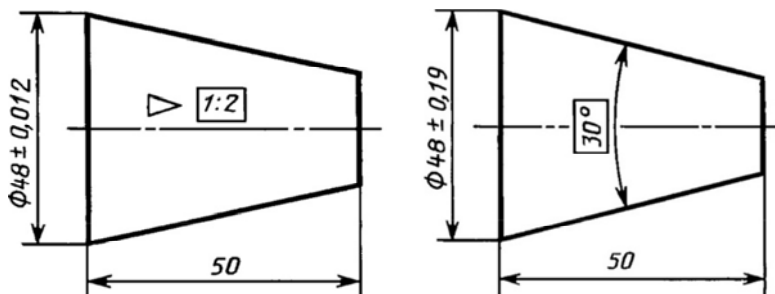


Рис. 5.9. Указание предельных отклонений диаметра конуса в любом его сечении

Если задан допуск T_{D_s} диаметра конуса в заданном сечении, то значение расстояния L_S от базовой плоскости до основной следует заключить в прямоугольную рамку (рис. 5.10, а).

Если заданы предельные отклонения размера, определяющего осевое положение основной плоскости конуса L_S , то значение номинального диаметра D_S следует заключить в прямоугольную рамку (рис. 5.10, б).

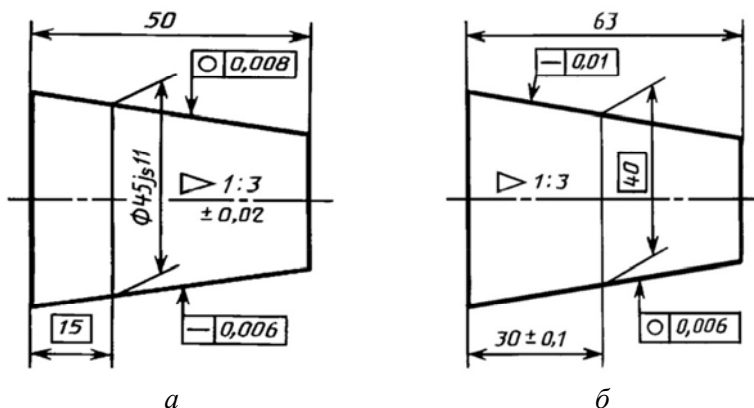


Рис. 5.10. Указание предельных отклонений диаметра конуса в заданном его сечении (а) и расстояния до этого сечения (б)

Методика нормирования точностных требований к угловым размерам размерных элементов деталей, ограниченных плоскими и коническими поверхностями

При нормировании точностных требований по методу аналогий можно воспользоваться рекомендациями, приведенными в табл. 5.3, связывающими степени точности угловых размеров с областями применения угловых и конических размерных элементов.

Таблица 5.3

Рекомендуемые степени точности угловых размеров
в зависимости от области применения угловых и конических
размерных элементов

Степень точности	Область применения угловых и конических размерных элементов
До 5	Применяются при назначении допусков угловых концевых мер
5, 6	Сопрягаемые конические поверхности высокой точности, например точные опоры скольжения, конические элементы герметичных соединений, посадочные элементы сменных измерительных наконечников приборов
7, 8	Детали высокой точности, которые требуют хорошего центрирования при высокой точности соединений, например конические центрирующие поверхности валов и осей, а также сопрягаемые с ними ступицы зубчатых колес и муфт
9–12	Детали нормальной точности, например направляющие планки, фиксаторы, конические элементы валов, втулок и др.
13–15	Детали пониженной точности, например используемые в стопорных устройствах и т. п.
16, 17	Применяются для назначения допусков несопрягаемых угловых размеров

Общий порядок осуществления такого нормирования рассмотрим на примере установления допусков на угловые размеры деталей, представленных на рис. 5.11 и 5.12.

Деталь 1			Деталь 2		
A , мм	B , мм	H , мм	A_1 , мм	B_1 , мм	H , мм
80	35	40	160	40	30

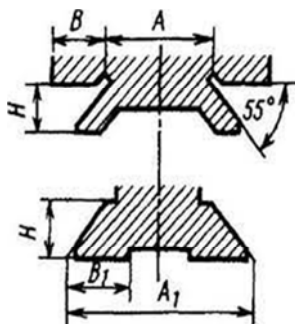


Рис. 5.11. Объекты нормирования (вариант А)

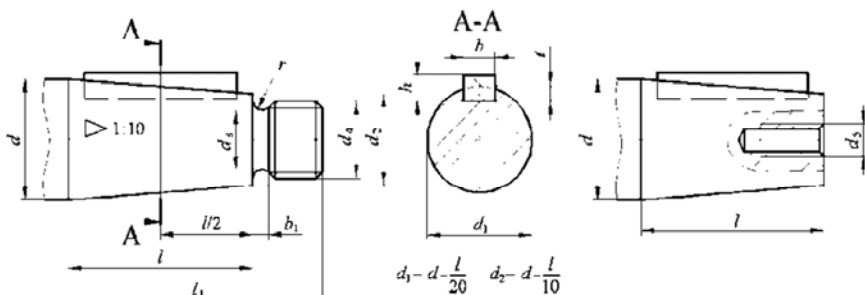


Рис. 5.12. Объекты нормирования (вариант Б)

В первом случае (вариант А) задача состоит в назначении допуска на угол призматического элемента детали, ограниченного двумя номинально плоскими поверхностями. Пусть, например, пользуясь методом аналогов или прецедентов, используя рекомендации табл. 5.3, назначена 10-я степень точности рассматриваемого углового размера. Для назначения требуемого углового допуска AT'_α в соответствии с ГОСТ 8908-2002, следует исходить из установленной степени точности для нормируемого угла и длины меньшей его стороны L_1 . В соответствии с представленными исходными данными для подлежащих нормированию объектов, у детали 1 длина одной стороны нормируемого угла составляет $B = 35$ мм, а длина другой стороны, обозначим

ее буквой S , определяется как $S = H / \cos 35^\circ = 40 / 0,8192 = 48,8$ мм. Тогда, пользуясь таблицей 3 ГОСТ 8908-2002 (прил. 12) для 10-й степени точности нормируемого угла и $L_1 = B = 35$ мм, для него получим $AT'_\alpha = 5'$. Приняв за основу симметричную схему расположения поля допуска на угол нормируемый угловой размер на чертеже детали предлагается указать следующим образом: $55^\circ \pm 2' 30''$.

В отношении деталей, приведенных на рис. 5.12, сформулируем задачу нормирования точности размерных элементов конической формы. С учетом номинального значения конусности, указанного на чертеже, для нормирования угла конуса в этом случае следует использовать вид углового допуска AT_D , и, согласно ГОСТ 8908-2002 (прил. 12), величина такого допуска зависит от установленной степени точности и длины L нормируемого конического размерного элемента, измеряемой вдоль его оси. Предположим, что конструктором назначена 7-я степень точности углов рассматриваемых размерных элементов и их длина составляет $L = l = 100$ мм. Тогда при таких исходных данных по таблице 3 ГОСТ 8908-2002 определяем, что допуск AT_D может составлять 25 мкм. Для обозначения такого допуска на чертеже может быть использована одна из схем, представленных на рис. 5.7.

Дополнительные задания

Задание 1. Для детали 2, представленной на рис. 5.11, пользуясь описанной выше общей методикой нормирования угловых размеров деталей, назначить допуск AT_h для выделенного углового размера, приняв за основу 8-ю степень точности. Записать обозначение данного угла в окончательном виде так, как оно должно быть представлено на чертеже детали, пользуясь симметричной схемой расположения поля допуска на угол.

Задание 2. Для всех угловых размеров детали, номинальные значения которых указаны на чертеже (рис. 5.13), назначить соответствующие угловые допуски, исходя из данных чертежа и приведенных там же табличных исходных данных. Записать обозначения всех выделенных углов в окончательном виде так, как они должны быть представлены на чертеже детали с учетом указаний относительно схем расположения полей угловых допусков, содержащихся в таблице исходных данных.

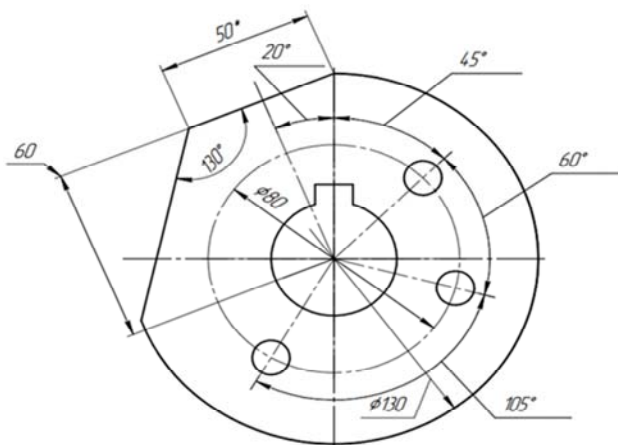


Рис. 5.13. Объект нормирования

Номинальное значение нормируемого угла	Степень точности	Вид углового допуска	Схема расположения поля углового допуска
130°	8	AT_h	Симметричная
20°	10	AT_h	Симметричная
45°	9	AT'_a	Весь допуск «в плюс»
60°	11	AT'_a	Симметричная
105°	14	AT'_a	Симметричная

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое угол, нормальный угол и уклон?
2. Что такое коническая поверхность, конус и конусность?
3. Перечислите основные (определяющие) параметры внутренних и наружных конусов.
4. Сколько и какие виды допусков установлено на угловые размерные элементы деталей?
5. Сколько степеней точности установлено на угловые размерные элементы детали? Какая степень точности является самой грубой?
6. Какие допускаются варианты расположения углового допуска относительно номинального угла?
7. В зависимости от каких параметров задаются допуски углов AT_a и AT'_a ?
8. В зависимости от каких параметров задаются допуски углов AT_h и AT_D ?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Схемы расположения основных отклонений отверстий и валов

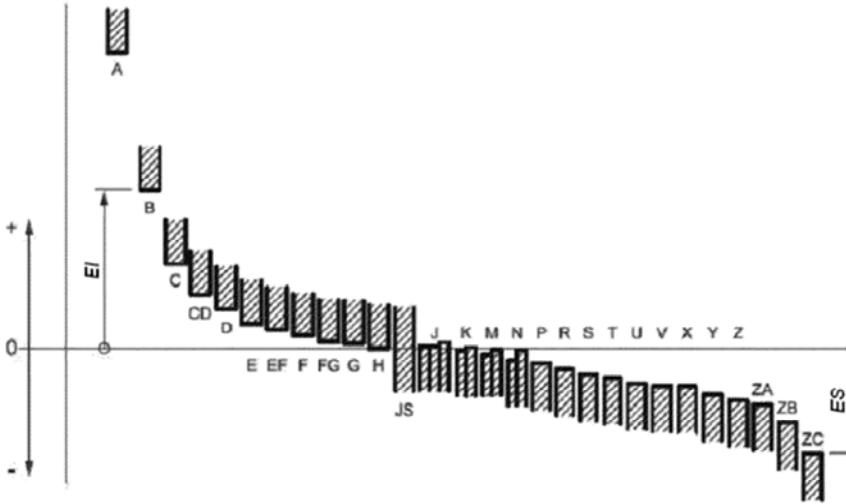


Рис. П1.1. Отверстия (внутренние размерные элементы)

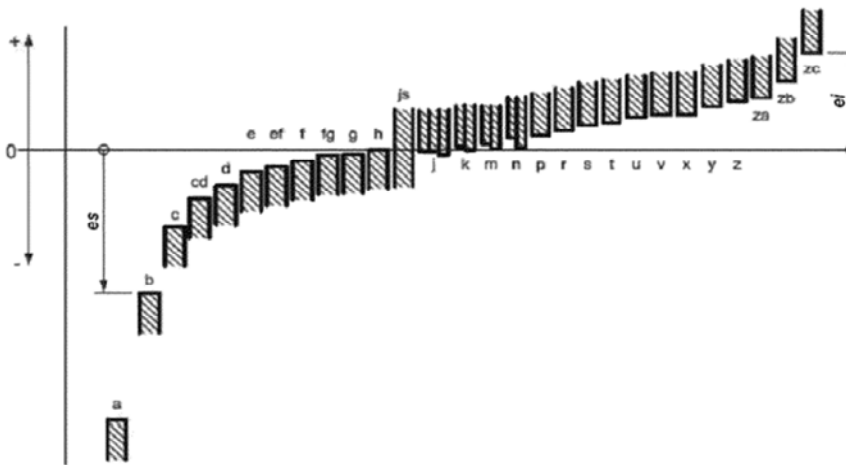


Рис. П1.2. Валы (наружные размерные элементы)

Приложение 2

Таблица П2.1

Значения основных отклонений валов от а до j

Номинальный размер, мм	Значение основного отклонения, мкм																
	Св.	Верхнее предельное отклонение es															
		Для всех квалитетов															
		a*	b*	c	cd	d	e	ef	f	fg	g	h	js	Нижнее предельное отклонение ei			
	До вклоч.													IT5 и IT6	IT7	IT8	
-	3	-270	-140	-60	-34	-20	-14	-10	-6	-4	-2	0		-2	-4	-6	
3	6	-270	-140	-70	-46	-30	-20	-14	-10	-6	-4	0		-2	-4		
6	10	-280	-150	-80	-56	-40	-25	-18	-13	-8	-5	0		-2	-5		
10	14	-290	-150	-95	-70	-50	-32	-23	-16	-10	-6	0		-3	-6		
14	18																
18	24																
24	30	-300	-160	-110	-85	-65	-40	-28	-20	-12	-7	0		-4	-8		
30	40	-310	-170	-120	-100	-80	-50	-35	-25	-15	-9	0		-5	-10		
40	50	-320	-180	-130													
50	65	-340	-190	-140													
65	80	-360	-200	-150		-100	-60		-30		-10	0		-7	-12		
80	100	-380	-220	-170		-120	-72		-36		-12	0		-9	-15		
100	120	-410	-240	-180													
120	140	-460	-260	-200													
140	160	-520	-280	-210		-145	-85		-43		-14	0		-11	-18		
160	180	-580	-310	-230													
180	200	-660	-340	-240													
200	225	-740	-380	-260		-170	-100		-50		-15	0		-13	-21		
225	250	-820	-420	-280													
250	280	-920	-480	-300		-190	-110		-56		-17	0		-16	-26		

* Основные отклонения а и b не применяются для номинальных размеров до 1 мм включительно.

Значения основных отклонений валов от k до zc

Номинальный размер, мм	Значение основного отклонения, мкм																
	Св. П4 до П7 включ.		До П3 включ. и св. П7		Для всех квалитетов												Нижнее предельное отклонение ei
Св.	До включ.	k	m	n	p	r	s	t	u	v	x	y	z	za	zb	zc	
-	3	0	+2	+4	+6	+10	+14		+18		+20		+26	+32	+40	+60	
3	6	+1	+4	+8	+12	+15	+19		+23		+28		+35	+42	+50	+80	
6	10	+1	+6	+10	+15	+19	+23		+28		+34		+42	+52	+67	+97	
10	14	+1	+7	+12	+18	+23	+28		+33	+39	+45		+50	+64	+90	+130	
14	18												+60	+77	+108	+150	
18	24								+41	+47	+54	+63	+73	+98	+136	+188	
24	30	+2	+8	+15	+22	+28	+35	+41	+48	+55	+64	+75	+88	+118	+160	+218	
30	40							+48	+60	+68	+80	+94	+112	+148	+200	+274	
40	50	+2	+9	+17	+26	+34	+43	+54	+70	+81	+97	+114	+136	+180	+242	+325	
50	65	+2	+11	+20	+32	+43	+53	+66	+87	+102	+122	+144	+172	+226	+300	+405	
65	80							+43	+59	+75	+102	+145	+174	+210	+274	+480	
80	100							+51	+71	+91	+124	+146	+178	+214	+258	+445	
100	120	+3	+13	+23	+37	+54	+79	+104	+144	+172	+210	+254	+310	+400	+525	+690	
120	140							+63	+92	+122	+170	+202	+248	+300	+365	+470	
140	160	+3	+15	+27	+43	+65	+100	+134	+190	+228	+280	+340	+415	+535	+700	+900	
160	180							+68	+108	+146	+210	+252	+310	+380	+465	+600	
180	200							+77	+122	+166	+236	+284	+350	+470	+620	+800	
200	225	+4	+17	+31	+50	+80	+130	+180	+258	+318	+385	+475	+520	+670	+880	+1150	
225	250							+84	+140	+196	+284	+340	+425	+520	+640	+820	
250	280	+4	+20	+34	+56	+94	+158	+218	+315	+385	+475	+580	+710	+920	+1200	+1550	

Значения допусков для номинальных размеров до 3150 мм

Номинальный размер, мм	Значение основного отклонения																				
	МКМ										ММ										
	для качества																				
Св.	До включ.	ПТ01	ПТ0	ПТ1	ПТ2	ПТ3	ПТ4	ПТ5	ПТ6	ПТ7	ПТ8	ПТ9	ПТ10	ПТ11	ПТ12	ПТ13	ПТ14	ПТ15	ПТ16	ПТ17	ПТ18
—	3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	0,1	0,14	0,25	0,4	0,6	1	1,4
3	6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	0,12	0,18	0,3	0,48	0,75	1,2	1,8
6	10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	0,15	0,22	0,36	0,58	0,9	1,5	2,2
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	0,18	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7
18	30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	0,21	0,33	0,52	0,84	1,3	2,1	3,3
30	50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	0,25	0,39	0,62	1	1,6	2,5	3,9
50	80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	0,3	0,46	0,74	1,2	1,9	3	4,6
80	120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	0,35	0,54	0,87	1,4	2,2	3,5	5,4
120	180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	0,4	0,63	1	1,6	2,5	4	6,3
180	250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	0,46	0,72	1,15	1,85	2,9	4,6	7,2
250	315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	0,52	0,81	1,3	2,1	3,2	5,2	8,1

Приложение 4

Предельные отклонения размеров в зависимости от класса точности

Класс точности	Предельные отклонения для интервалов номинальных размеров										
	от 0,5 до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 30	св. 30 до 120	св. 120 до 400	св. 400 до 1000	св. 1000 до 2000	св. 2000 до 4000	св. 4000 до 6000	св. 6000 до 8000	св. 8000 до 10000
Точный <i>f</i>	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	—	—	—	—
Средний <i>m</i>	±0,10	±0,10	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±5	±8
Грубый <i>s</i>	±0,20	±0,30	±0,5	±0,80	±1,2	±2,0	±3,0	±4	±8	±12	±20
Очень грубый <i>v</i>	—	±0,50	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0	±6,0	±8	±12	±20	±30
П р и м е ч а н и е : для размеров менее 0,5 мм предельные отклонения следует указывать непосредственно у номинального размера.											

Приложение 6

Значения функции $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$

Z	Φ(z)	Z	Φ(z)	Z	Φ(z)	Z	Φ(z)
0,01	0,0040	0,31	0,1217	0,72	0,2642	1,80	0,4641
0,02	0,0080	0,32	0,1255	0,74	0,2703	1,85	0,4678
0,03	0,0120	0,33	0,1293	0,76	0,2823	1,90	0,4713
0,04	0,0160	0,34	0,1331	0,78	0,2823	1,95	0,4744
0,05	0,0199	0,35	0,1368	0,80	0,2881	2,00	0,4772
0,06	0,0239	0,36	0,1406	0,82	0,2939	2,10	0,4821
0,07	0,0279	0,37	0,1443	0,84	0,2995	2,20	0,4851
0,08	0,0319	0,38	0,1480	0,86	0,3051	2,30	0,4893
0,09	0,0359	0,39	0,1517	0,88	0,3106	2,40	0,4918
0,10	0,0398	0,40	0,1554	0,90	0,3159	2,50	0,4938
0,11	0,0438	0,41	0,1591	0,92	0,3212	2,60	0,4953
0,12	0,0478	0,42	0,1628	0,94	0,3264	2,70	0,4965
0,13	0,0517	0,43	0,1664	0,96	0,3315	2,80	0,4974
0,14	0,0557	0,44	0,1700	0,98	0,3365	2,90	0,4981
0,15	0,0596	0,45	0,1736	1,00	0,3413	3,00	0,4986
0,16	0,0636	0,46	0,1772	1,05	0,3531	3,20	0,4993
0,17	0,0675	0,47	0,1808	1,10	0,3643	3,40	0,4996
0,18	0,0714	0,48	0,1844	1,15	0,3749	3,60	0,4998
0,19	0,0753	0,49	0,1879	1,20	0,3849	3,80	0,4999
0,20	0,0793	0,50	0,1915	1,25	0,3944	4,00	0,4999
0,21	0,0832	0,52	0,1985	1,30	0,4032	4,50	0,4999
0,22	0,0871	0,54	0,2054	1,35	0,4115	5,00	0,4999
0,23	0,0910	0,56	0,2123	1,40	0,4192		
0,24	0,0948	0,58	0,2190	1,45	0,4265		
0,25	0,0987	0,60	0,2257	1,50	0,4332		
0,26	0,1020	0,62	0,2324	1,55	0,4394		
0,27	0,1064	0,64	0,2389	1,60	0,4452		
0,28	0,1103	0,66	0,2454	1,65	0,4505		
0,29	0,1141	0,68	0,2517	1,70	0,4554		
0,30	0,1179	0,70	0,2580	1,75	0,4599		

Приложение 7

Допуски плоскостности и прямолинейности

Интервалы номинальных размеров, мм	Степени точности																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Свыше	мкм																
До	мм																
—	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
10	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
16	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
25	40	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
40	63	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
63	100	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
100	160	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
160	250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
250	400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
400	630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
630	1000	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5

Примечание: под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка. Если нормируемый участок не задан, то длина большей стороны поверхности или номинальный больший диаметр торцевой поверхности.

Приложение 8

Допуски цилиндричности, круглости, профиля продольного сечения

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Свыше	До	мкм										мм					
–	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
3	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
10	18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
18	30	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
30	50	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
50	120	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
120	250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
250	400	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
400	630	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2

Приложение 9

Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Свыше	До	мкм										мм					
–	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
10	16	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
16	25	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
25	40	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
40	63	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
63	100	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
100	160	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
160	250	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
250	400	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
400	630	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
630	1000	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4

Пр и м е ч а н и е : при назначении допусков параллельности, перпендикулярности, наклона под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка или номинальная длина всей рассматриваемой поверхности (для допуска параллельности – номинальная длина большей стороны), если нормируемый участок не задан.

Приложение 10

Допуски радиального биения и полного радиального биения. Допуски соосности, симметричности, пересечения осей в диаметральном выражении

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Свыше	До	мкм										мм					
–	3	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
3	10	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
10	18	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
18	30	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
30	50	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
50	120	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5
120	250	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	0,8	1,2	2	3
250	400	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1	1,6	2,5	4
400	630	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	500	800	1,2	2	3	5
630	1000	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	600	1000	1,6	2,5	4	6

Пр и м е ч а н и е : при назначении допусков соосности, симметричности, пересечения осей если база не указывается, то допуск определяется по элементу с большим размером.

Приложение 11

Допуски соосности, симметричности и пересечения осей в радиусном выражении

Интервалы номинальных размеров, мм		Степени точности															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Свыше	До	мкм										мм					
–	3	0,4	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	0,1	0,16	0,15	0,4
3	10	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	0,12	0,2	0,3	0,5
10	18	0,6	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	0,16	0,25	0,4	0,6
18	30	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	0,2	0,3	0,5	0,8
30	50	1	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	0,25	0,4	0,6	1
50	120	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	0,3	0,5	0,8	1,2
120	250	1,6	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	0,4	0,6	1	1,6
250	400	2	3	5	8	12	20	30	50	80	120	200	300	0,5	0,8	1,2	2
400	630	2,5	4	6	10	16	25	40	60	100	160	250	400	0,6	1	1,6	2,5

Пр и м е ч а н и е : 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.

Приложение 12

Таблица П12.1

Допуски углов степеней точности 7, 8

Интервал длин $L; L_1; \text{мм}$		Степень точности							
		7				8			
		AT_α		AT'_α	$AT_h; AT_D,$ мкм	AT_α		AT'_α	$AT_h; AT_D,$ мкм
Свыше	До	мкрад	уг.ед.			мкрад	уг.ед.		
	0	800	2' 45"	2' 30"	До 8	1250	4' 18"	4'	До 12,5
10	16	630	2' 10"	2'	6,3–10	1000	3' 26"	3'	10–16
16	25	500	1' 43"	1' 40"	8–12,5	800	2' 45"	2' 30"	12,5–20
25	40	400	1' 22"	1' 20"	10–16	630	2' 10"	2'	16–25
40	63	315	1' 05"	1'	12,5–20	500	1' 43"	1' 40"	20–32
63	100	250	52"	50"	16–25	400	1' 22"	1' 20"	25–40
100	160	200	41"	40"	20–32	315	1' 05"	1'	32–50
160	250	160	33"	32"	25–40	250	52"	50"	40–63
250	400	125	26"	26"	32–50	200	40"	40"	50–80
400	630	100	21"	20"	40–63	160	33"	32"	63–100

Таблица П12.2

Допуски углов степеней точности 9, 10

Интервал длин $L; L_1; \text{мм}$		Степень точности							
		9				10			
		AT_α		AT'_α	$AT_h; AT_D,$ мкм	AT_α		AT'_α	$AT_h; AT_D,$ мкм
Свыше	До	мкрад	уг.ед.			мкрад	уг.ед.		
	10	2000	6' 52"	6'	До 20	3150	10' 49"	10'	До 32
10	16	1600	5' 30"	5'	16–25	2500	8' 35"	8'	25–40
16	25	1250	4' 18"	4'	20–32	2000	6' 52"	6'	32–50
25	40	1000	3' 26"	3'	25–40	1600	5' 30"	5'	40–63
40	63	800	2' 45"	2' 30"	32–50	1250	4' 18"	4'	50–80
63	100	630	2' 10"	2'	40–63	1000	3' 26"	3'	63–100
100	160	500	1' 43"	1' 40"	50–80	800	2' 45"	2' 30'	80–125
160	250	400	1' 22"	1' 20"	63–100	630	2' 10"	2'	100–160
250	400	315	1' 05"	1'	80–125	500	1' 43"	1' 40"	125–200
400	630	250	52"	50"	100–160	400	1' 22"	1' 20"	160–250

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казанцева, Н. К. Взаимозаменяемость и нормирование точности : учебное пособие / Н. К. Казанцева. – М. : ФЛИНТА; Издательство Уральского федерального университета, 2017. – 176 с.
2. Миронов, Э. Г. Метрология и технические измерения : учебное пособие / Э. Г. Миронов, Н. П. Бессонов. – М. : КНОРУС, 2016. – 422 с.
3. Сигов, А. С. Метрология, стандартизация и технические измерения : учебник / А. С. Сигов, В. И. Нефедов. – М. : Высшая школа, 2008. – 624 с.
4. Соломахо, В. Л. Нормирование точности и технические измерения : учебник / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 367 с.
5. Соломахо, В. Л. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович. – Минск : Дизайн ПРО, 2004. – 296 с.
6. Третьяк, Л. Н. Взаимозаменяемость и нормирование точности : учебное пособие / Л. Н. Третьяк, А. С. Вольнов. – М. : Юрайт, 2023. – 362 с.
7. Шишмарев, В. Ю. Метрология, стандартизация, сертификация и техническое регулирование : учебник / В. Ю. Шишмарев. – М. : Академия, 2016. – 320 с.

Учебное издание

СОЛОМАХО Владимир Леонтьевич
СЕРЕНКОВ Павел Степанович
СОКОЛОВСКИЙ Сергей Степанович и др.

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ (ПРАКТИКУМ)

Учебное пособие
для студентов специальности 1–53 01 01–01
«Автоматизация технологических процессов и производств
(машиностроение и приборостроение)»

В 2 частях

Часть 1

Редактор *Н. Ю. Казакова*
Компьютерная верстка *А. В. Степанкиной*

Подписано в печать 16.04.2024. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 5,00. Уч.–изд. л. 3,25. Тираж 110. Заказ 861.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.