

С.С. Клименков, А.Н. Голубев

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Учебник

Витебск
2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

С.С. Клименков, А.Н. Голубев

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Учебник

Допущено
Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебника для студентов учреждений высшего
образования по специальностям «Технология машиностроения»,
«Производство изделий на основе трехмерных технологий»,
«Компьютерная мехатроника»

Витебск
2023

УДК 621.713+531.7.08

ББК 34.43+34.9

К 49

Рецензенты:

доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей»
Брестского государственного технического университета,
к.т.н. Медведев О.А.;

директор ГНУ «Институт технической акустики НАН Беларуси»,
д.т.н. Рубаник В.В.

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским
советом УО «ВГТУ», протокол № 4 от 30.12.2022.

Клименков, С. С.

К 49 Нормирование точности и технические измерения : учебник /
С. С. Клименков, А. Н. Голубев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – 252 с.
ISBN 978-985-481-734-7

В учебнике изложены основные принципы построения системы допусков и посадок для типовых соединений, сущность и методы нормирования точности параметров макро- и микрогеометрии поверхностей, средства контроля и измерения линейных и угловых размеров, методы контроля и измерений основными универсальными и автоматизированными средствами.

Учебник предназначен для студентов специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий» и 1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника» при изучении дисциплины «Нормирование точности и технические измерения». Может быть полезным для инженерно-технических работников.

УДК 621.713+531.7.08

ББК 34.43+34.9

ISBN 978-985-481-734-7

УО «ВГТУ», 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ.....	8
1.1 Точность и взаимозаменяемость	8
1.2 Система допусков на линейные размеры	9
1.2.1 Основные термины и определения	9
1.2.2 Основные отклонения	11
1.2.3 Классы допусков.....	12
1.2.3.1 Нанесение предельных отклонений размеров и обозначение классов допусков на чертежах	14
1.2.3.2 Выбор классов допусков.....	16
1.2.4 Посадки.....	17
1.2.4.1 Образование посадок	17
1.2.4.2 Посадки в системах отверстия и вала	19
1.2.4.3 Обозначения посадок	21
1.2.4.4 Применение внесистемных и системных посадок.....	22
1.2.4.5 Назначение посадок и квалитетов	23
1.2.4.6 Примеры использования посадок	25
1.2.4.7 Области ориентировочного применения квалитетов	26
1.2.5 Классы допусков и посадки соединений деталей из пластмасс	27
1.3 Допуски формы и расположения поверхностей	29
1.3.1 Общие сведения, термины и определения	29
1.3.2 Отклонения и допуски формы.....	32
1.3.3 Отклонения и допуски расположения поверхностей.....	38
1.3.4 Суммарные отклонения и допуски формы и расположения	49
1.3.5 Независимые и зависимые допуски.....	56
1.3.6 Назначение степеней точности и допусков формы и расположения поверхностей.....	59
1.3.7 Примеры назначения степеней точности формы и расположения	61
1.3.8 Общие допуски формы и расположения поверхностей.....	64
1.4 Шероховатость поверхности.....	66
1.4.1 Общие сведения, термины и определения	66
1.4.2 Параметры шероховатости поверхности.....	68
1.4.3 Назначение параметров шероховатости.....	71
1.4.4 Обозначение параметров шероховатости на чертежах.....	78
1.5 Допуски и посадки типовых соединений	80
1.5.1 Нормирование требований к точности угловых размеров и конических поверхностей	80
1.5.1.1 Угловые размеры.....	80
1.5.1.2 Допуски и углы конусов	83
1.5.1.3 Степени точности	84
1.5.1.4 Посадки конических соединений	85
1.5.1.5 Нормирование допусков	87
1.5.1.6 Обозначения гладких конических соединений на чертежах	89

1.5.2	Нормирование точности шпоночных соединений	90
1.5.3	Нормирование точности шлицевых соединений	93
1.5.3.1	Основные размеры	93
1.5.3.2	Допуски и посадки	95
1.5.3.3	Условные обозначения шлицевых соединений	97
1.5.4	Нормирование точности резьбовых соединений	99
1.5.4.1	Общие сведения, основные элементы и параметры резьбы ...	99
1.5.4.2	Допуски резьбы	101
1.5.4.3	Резьбовые посадки с зазором	105
1.5.4.4	Выбор полей допусков посадок с зазором	106
1.5.4.5	Резьбы с натягами и переходными посадками	108
1.5.4.6	Обозначение резьбовых сопряжений на чертежах	111
1.5.5	Нормирование точности размеров и посадки подшипников качения	112
1.5.5.1	Точность подшипников качения	112
1.5.5.2	Назначение посадок в сопряжениях с подшипниками качения	114
1.5.5.3	Условное обозначение посадок на чертежах	119
1.5.6	Нормирование точности зубчатых колес и передач	120
1.5.6.1	Общие сведения, термины, определения и обозначения	120
1.5.6.2	Показатели кинематической точности колес и передач	121
1.5.6.3	Показатели плавности работы колес и передач	125
1.5.6.4	Показатели контакта зубьев	128
1.5.6.5	Степени точности	130
1.5.6.6	Виды сопряжений зубьев в передаче	132
1.5.6.7	Обозначение параметров зубчатых колес на чертежах	133
1.6	Размерные цепи	134
1.6.1	Общие сведения, термины и определения	134
1.6.2	Цели расчета размерных цепей	137
1.6.3	Методы расчета размерных цепей при обеспечении полной взаимозаменяемости (расчет на «максимум-минимум»)	137
1.6.4	Методы обеспечения точности замыкающих звеньев размерных цепей	140
2	СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ	142
2.1	Калибры для контроля цилиндрических отверстий и валов	142
2.1.1	Общие сведения	142
2.1.2	Расчёт предельных калибров для контроля отверстий и валов ...	145
2.2	Калибры для контроля конических отверстий и валов	149
2.3	Калибры для контроля цилиндрических резьб	154
3	УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ	157
3.1	Термины и определения	157
3.2	Штангенинструменты	158
3.3	Микрометрические инструменты	163
3.4	Механические измерительные приборы	167
3.4.1	Классификация механических измерительных приборов	167
3.4.2	Приборы с зубчатой передачей	167

3.4.3 Приборы с рычажно-зубчатой передачей	168
3.4.4 Приборы пружинного типа	175
3.5 Пневматические измерительные приборы	179
3.5.1 Классификация и конструкция приборов.....	179
3.5.2 Контроль глубоких отверстий пневматическими приборами.....	183
3.6 Оптико-электронные приборы.....	185
3.6.1 Микроскопы инструментальные	185
3.6.2 Проекторы	187
3.6.3 Измерительные оптоэлектронные машины	188
3.7 Приборы для измерения углов.....	190
3.7.1 Угломеры	190
3.7.2 Синусные линейки	190
3.7.3 Уровни	193
3.8 Выбор средств измерений	197
4 ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ	200
4.1 Измерение размеров цилиндрических поверхностей.....	200
4.1.1 Измерение отверстий.....	200
4.1.2 Измерение валов.....	201
4.2 Измерение элементов шлицевого соединения с прямобочным профилем.....	203
4.3 Измерение элементов резьбы.....	206
4.3.1 Измерение наружного диаметра.....	206
4.3.2 Измерение среднего диаметра.....	207
4.4 Методы измерения отклонений формы и расположения поверхностей.....	209
4.4.1 Измерения отклонений от прямолинейности	209
4.4.2 Измерение отклонений от плоскостности.....	211
4.4.3 Измерение отклонений от круглости.....	211
4.4.4 Измерение отклонений от цилиндричности	213
4.4.5 Измерение отклонений профиля продольного сечения.....	213
4.4.6 Измерение отклонений от параллельности.....	214
4.4.7 Измерение отклонений наклона плоскости	214
4.4.8 Измерение отклонений от перпендикулярности	215
4.4.9 Измерения отклонений от соосности.....	217
4.4.10 Измерение отклонений от симметричности	217
4.4.11 Измерение отклонения от пересечения осей	218
4.4.12 Измерение радиального биения	219
4.4.13 Измерение торцового биения	220
4.5 Определение параметров шероховатости.....	220
4.5.1 Визуальный контроль	220
4.5.2 Приборы для измерений параметров шероховатости	222
5 АВТОМАТИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ	227
5.1 Принципы построения приборов, применяемых для активного контроля	227
5.2 Устройства активного контроля	230

5.2.1 Одноконтактные приборы активного контроля	230
5.2.2 Двухконтактные приборы активного контроля	232
5.2.3 Трехконтактные приборы активного контроля	233
5.3 Приборы активного контроля деталей с прерывистыми поверхностями	234
5.4 Приборы с затормаживанием измерительных наконечников	235
5.5 Автоподладчики	237
5.6 Координатно-измерительные машины (КИМ)	237
5.6.1 Общие сведения о КИМ	237
5.6.2 Базовый узел КИМ	241
5.6.3 Узлы координатных перемещений	243
5.6.4 Измерительные головки	245
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	248

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и освоение современной техники и технологий невозможно без умения читать и разрабатывать чертежи. По чертежу детали выясняют форму и размеры всех ее элементов, назначенный материал, шероховатости поверхностей, показатели свойств материалов, покрытий, предельные отклонения размеров, допуски формы и расположения поверхностей. Необходимо не только умение правильно читать чертежи, но и грамотно, технически и экономически обоснованно назначать эти параметры. Настоящий учебник предназначен помочь студентам приобрести теоретические знания в определении точностных параметров изделий.

Учебник подготовлен в соответствии с образовательными стандартами, учебными планами учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» и учебными программами по дисциплине «Нормирование точности и технические измерения» для специальностей 1-36 01 01 «Технология машиностроения», 1-36 07 02 «Производство изделий на основе трехмерных технологий», 1-55 01 03 «Компьютерная мехатроника».

Особенность дисциплины заключается в том, что в ней содержится большое количество информации, которую следует понимать в интерпретации, изложенной в официальных технических документах (стандартах). Кроме того, требования к точности на чертежах приводятся в виде условных обозначений, которые необходимо понимать и уметь расшифровывать.

В разделе 1 изложены основные принципы построения систем допусков и посадок для типовых соединений, сущность и методы нормирования точности параметров макро- и микрогеометрии поверхностей. В разделе 2 рассмотрены средства контроля линейных и угловых размеров, в разделе 3 – универсальные средства измерений. В разделе 4 излагаются методы использования средств измерений, раздел 5 посвящен автоматизации средств измерений и контроля.

При подготовке учебника авторы использовали многолетний опыт преподавания рассматриваемой дисциплины в вузе; за основу данного издания было принято учебное пособие: Клименков, С.С. Нормирование точности изделий : учебное пособие / С. С. Клименков, А.Н. Голубев. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – 260 с.

1 НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗДЕЛИЙ

1.1 Точность и взаимозаменяемость

Точность – это степень приближения значения действительного параметра изделия, процесса и т.д. к его заданному (номинальному) значению. Отступление действительных параметров от заданных называется *погрешностью*, которая неизбежна и в определенных пределах допустима. Установление допустимой погрешности называется *нормированием точности*.

В машиностроении основными причинами возникновения погрешностей являются: погрешности станка; износ инструмента; упругие деформации в системе станок – приспособление – инструмент – деталь (система СПИД); температурные деформации системы СПИД; погрешности измерений, включая и погрешности средств измерений; погрешности исходной заготовки; низкая квалификация и возможные ошибки рабочего. Величины многих погрешностей нельзя определить заранее, поскольку они образуются под действием случайных факторов (например, таких как изменение механических свойств заготовок, величин припусков, температуры и т.д.).

Перечень причин возникновения погрешностей показывает, что изготовление совершенно одинаковых деталей невозможно. Поэтому принцип нормирования точности заключается в оптимальном назначении погрешностей, удовлетворяющих эксплуатационным требованиям и условиям обработки.

Нормирование точности связано с необходимостью обеспечения взаимозаменяемости изделий.

Взаимозаменяемость – это принцип назначения при конструировании требований к размерам элементов деталей, узлов, механизмов, обеспечивающий возможность их изготовления и сборки без дополнительной обработки при соблюдении технических требований к изделию.

Различают следующие виды взаимозаменяемости.

Полная взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость всех без исключения деталей и узлов, которые устанавливаются при сборке или ремонте без дополнительной обработки, регулировки, сортировки и т.д.

Неполная (ограниченная) взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость, при которой не обеспечивается заданная точность сборки при любых допустимых сочетаниях размеров деталей и узлов, составляющих сборку. Требуемая точность сборки достигается с некоторым риском, поэтому возникает необходимость в дополнительных технологических операциях, таких как групповой подбор деталей (селективная

сборка), а также подгонка и регулировка отдельных элементов деталей (компенсаторов).

Внешняя взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость по входным и выходным параметрам, присоединительным размерам, конструктивному исполнению.

Внутренняя взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость деталей, входящих в узел, или узлов, составляющих изделие.

Функциональная взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость изделий по оптимальным эксплуатационным параметрам.

В результате взаимозаменяемости упрощаются процессы проектирования, сборки, ремонта; обеспечивается широкая специализация, кооперирование, организация поточного производства, а в конечном итоге, снижается стоимость изделий.

1.2 Система допусков на линейные размеры

1.2.1 Основные термины и определения

Основные термины и определения, относящиеся к системе допусков на линейные размеры, установлены в ГОСТе 25346-2013 (соответствует стандарту Международной организации по стандартизации ISO 286-1: 2010).

Размерный элемент – геометрическая форма, определяемая линейным или угловым размером. Размерными элементами могут быть цилиндр, сфера, две параллельные плоскости, конус, призма.

Отверстие – внутренний (охватываемый) размерный элемент детали (включая внутренние элементы, не являющиеся цилиндрическими).

Вал – наружный (охватываемый) размерный элемент детали (включая наружные элементы, не являющиеся цилиндрическими).

Номинальный размер (D , d) – это размер геометрического элемента идеальной формы, определенной чертежом. Номинальный размер используют для расчета предельных размеров.

Реальная поверхность детали – совокупность физически существующих геометрических элементов, которые отделяют всю деталь от окружающей среды.

Действительный размер – размер, установленный измерением с допустимой погрешностью.

Предельные размеры – два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться или которым может быть равен действительный размер годного изделия. Эти размеры имеют название – *верхний предельный размер* (D_{max} , d_{max}) и *нижний предельный размер* (D_{min} , d_{min}). Предельные размеры могут быть больше или меньше

номинального размера, один из предельных размеров может быть равен номинальному.

Предельное отклонение – алгебраическая разность между одним из предельных размеров и номинальным.

Верхнее предельное отклонение:

$$\text{для отверстия: } ES = D_{\max} - D, \quad (1.1)$$

$$\text{для вала: } es = d_{\max} - d. \quad (1.2)$$

Нижнее предельное отклонение:

$$\text{для отверстия: } EI = D_{\min} - D, \quad (1.3)$$

$$\text{для вала: } ei = d_{\min} - d. \quad (1.4)$$

Допуск – это разность между верхним и нижним предельными размерами или между верхним и нижним предельными отклонениями:

$$\text{допуск отверстия: } TD = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI, \quad (1.5)$$

$$\text{допуск вала: } Td = d_{\max} - d_{\min} = es - ei. \quad (1.6)$$

Интервал допуска – совокупность значений размера между пределами допуска, включая эти пределы. Он определяется значением допуска и его расположением относительно границы номинального размера. Пределы допуска могут располагаться по одну или по обе стороны относительно границы номинального размера. На графическом изображении интервалов допусков (рис. 1.1) номинальному размеру соответствует нулевая линия, которая обычно располагается горизонтально.

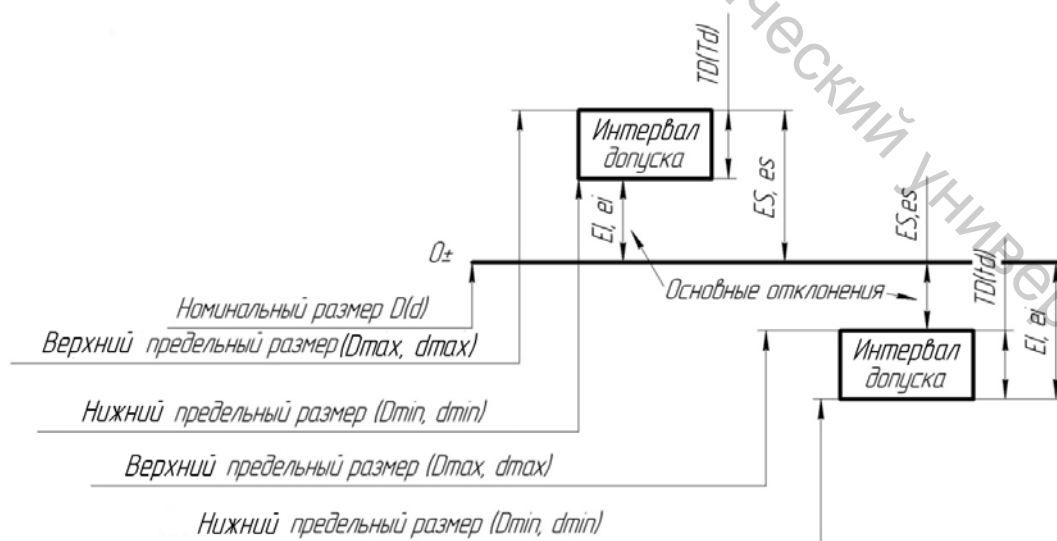


Рисунок 1.1 – Пример графического изображения интервалов допусков

Основное отклонение – предельное отклонение, определяющее расположение интервала допуска относительно номинального размера. Основным является то из предельных отклонений, которое соответствует предельному размеру, ближайшему к номинальному (рис. 1.1).

1.2.2 Основные отклонения

Основные отклонения стандартизованы (ГОСТ 25346-2013). Предусмотрено по 27 вариантов основных отклонений для валов и отверстий. Каждому из основных отклонений соответствует определенный уровень относительно номинального размера (на схемах – относительно нулевой линии), от которого должен начинаться интервал допуска (рис. 1.2).

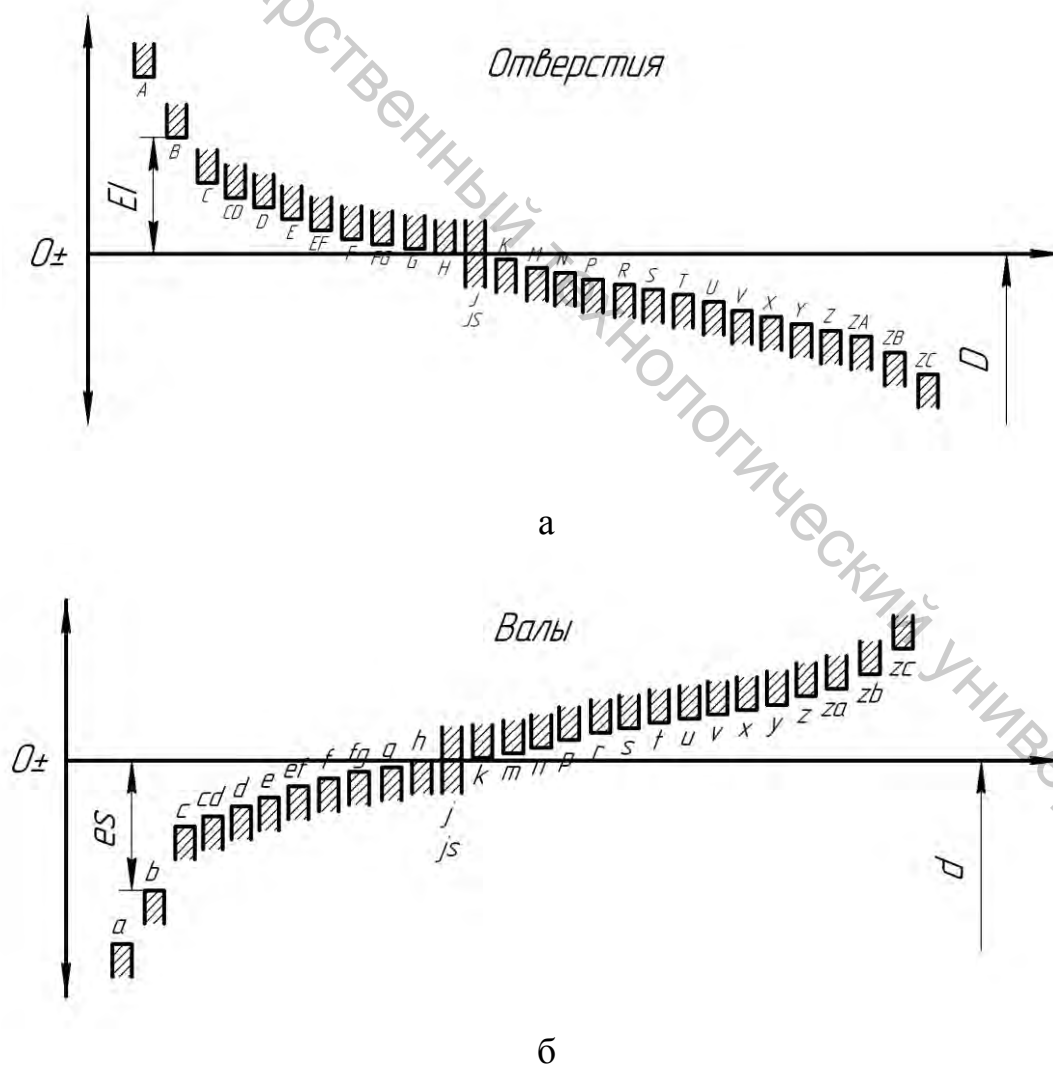


Рисунок 1.2 – Схемы расположения основных отклонений отверстий (а) и валов (б)

Значения основных отклонений, как правило, независимы от допусков. Каждое расположение основного отклонения обозначается латинской буквой – малой для валов и большой для отверстий. Для дополнительных отклонений, введенных в систему ISO, обозначение состоит из двух букв. Это либо отклонения, занимающие промежуточное положение между двумя соседними отклонениями (cd , ef , fg), либо отклонения, располагающиеся за отклонением z (za , zb , zc).

Ряды основных отклонений для отверстий и валов построены на основе правил – общего и специального. Согласно общему правилу, основные отклонения отверстий равны по значению и противоположны по знаку основным отклонениям валов. Например, основные отклонения EI для отверстий от A до H и основные отклонения es для валов от a до h равны по модулю. Для построения некоторых основных отклонений отверстий применяется специальное правило.

Буквой h обозначается верхнее отклонение вала, равное нулю; буквой H – нижнее отклонение отверстия, равное нулю. Буквами js , JS обозначаются симметричные расположения интервалов допусков вала и отверстия относительно нулевой линии.

1.2.3 Классы допусков

Квалитетом называют группу допусков на линейные размеры, характеризующуюся общим обозначением. Квалитеты являются критериями относительной точности. Каждый конкретный квалитет соответствует одному уровню точности для любых номинальных размеров. Установлено 20 квалитетов, которые обозначаются: $IT01$, $IT0$, $IT1$, ..., $IT18$. Самые точные квалитеты $IT01$ и $IT0$ введены дополнительно к основным системным квалитетам $IT1...IT18$.

Классом допуска называют сочетание основного отклонения и квалитета.

Запись, включающая номинальный размер и класс допуска, содержит информацию о значении допуска и положении интервала допуска относительно номинального размера. Значение допуска зависит от номера квалитета и номинального размера.

Весь диапазон номинальных размеров, охватываемых рассматриваемой системой допусков, разделен на *интервалы номинальных размеров*. Для всех номинальных размеров, принадлежащих одному интервалу, значение стандартного допуска для одного и того же квалитета будет одинаковым. Таким образом, деление номинальных размеров на интервалы необходимо для того, чтобы получить ограниченное количество значений стандартных допусков.

Единица допуска – это мера точности, устанавливающая соотно-

шение между величиной допуска и номинальным размером, а также учитывающая влияние технологических, метрологических, конструктивных параметров. Зависимость между единицей допуска и линейным размером установлена экспериментально и для размеров до 500 мм имеет вид:

$$i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D, \text{ мкм}, \quad (1.7)$$

где D – среднее геометрическое из крайних значений интервалов номинальных размеров, мм.

Величина допуска вычисляется по формуле:

$$T = a \cdot i, \quad (1.8)$$

где a – количество единиц допуска, строго постоянное для каждого квалитета (табл. 1.1).

Для квалитетов IT6 и грубее количество единиц допуска возрастает в геометрической последовательности со знаменателем 1,6. Через каждые 5 квалитетов количество единиц допуска увеличивается в 10 раз.

Таблица 1.1 – Соответствия между квалитетами и количеством единиц допуска

IT	01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
a	1	1,4	2	2,7	3,7	5,1	7	10	16	25
IT	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
a	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600	2500

При известных численных значениях номинального диаметра, основного отклонения и допуска можно определить второе отклонение, ограничивающее интервал допуска (рис. 1.3)

Для тех классов допусков, у которых основным является нижнее отклонение, верхнее отклонение вычисляется по формулам:

$$\text{для отверстия } ES = EI + T_D; \quad (1.9)$$

$$\text{для вала } es = ei + T_d. \quad (1.10)$$

Если основное отклонение верхнее, то нижнее отклонение:

$$\text{для отверстия } EI = ES - T_D; \quad (1.11)$$

$$\text{для вала } ei = es - T_d. \quad (1.12)$$

На базе одного интервала номинальных размеров и одного основного отклонения можно назначить по 20 классов допусков для отверстия и вала (по количеству квалитетов).

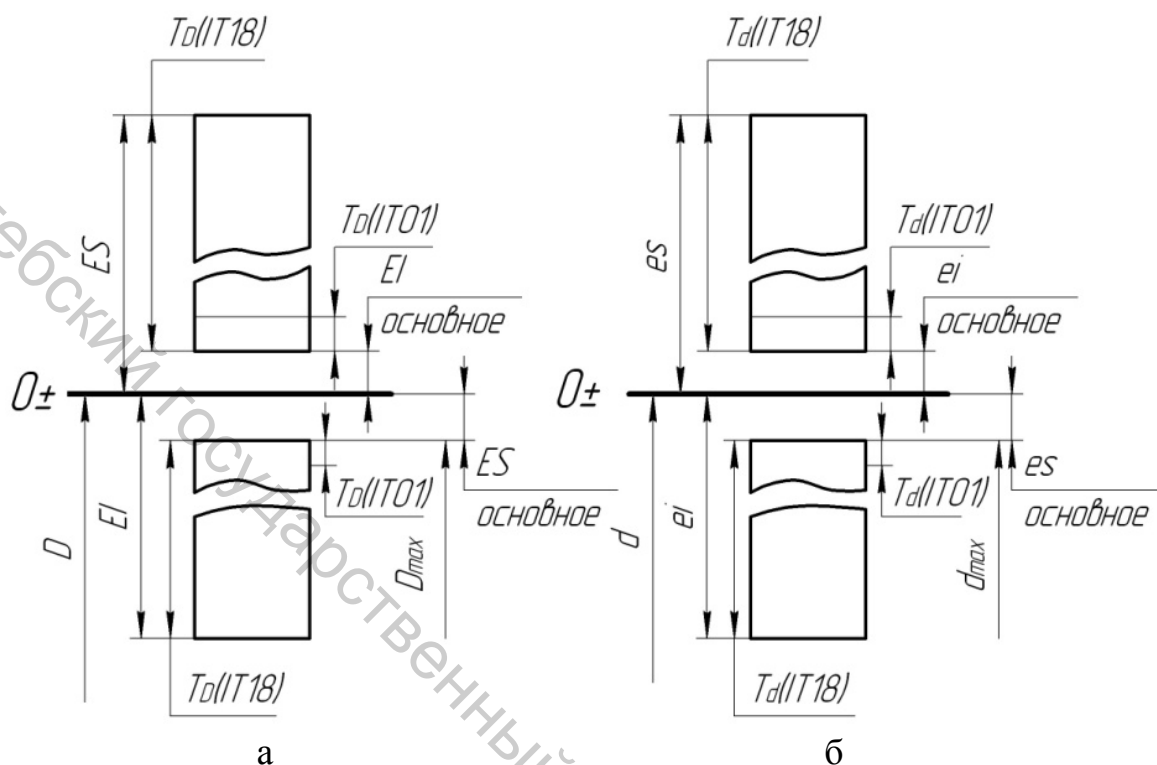


Рисунок 1.3 – Схемы образования интервалов допусков для отверстия (а) и вала (б)

1.2.3.1 Нанесение предельных отклонений размеров и обозначение классов допусков на чертежах

При нанесении предельных отклонений размеров на чертежах необходимо руководствоваться следующими указаниями.

Для всех размеров, нанесенных на чертежах, должны быть указаны предельные отклонения. Линейные размеры и предельные отклонения на чертежах указывают в миллиметрах без обозначения единиц измерения. Предельные отклонения размеров указывают непосредственно после номинальных размеров. Предельные отклонения размеров относительно низкой точности допускается не указывать непосредственно после номинальных размеров, а указывать в виде общей записи в технических требованиях чертежа.

Предельные отклонения указывают шрифтом с уменьшенной высотой цифр, верхнее отклонение указывают над нижним (рис. 1.4 а).

Отклонение, равное нулю, не указывают (рис. 1.4 б).

Для симметричных интервалов допусков отклонение указывают один раз со знаком «±» (рис. 1.4, в), при этом высота цифр, определяющих отклонения, должна быть равна высоте шрифта номинального размера.

Такой способ указания отклонений рекомендуется для размеров, проверка которых может быть осуществлена показывающими приборами.

Класс допуска обозначают сочетанием буквы (букв) основного отклонения и порядкового номера качества, при этом указывают значение номинального размера элемента, например: $\varnothing 40g6$, $\varnothing 40H7$.

Такой способ обозначения рекомендуется для размеров, контроль которых может быть осуществлен предельными калибрами.

Смешанный способ обозначения классов допусков предполагает указание условными обозначениями и числовыми значениями предельных отклонений (рис. 1.5).

Применение смешанного способа рекомендуется тогда, когда неизвестно, какими средствами будет контролироваться размер – предельными калибрами или приборами.

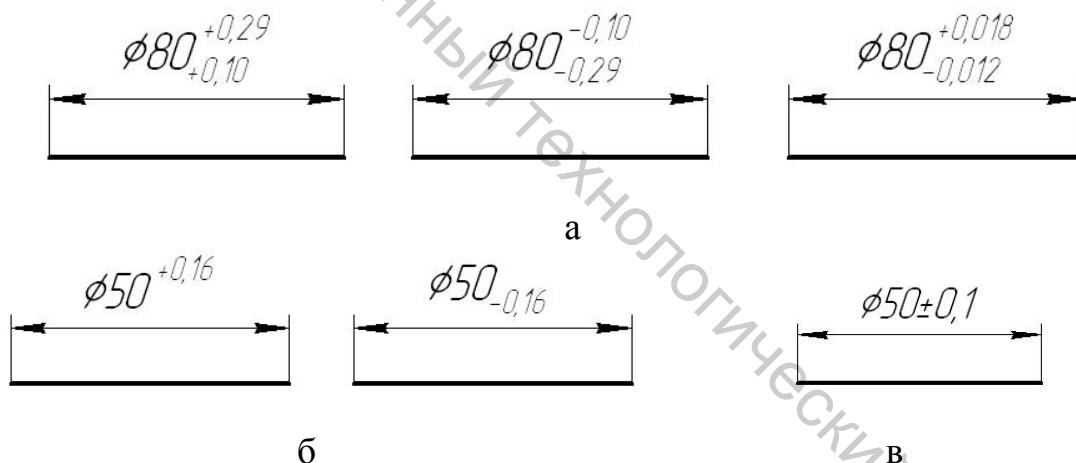


Рисунок 1.4 – Указание предельных отклонений размеров:
а – верхнего и нижнего; б – с нулевым нижним или верхним отклонением; в – симметричных



Рисунок 1.5 – Обозначения классов допусков смешанным способом

Общие допуски размеров, для которых рядом с номинальными значениями не указаны индивидуальные допуски, нормируются в соответствии с ГОСТом 30893.1-2002.

Общие допуски установлены по четырем классам точности: точный *f*, средний *m*, грубый *s*, очень грубый *v*. Между классами точности общих допусков и качествами существуют примерные соотношения: точный *f* соответствует IT12, средний *m* – IT14, грубый *s* – IT15...IT16, очень грубый *v* – IT17.

Указание общих допусков должно содержать номер стандарта и буквенное обозначение класса точности. Например, для класса точности средний: «*Общие допуски по ГОСТу 30893.1 – m*» или «*ГОСТу 30893.1 – m*».

Обозначение указывают на чертеже в составе технических требований в правом нижнем углу листа, над основной надписью.

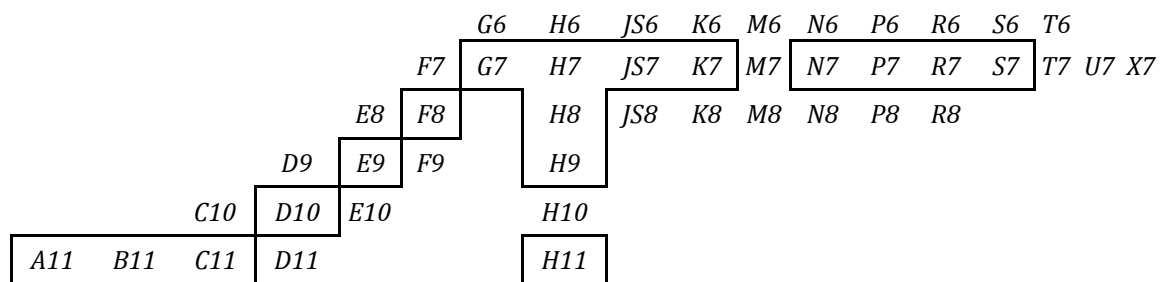
1.2.3.2 Выбор классов допусков

В ГОСТе 25347-2013 приведены перечни сформированных в соответствии с рассмотренной системой классов допусков. Для номинальных размеров из диапазона до 500 мм эти перечни содержат 203 класса допусков для отверстий и 204 класса допусков для валов. Для этих классов допусков приведены таблицы с указанными в них стандартными значениями предельных отклонений. Данные классы допусков называют *специальными* или *классами допусков широкого выбора*.

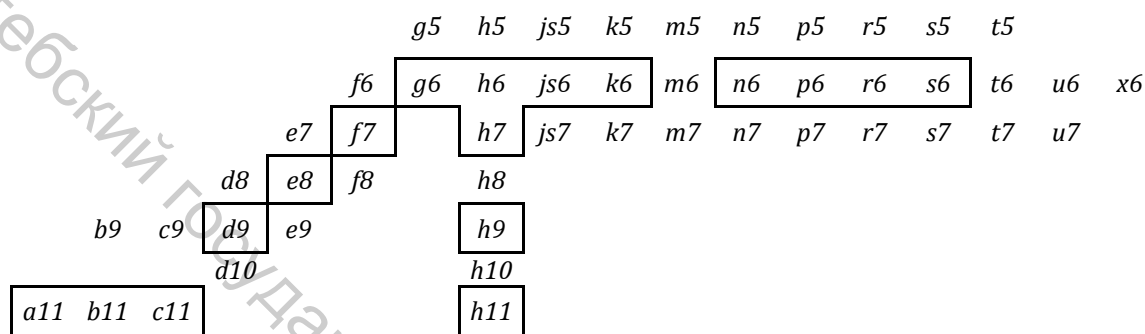
В ГОСТе 25346-2013 из перечней специальных классов допусков отобраны *классы допусков общего применения*. Выделено 45 классов допусков общего применения для отверстий и 50 классов допусков общего применения для валов (рис. 1.6).

В свою очередь, из классов допусков общего применения отобраны *предпочтительные классы допусков*, которые необходимо применять в первую очередь. Отобрано по 17 предпочтительных классов допусков для отверстий и валов. На рисунке 1.6 предпочтительные классы допусков обведены в рамку.

Практика показывает, что на основе предпочтительных классов допусков можно до 90–95 % обеспечить потребность в посадках, максимально унифицировать изделия и сократить номенклатуру размерных инструментов и калибров.



а



б

Рисунок 1.6 – Классы допусков общего применения и предпочтительные классы допусков: *а* – отверстий, *б* – валов

1.2.4 Посадки

1.2.4.1 Образование посадок

Посадка – соединение наружного размерного элемента и внутреннего размерного элемента (отверстия и вала), участвующих в сборке.

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

Зазор (S) – разность между размерами отверстия и вала до сборки, когда размер отверстия больше размера вала.

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

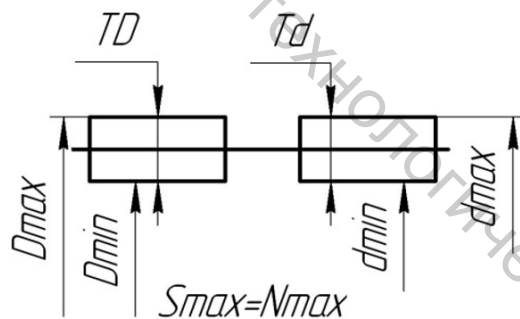
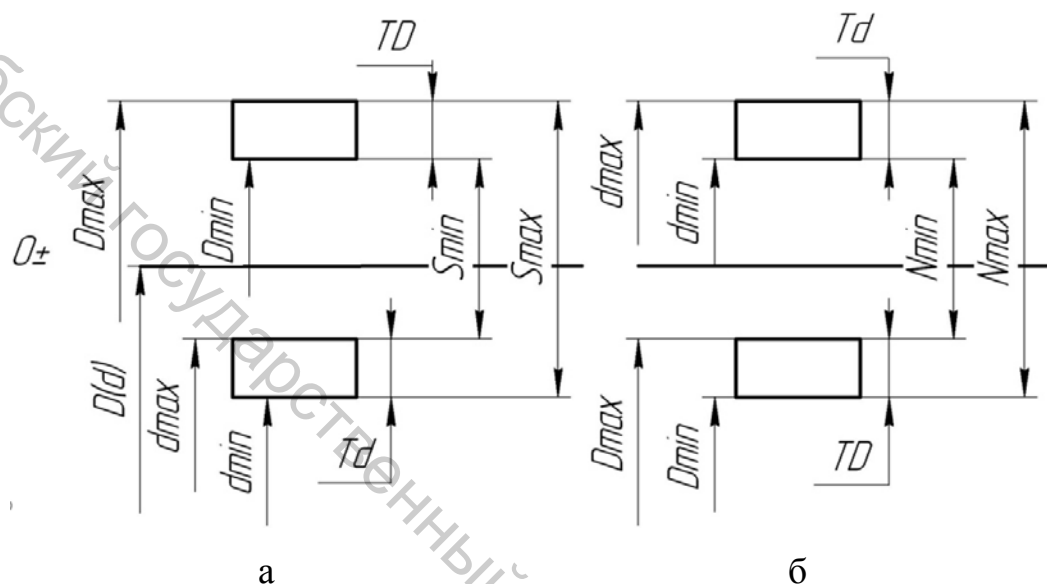
Посадка с зазором – посадка, при которой в соединении всегда образуется зазор, т.е. нижний предельный размер отверстия D_{min} больше верхнего предельного размера вала d_{max} . При графическом изображении (рис. 1.7 а) интервал допуска отверстия расположен над интервалом допуска вала.

Наибольший S_{max} (наименьший S_{min}) зазор равен разности предельных размеров отверстия и вала:

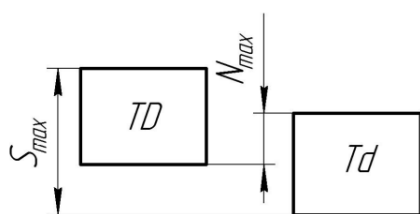
$$S_{max} = D_{max} - d_{min} = ES - ei, \quad (1.13)$$

$$S_{min} = D_{min} - d_{max} = EI - es. \quad (1.14)$$

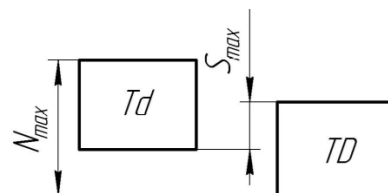
Посадка с натягом – посадка, при которой в соединении всегда образуется натяг, т.е. нижний предельный размер вала d_{min} больше верхнего предельного размера отверстия D_{max} . При графическом изображении интервал допусков вала располагается над интервалом допусков отверстия (рис. 1.7 б).



в



г



д

Рисунок 1.7 – Графические изображения интервалов допусков для посадок: а – с зазором, б – с натягом, в, г, д – переходных

Наибольший N_{max} (наименьший N_{min}) натяг равен разности предельных размеров вала и отверстия:

$$N_{max} = d_{max} - D_{min} = es - EI, \quad (1.15)$$

$$N_{min} = d_{min} - D_{max} = ei - ES. \quad (1.16)$$

Переходная посадка – посадка, при которой в соединении возможно образование зазора или натяга в зависимости от действительных размеров сопрягаемых деталей. При графическом изображении интервалы допусков могут перекрываться полностью (рис. 1.7 в) или частично (рис. 1.7 г, д). При частичном перекрытии интервалов допусков в сопряжении могут преобладать посадки с зазором (рис. 1.7 г) или с натягом (рис. 1.7 д).

Диапазон посадки – это арифметическая сумма допусков отверстия и вала, образующих соединение. Диапазон посадки характеризует ее точность.

Для посадки с зазором и посадки с натягом диапазон равен разности предельных значений зазора или натяга:

$$TS = S_{max} - S_{min} = T_D + T_d, \quad (1.17)$$

$$TN = N_{max} - N_{min} = T_D + T_d. \quad (1.18)$$

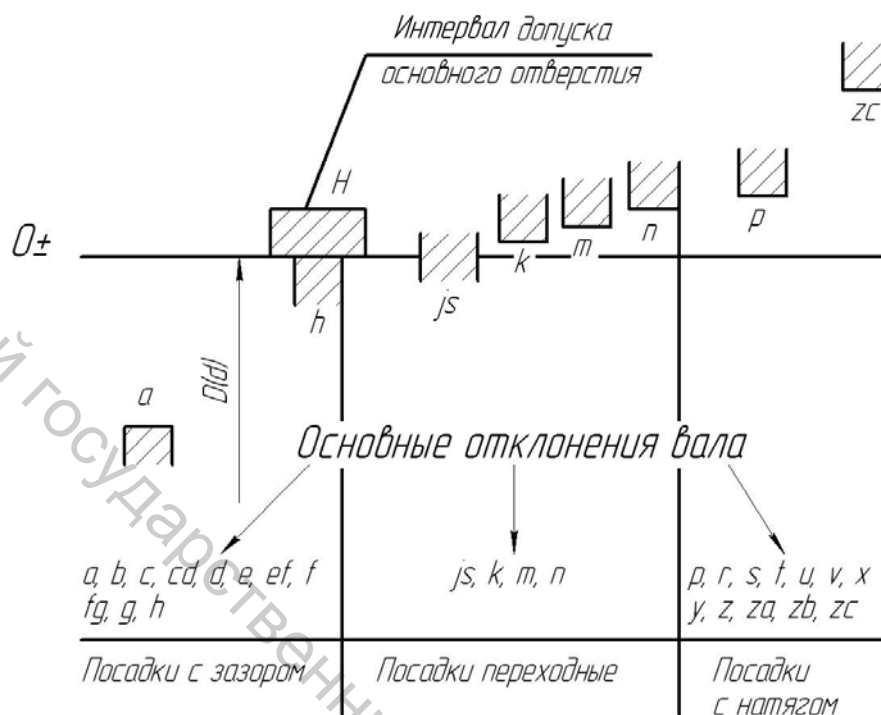
Диапазон переходной посадки равен сумме наибольшего предельного натяга и наибольшего предельного зазора:

$$TS(N) = N_{max} + S_{max} = T_D + T_d. \quad (1.19)$$

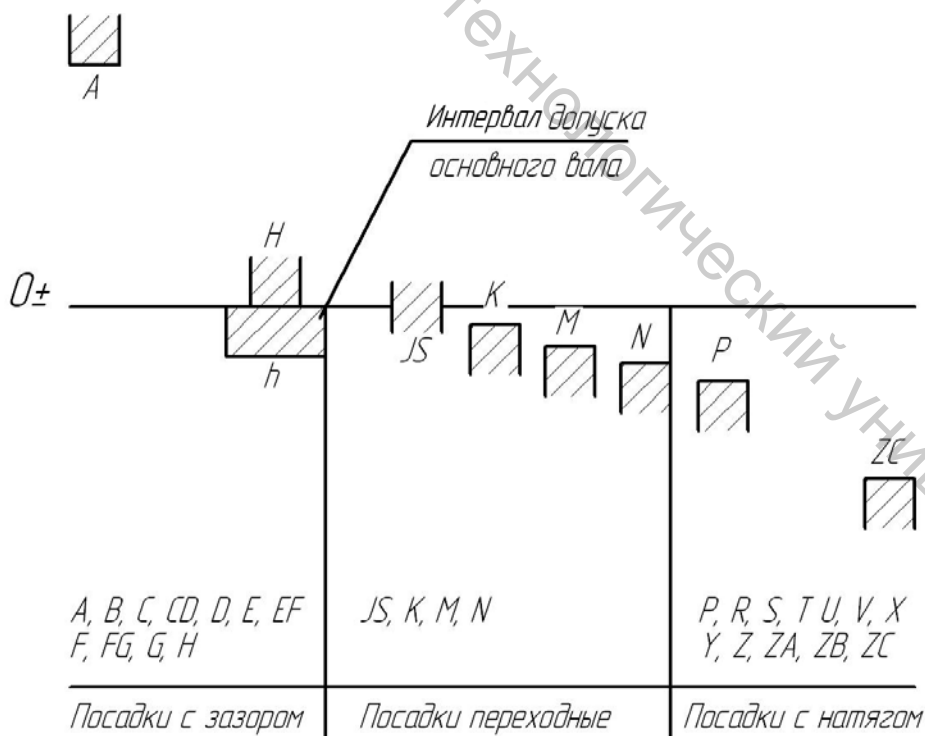
1.2.4.2 Посадки в системах отверстия и вала

Для унификации деталей и инструментов наиболее рациональным является такой способ образования посадок, когда одна деталь (отверстие или вал) в различных посадках имеет постоянное расположение интервала допуска, а требуемый характер посадки обеспечивается подбором расположения интервала допуска другой сопрягаемой детали. Деталь, имеющая постоянное расположение интервала допуска, является базовой в системе образования посадок. В качестве базовых элементов принимают основные отверстия и основные валы, у которых *основные отклонения равны нулю*, т.е. нижний предельный размер отверстия и верхний предельный размер вала равны номинальному.

Посадки в системе отверстия – посадки, у которых требуемый зазор или натяг получают сочетанием различных классов допусков валов с классом допуска основного отверстия (рис. 1.8 а).



а



б

Рисунок 1.8 – Схемы образования посадок:
а – в системе отверстия, б – в системе вала

Интервалы допусков валов, образованные на базе основных отклонений от a до h ($a, b, c, cd, d, e, ef, f, fg, g, h$), будут расположены ниже интервала допуска основного отверстия, т.е. размеры валов меньше минимального размера отверстия, а значит, в сопряжении будет только зазор.

Интервалы допусков валов, образованные на базе основных отклонений от js до n (js, k, m, n), будут частично перекрываться с интервалом допуска отверстия, а значит, в сопряжении возможен и зазор, и натяг в зависимости от действительных размеров сопрягаемых деталей.

Интервалы допусков валов, образованные на базе основных отклонений от p до zc ($p, r, s, t, u, v, x, y, z, za, zb, zc$), будут расположены выше интервала допуска основного отверстия, т.е. размеры валов будут превышать размеры верхнего предельного размера основного отверстия, а значит, в сопряжении будет только натяг.

Посадки в системе вала – посадки, у которых требуемый зазор или натяг получают сочетанием различных классов допусков отверстий с классом допуска основного вала (рис. 1.8 б).

Характер относительного положения интервалов допусков в системах отверстия и вала одинаков, значит, наличие зазора или натяга в сопряжении определяется только основными отклонениями и не зависят от системы. При этом одноименные основные отклонения вала и отверстия образуют в обеих системах одинаковые посадки, т.е. отклонения $A-H$ ($a-h$) образуют посадки с зазором, $JS-N$ ($js-n$) – переходные и $P-ZC$ ($p-zc$) – посадки с натягом.

1.2.4.3 Обозначения посадок

Обозначение посадки на сборочном чертеже оформляется в виде дроби. Перед дробью указывают номинальный размер сопряжения. В числителе дроби указывают класс допуска отверстия, в знаменателе – класс допуска вала, например:

$$\varnothing 80 \frac{K7}{k6}, \varnothing 80 \frac{H7}{f6}, \varnothing 80 \frac{F7}{h6}.$$

В текстовой части удобно обозначения посадок указывать в следующем виде: $\varnothing 80 K7/k6$, $\varnothing 80 H7/f6$, $\varnothing 80 F7/h6$.

Классы допусков отверстия и вала в посадке могут быть выполнены с одинаковой точностью ($H8/e8$, $F9/h9$) или с различной точностью. Как правило, более точно выполняется класс допуска вала. По-

садки при точности размеров вала и отверстия с 4-го по 7-й квалитет рекомендуется образовывать путем сопряжения отверстия на квалитет грубее, чем вал ($H7/g6$, $H7/js6$, $N7/h6$).

1.2.4.4 Применение внесистемных и системных посадок

Внесистемные посадки, у которых ни одна из деталей не является основной, применяются крайне редко. Например, внесистемные посадки $F8/js7$, $D9/f7$, $F10/js7$, $F10/d9$, $D9/f8$, $D9/e8$, $F10/f8$ применяются в шлицевых прямобоочных соединениях.

Системные посадки – в системе вала и в системе отверстия – находят применение, но в разной степени. Наиболее широко применяется система отверстия, поскольку вал является более технологичным элементом по сравнению с отверстием. Требуемый зазор или натяг проще обеспечить в соединении путем обработки наружных поверхностей валов, чем внутренних поверхностей отверстия.

Система вала применяется в конструкции машин и механизмов, когда деталь может быть изготовлена из прутковых калиброванных заготовок, без обработки сопрягаемых поверхностей. Например, в системе вала образованы посадки по ширине призматических шпонок в пазы на валах и во втулках.

Один из примеров применения системы вала показан на рисунке 1.9. На участках валов одного номинального размера, но сопрягаемых по разным посадкам (рис. 1.9 а), сопряжение поршня двигателя с поршневым пальцем требует весьма высокой точности, отличается резко переменными нагрузками, разборке подвергается крайне редко. Для таких условий назначается посадка $N6/h5$ в системе вала. Сопряжение поршневого пальца с втулкой шатуна требует подвижного соединения высокой точности. Это условие соблюдается при назначении посадки $H6/h5$, в которой минимальный зазор равен нулю.

В этом случае применение системы вала оправдано конструктивными соображениями. Одна и та же деталь – поршневой палец, сопрягается по двум посадкам. При образовании посадок в системе вала поршневой палец представляет гладкий цилиндр (рис. 1.9 б). При назначении посадок в системе отверстия поршневой палец представлял бы собой ступенчатый стержень (рис. 1.9 в).

Система вала также применяется в случае использования стандартных деталей, например, в соединениях подшипников качения по наружному кольцу с отверстием в корпусе.

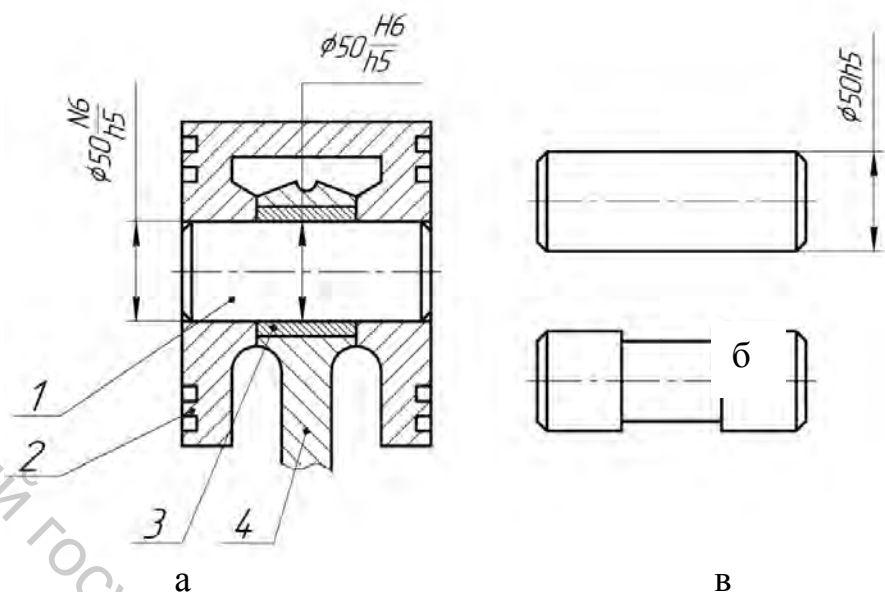


Рисунок 1.9 – Конструктивная схема применения системы вала:
 а – эскиз сборочной единицы, б – вид поршневого пальца при назначении посадок в системе вала, в – вид при назначении посадок в системе отверстия; 1 – поршневой палец; 2 – поршень; 3 – втулка; 4 – шатун

1.2.4.5 Назначение посадок и квалитетов

Существует три способа назначения посадок и квалитетов: способ аналогов, способ подобия и расчётный способ.

Способ аналогов заключается в том, что конструктор отыскивает в однотипных машинах, находящихся в эксплуатации, узел, аналогичный проектируемому, и назначает такие же или аналогичные посадки. Сложность способа заключается в оценке и сопоставлении условий работы проектируемого узла и аналога.

Способ подобия является развитием способа аналогов и основан на классификации деталей и узлов машин по конструктивному и эксплуатационному признакам. Посадки назначаются на основании рекомендаций отраслевых технических документов и литературных источников. Недостатком способа является отсутствие точных количественных оценок условий работы сопряжений.

Расчётный способ предполагает выполнение предварительных расчётов допустимых зазоров и (или) натягов в соединении с последующим подбором стандартных посадок, обеспечивающих требования расчетов.

Способ применяют для посадок с зазором наиболее ответственных деталей вращения: подшипников скольжения двигателей, станков, турбин,

компрессоров, а также для возвратно-поступательного движения поршней, пружинных пар и т.д. Расчеты основаны на использовании теории гидродинамической смазки и сводятся к расчёту минимального и максимального зазора.

При расчёте посадок с натягом определяют минимально необходимый натяг, обеспечивающий прочность соединения в условиях максимально возможного нагружения и максимально возможный натяг, определяемый прочностью деталей.

Расчёт переходных посадок сводится к определению средневероятного значения натяга или зазора и ожидаемого процента получения соединений с натягом или зазором при заданных условиях производства.

Для общего применения в ГОСТе 25346-2013 выделено определенное количество классов допусков (табл. 1.2, 1.3). По экономическим соображениям, для образования посадок следует выбирать в первую очередь предпочтительные классы допусков, обозначения которых заключены в рамки.

Таблица 1.2 – Классы допусков для посадок в системе отверстия

Основное отверстие	Классы допусков валов для посадки														
	с зазором					переходной				с натягом					
H6	g5 h5 js5 k5 m5					n5 p5									
H7	f6			g6	h6	js6	k6	m6	n6	p6 r6 s6			t6	u6	x6
H8	e7		f7		h7	js7	k7	m7	s7 u7						
	d8	e8	f8	h8											
H9	d8		e8	f8	h8										
H10	b9	c9	d9	e9		h9									
H11	b11	c11	d10	h10											

Таблица 1.3 – Классы допусков для посадок в системе вала

Основной вал	Классы допусков валов для посадки															
	с зазором					переходной				с натягом						
<i>h5</i>	<i>G6 H6</i>					<i>JS6 K6 M6</i>	<i>N6 P6</i>									
<i>h6</i>	<i>F7</i>		<i>G7</i>	<i>H7</i>	<i>JS7 K7</i>	<i>M7</i>	<i>N7</i>			<i>P7 R7 S7</i>	<i>T7 U7 X7</i>					
<i>h7</i>	<i>E8</i>		<i>F8</i>		<i>H8</i>											
<i>h8</i>	<i>D9</i>	<i>E9</i>	<i>F9</i>		<i>H9</i>											
<i>h9</i>	<i>E8</i>		<i>F8</i>		<i>H8</i>											
	<i>D9</i>		<i>E9</i>	<i>F9</i>		<i>H9</i>										
	<i>B11</i>	<i>C10</i>	<i>D10</i>	<i>H10</i>												

1.2.4.6 Примеры использования посадок

Посадки с зазором

Посадки $H7/g6$, $H6/g5$ имеют малый гарантированный зазор, что обеспечивает хорошее центрирование деталей и отсутствие ударов при перемене нагрузки. При хорошей смазке посадки применяют для сопряжения шейки коленчатого вала с шатуном в поршневом двигателе, вала ротора турбины и шпинделей станков, клапанов.

Посадки $H7/f7$, $H7/f6$ применяют для соединения деталей, которые работают в основном при умеренных и постоянных скоростях и при безударной нагрузке (например, вращающиеся в подшипниках валы и шпиндели).

Посадки $H8/e8$, $H8/e7$, $H7/e8$ имеют относительно большие зазоры и применяются для подвижных соединений при большой длине втулки и частоте вращения 1000 мин^{-1} (например, цапф валов с втулками, подшипников в центробежных насосах, в приводах шлифовальных станков и турбогенераторах, валов холостых шкивов и свободно вращающихся колес).

Посадки $H8/d9$, $H9/d9$ характеризуются относительно большими зазорами и применяются для соединения деталей, работающих с большими скоростями, когда по условиям работы деталей допускается неточное центрирование (например, в сельскохозяйственных, дорожных и других машинах).

Посадка $H7/c8$ применяется для деталей, работающих при высокой температуре (например, в тепловых двигателях).

Переходные посадки

Посадки H/js , JS/h образуют преимущественно зазор. Вероятность получения натяга $0,5 \dots 5 \%$.

Посадки H/k , K/h характеризуются увеличением количества сопряжений с натягом. Вероятность получения натяга составляет $24 \dots 68 \%$. Посадки обеспечивают хорошее центрирование. Сборка и разборка проводится при незначительных усилиях, например, при помощи молотков.

Посадки H/n , N/h обеспечивают преимущественно в сопряжении натяг, вероятность которого составляет $88 \dots 100 \%$. Сборка и разборка осуществляется при значительных усилиях с применением прес-сов.

Посадки с натягом

Посадки $H7/p6$, $P7/h6$ характеризуются минимальным гарантированным натягом. Применяются в тех случаях, когда крутящие моменты или осевые силы малы; для соединения тонкостенных деталей.

Посадки $H7/r6$, $H7/s6$ характеризуются умеренными гарантированными натягами, обеспечивающими передачу нагрузок средней величины. Сборка соединений возможна под прессом в холодном состоянии, а также способом термических деформаций.

1.2.4.7 Области ориентировочного применения квалитетов

Квалитеты точнее 4-го применяются крайне ограниченно в единичных случаях.

Квалитеты 4-й и 5-й применяются сравнительно редко. В особо точных соединениях, требующих высокой однородности зазора или натяга (приборные подшипники в корпусах и на валах, высокоточные зубчатые колеса на валах и оправках в измерительных приборах).

Квалитеты 6-й и 7-й применяются для ответственных соединений в механизмах, где к посадкам предъявляются высокие требования в отношении определенности зазоров и натягов для обеспечения точности перемещений, плавности хода, герметичности соединения, механической прочности сопрягаемых деталей, а также для обеспечения точной сборки деталей (подшипники качения нормальной точности в корпусах и на валах, зубчатые колеса высокой и средней точности на валах, подшипники скольжения и т.п.).

Квалитеты 8-й и 9-й применяются для посадок при относительно меньших требованиях к однородности зазоров или натягов и для посадок, обеспечивающих среднюю точность сборки посадки с зазором, для компенсации погрешностей формы и расположения сопрягаемых деталей, опоры скольжения средней точности, посадки с большими натягами).

Квалитет 10-й применяют в посадках с зазором и в тех случаях, что и 9-й, если условия эксплуатации допускают некоторое увеличение колебаний зазоров в соединениях.

Квалитеты с 11-го по 12-й применяются в соединениях, где необходимы большие зазоры и допустимы их значительные колебания (грубая сборка). Эти квалитеты распространены в неответственных соединениях машин (крышки, фланцы, дистанционные кольца и т.п.), в соединениях деталей из пластмасс.

Размеры с более грубыми квалитетами (с 13-го по 17-й) как правило, не используются для образования посадок. Допуски по этим квалитетам достигаются заготовительными и черновыми способами обработки.

1.2.5 Классы допусков и посадки соединений деталей из пластмасс

Пластмассы используются для получения изделий исключительно широкого диапазона от чрезвычайно малых по массе до крупногабаритных конструкций: емкости, корпуса, водопроводные колодцы и т.д.

В машиностроении и приборостроении осваивается изготовление деталей точно до IT3 без последующей механической обработки. В мировой практике освоено производство высокоточных деталей для часовых механизмов, дисков памяти, линз, оптических волокон, миниатюрных шариков, роликовых подшипников.

Наиболее распространены детали с размерами до 500 мм; расширяется применение деталей свыше 500 мм.

Допуски и посадки деталей из пластмасс регламентируются ГОСТом 25349-88 «Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков деталей из пластмасс».

Допуски и предельные отклонения относятся к размерам деталей при температуре 20 °С и относительной влажности окружающего воздуха 50 %.

Основные отклонения, классы допусков деталей из пластмасс приведены в таблицах 1.4 и 1.5.

Посадки в соединениях пластмассовых деталей с пластмассовыми или металлическими рекомендуется назначать в соответствии с таблицей 1.6 (в системе отверстия) и таблицей 1.7 (в системе вала).

Таблица 1.4 – Классы допусков валов для номинальных размеров до 500 мм

IT	Основные отклонения															
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>h</i>	<i>js</i>	<i>k</i>	<i>u</i>	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>	<i>za</i>	<i>zb</i>	<i>zc</i>
8	-	-	<i>c8</i>	<i>d8</i>	<i>e8</i>	<i>f8</i>	<i>h8</i>	<i>js8*</i>	<i>k8</i>	<i>u8</i>	<i>x8</i>	-	<i>z8</i>	-	-	-
9	-	-	-	<i>d9</i>	<i>e9</i>	<i>f9</i>	<i>h9</i>	<i>js9*</i>	<i>k9</i>	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	<i>d10</i>	-	-	<i>h10</i>	<i>js10*</i>	<i>k10</i>	-	<i>x10</i>	<i>y10</i>	<i>z10</i>	<i>za10</i>	<i>zb10</i>	<i>zc10</i>
11	<i>a11</i>	<i>b11</i>	<i>c11</i>	<i>d11</i>	-	-	<i>h11</i>	<i>js11*</i>	<i>k11</i>	-	-	-	-	-	-	<i>zc11</i>
12	-	<i>b12</i>	-	-	-	-	<i>h12</i>	<i>js12*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	<i>h13</i>	<i>js13*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	<i>h14*</i>	<i>js14*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	<i>h15*</i>	<i>js15*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	<i>h16*</i>	<i>js16*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
17	--	-	-	-	-	-	<i>h17*</i>	<i>js17*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	<i>h18*</i>	<i>js18*</i>	-	-	-	-	-	-	-	-

* Классы допусков, не рекомендуемые для посадок.

Таблица 1.5 – Классы допусков отверстий для номинальных размеров до 500 мм

IT	Основные отклонения															
	A	B	C	D	E	F	H	JS	N	U	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC
8	-	-	-	D8	E8	F8	H8	JS8*	N8	U8	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	D9	E9	F9	H9	JS9*	N9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	D10	-	-	H10	JS10*	N10	-	X10	Y10	Z10	ZA10	ZB10	ZC10
11	A11	B11	C11	D11	-	-	H11	JS11*	N11	-	-	-	-	-	-	ZC11
12	-	B12	-	-	-	-	H12	JS12*	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	H13	JS13*	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	H14*	JS14*	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	H15*	JS15*	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	H16*	JS16*	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	H17*	JS17*	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	H18*	JS18*	-	-	-	-	-	-	-	-

* Классы допусков, не рекомендуемые для посадок.

Таблица 1.6 – Рекомендуемые посадки в системе отверстия для номинальных размеров до 500 мм

Основное отверстие	Основные отклонения валов																	
	ay	az	a	b	c	d	e	f	h	k	u	x	y	z	za	zb	zc	ze
H8	-	-	-	-	$\frac{H8}{c8}$	$\frac{H8}{d8}$	$\frac{H8}{e8}$	$\frac{H8}{f8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{H8}{k8}$	$\frac{H8}{u8}$	$\frac{H8}{x8}$	-	$\frac{H8}{z8}$	-	-	-	-
H9	-	-	-	-	-	$\frac{H9}{d9}$	$\frac{H9}{e9}$	$\frac{H9}{f9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{H9}{k9}$	-	$\frac{H9}{x10}$	$\frac{H9}{y10}$	$\frac{H9}{z10}$	$\frac{H9}{za10}$	$\frac{H9}{zb10}$	-	-
H10	-	-	-	-	-	$\frac{H10}{d10}$	-	-	$\frac{H10}{h10}$	$\frac{H10}{k10}$	-	-	$\frac{H10}{y10}$	$\frac{H10}{z10}$	$\frac{H10}{za10}$	$\frac{H10}{zb10}$	$\frac{H10}{zc10}$	$\frac{H10}{ze11}$
H11	$\frac{H11}{ay11}$	$\frac{H11}{az11}$	$\frac{H11}{a11}$	$\frac{H11}{b11}$	$\frac{H11}{c11}$	$\frac{H11}{d11}$	-	-	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{H11}{k11}$	-	-	-	-	-	-	$\frac{H11}{zc11}$	$\frac{H11}{ze11}$
H12	-	-	-	$\frac{H12}{b12}$	-	-	-	-	$\frac{H12}{h12}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H13	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{H13}{h13}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Для металлических деталей в соединении с деталями из пластмасс рекомендуется назначать следующие классы допусков:

- классы допусков валов: $h7$, $h8$, $h9$, $h10$, $h11$, $h12$;
- классы допусков отверстий: $H7$, $H8$, $H9$, $H10$, $H11$, $H12$.

Контроль деталей из пластмасс должен производиться после выдержки, необходимой для релаксации внутренних напряжений материала и стабилизации размеров. Время выдержки деталей после изготовления до контроля, если оно не оговорено особо, должно быть не менее 16 ч.

Таблица 1.7 – Рекомендуемые посадки в системе вала для номинальных размеров до 500 мм

Основной вал	Основные отклонения отверстия																	
	AY	AZ	A	B	C	D	E	F	H	N	U	X	Y	Z	ZA	ZB	ZC	ZE
h8	-	-	-	-	-	$\frac{D8}{h8}$	$\frac{E8}{h8}$	$\frac{F8}{h8}$	$\frac{H8}{h8}$	$\frac{N8}{h8}$	$\frac{U8}{h8}$	$\frac{X8}{h8}$	-	-	-	-	-	-
h9	-	-	-	-	-	$\frac{D9}{h9}$	$\frac{E9}{h9}$	$\frac{F9}{h9}$	$\frac{H9}{h9}$	$\frac{N9}{h9}$	-	$\frac{X10}{h9}$	$\frac{Y10}{h9}$	$\frac{Z10}{h9}$	$\frac{ZA10}{h9}$	$\frac{ZB10}{h9}$	-	-
h10	-	-	-	-	-	$\frac{D10}{h10}$	-	-	$\frac{H10}{h10}$	$\frac{N10}{h10}$	-	-	$\frac{Y10}{h10}$	$\frac{Z10}{h10}$	$\frac{ZA10}{h10}$	$\frac{ZB10}{h10}$	$\frac{ZC10}{h10}$ $\frac{ZC11}{h10}$	$\frac{ZE11}{h10}$
h11	$\frac{AY11}{h11}$	$\frac{AZ11}{h11}$	$\frac{A11}{h11}$	$\frac{B11}{h11}$	$\frac{C11}{h11}$	$\frac{D11}{h11}$	-	-	$\frac{H11}{h11}$	$\frac{N11}{h11}$	-	-	-	-	-	-	$\frac{ZC11}{h11}$	$\frac{ZE11}{h11}$
h12	-	-	-	$\frac{B12}{h12}$	-	-	-	-	$\frac{H12}{h12}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
h13	-	-	-	-	-	-	-	-	$\frac{H13}{h13}$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1.3 Допуски формы и расположения поверхностей

1.3.1 Общие сведения, термины и определения

Точность геометрических параметров характеризуется не только точностью размеров, но и точностью формы и взаимного расположения поверхностей. Отклонения формы и расположения возникают в процессе обработки деталей в результате деформации станка, инструмента, приспособления, детали, неоднородности материала заготовки и температуры обработки. В подвижных соединениях эти отклонения приводят к уменьшению износостойкости деталей вследствие повышения давлений на выступах неровностей, к нарушению плавности работы и шумообразованию. В неподвижных соединениях погрешности формы и расположения вызывают неравномерность натягов, вследствие чего снижаются прочность соединения, герметичность и точность центрирования.

Погрешности формы и расположения влияют на точность базирования при изготовлении детали, повышают объем пригоночных работ, увеличивают трудоемкость изготовления.

Основные термины и определения в отношении допусков формы и расположения поверхностей устанавливает ГОСТ 24642-81.

Номинальная поверхность – идеальная поверхность, размеры и форма которой соответствуют заданным номинальным размерам и номинальной форме.

Нормируемый участок – участок поверхности или линии, к которому относятся допуск формы, допуск расположения, суммарный допуск формы и расположения или соответствующие отклонения.

Для количественной оценки отклонений формы используются понятия о *прилегающих элементах*.

Прилегающая поверхность – это поверхность, имеющая форму номинальной поверхности, соприкасающаяся с реальной поверхностью и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реальной поверхности в пределах нормируемого участка имело минимальное значение.

Прилегающая прямая – это прямая, соприкасающаяся с реальным профилем и расположенная вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение (рис. 1.10).

Профиль – линия пересечения поверхности с плоскостью или заданной поверхностью.

Прилегающий профиль продольного сечения – две параллельные прямые, соприкасающиеся с реальным профилем осевого (продольного) сечения цилиндрической поверхности и расположенные вне материала детали так, чтобы наибольшее отклонение точек реального профиля от соответствующей стороны прилегающего профиля продольного сечения в пределах нормируемого участка имело минимальное значение (рис. 1.11).

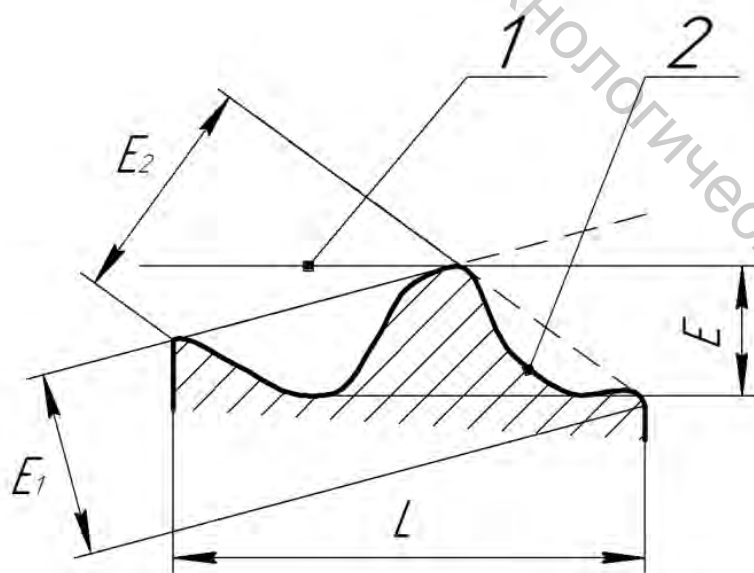


Рисунок 1.10 – Схема для определения положения прилегающей прямой: 1 – прилегающая прямая; 2 – реальный профиль; E_1 , E_2 , E – отклонения до реального профиля при различных положениях прямой

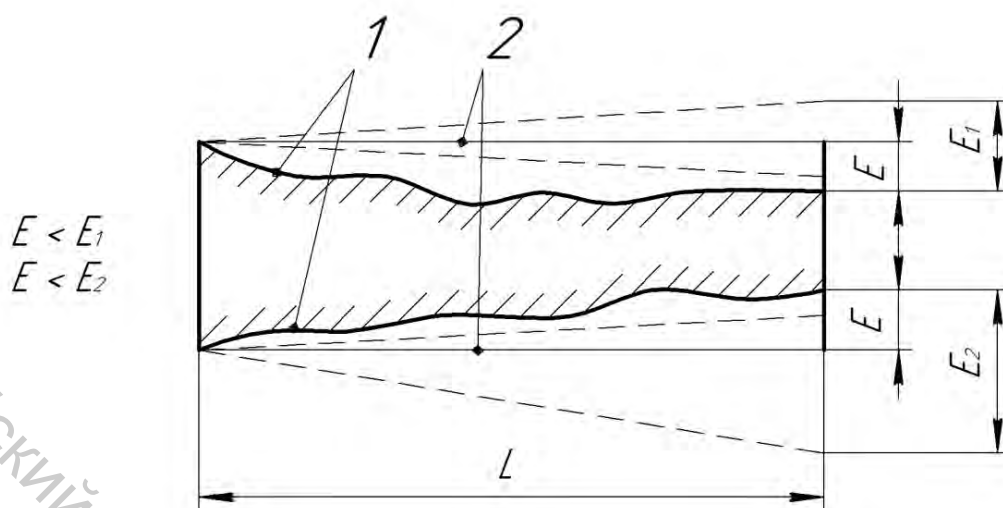


Рисунок 1.11 – Схема определения положения прилегающего профиля продольного сечения: 1 – реальный профиль; 2 – прилегающий профиль продольного сечения; E_1 , E_2 , E – отклонения до реального профиля при различных положениях параллельных прямых

Прилегающая окружность – это окружность минимального диаметра, описанная вокруг реального профиля наружной поверхности вращения (рис. 1.12 а), или окружность максимального диаметра, вписанная в реальный профиль внутренней поверхности вращения (рис. 1.12 б).

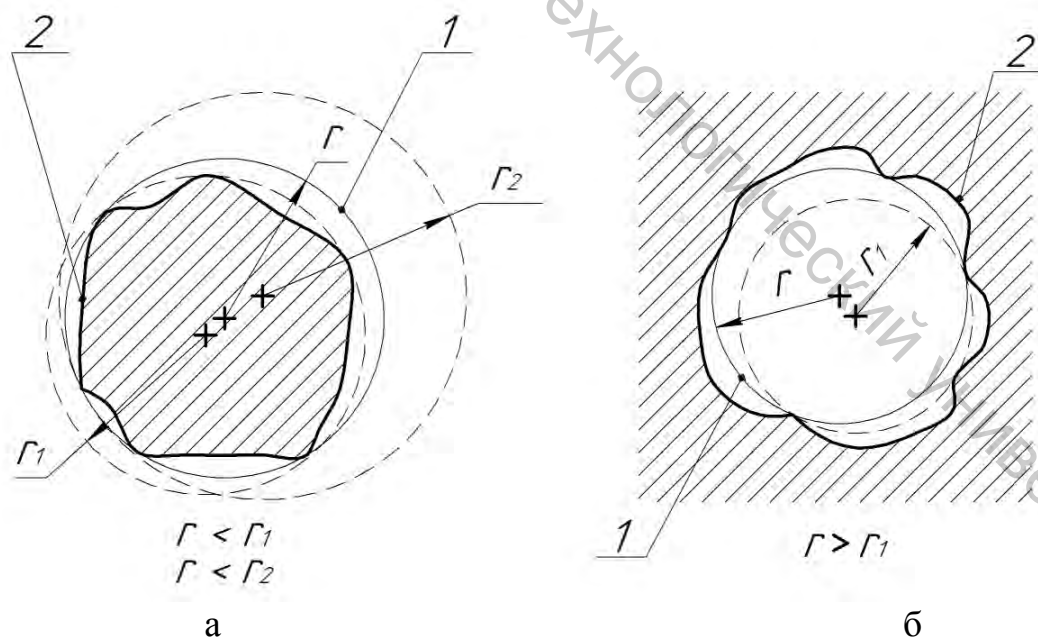


Рисунок 1.12 – Схемы для определения прилегающих окружностей:
а – описанной; б – вписанной; 1 – прилегающая окружность;
2 – реальный профиль; r_1 , r_2 , r – радиусы описанных (вписанных) окружностей

1.3.2 Отклонения и допуски формы

Отклонение формы реального элемента от номинальной формы оценивается наибольшим расстоянием от точек реального элемента по нормали к прилегающему элементу.

Допуск формы – наибольшее допускаемое значение отклонения формы.

Поле допуска формы – это область в пространстве или на плоскости, внутри которой должны находиться все точки реальной поверхности или реального профиля в пределах нормируемого участка.

Допуски формы и расположения указываются на чертежах в виде условных обозначений, которые помещают в прямоугольную рамку, разделенную на два или три поля. В первом поле помещают условный знак допуска, во втором – значение допуска в миллиметрах, в третьем (при необходимости) – буквенное обозначение измерительной базы или другого элемента, с которым связан допуск.

Отклонение от прямолинейности в плоскости – это наибольшее расстояние EFL^1 от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка (рис. 1.13).

Отклонение от прямолинейности оси в пространстве – наименьшее значение EFL диаметра цилиндра, внутри которого располагается реальная ось поверхности вращения в пределах нормируемого участка (рис. 1.14 а).

Поле допуска прямолинейности оси в пространстве – область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску прямолинейности TFL (рис. 1.14 б).

Отклонение от плоскостности – наибольшее расстояние EFE от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка (рис. 1.15 а).

Поле допуска плоскостности – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску плоскостности TFE (рис. 1.15 б).

¹ В тексте определений и на поясняющих рисунках приводятся обозначения отклонений и допусков (EFL , TFL и т.п.) в соответствии с ГОСТом 24642-81. Эти обозначения не указывают в чертежах.

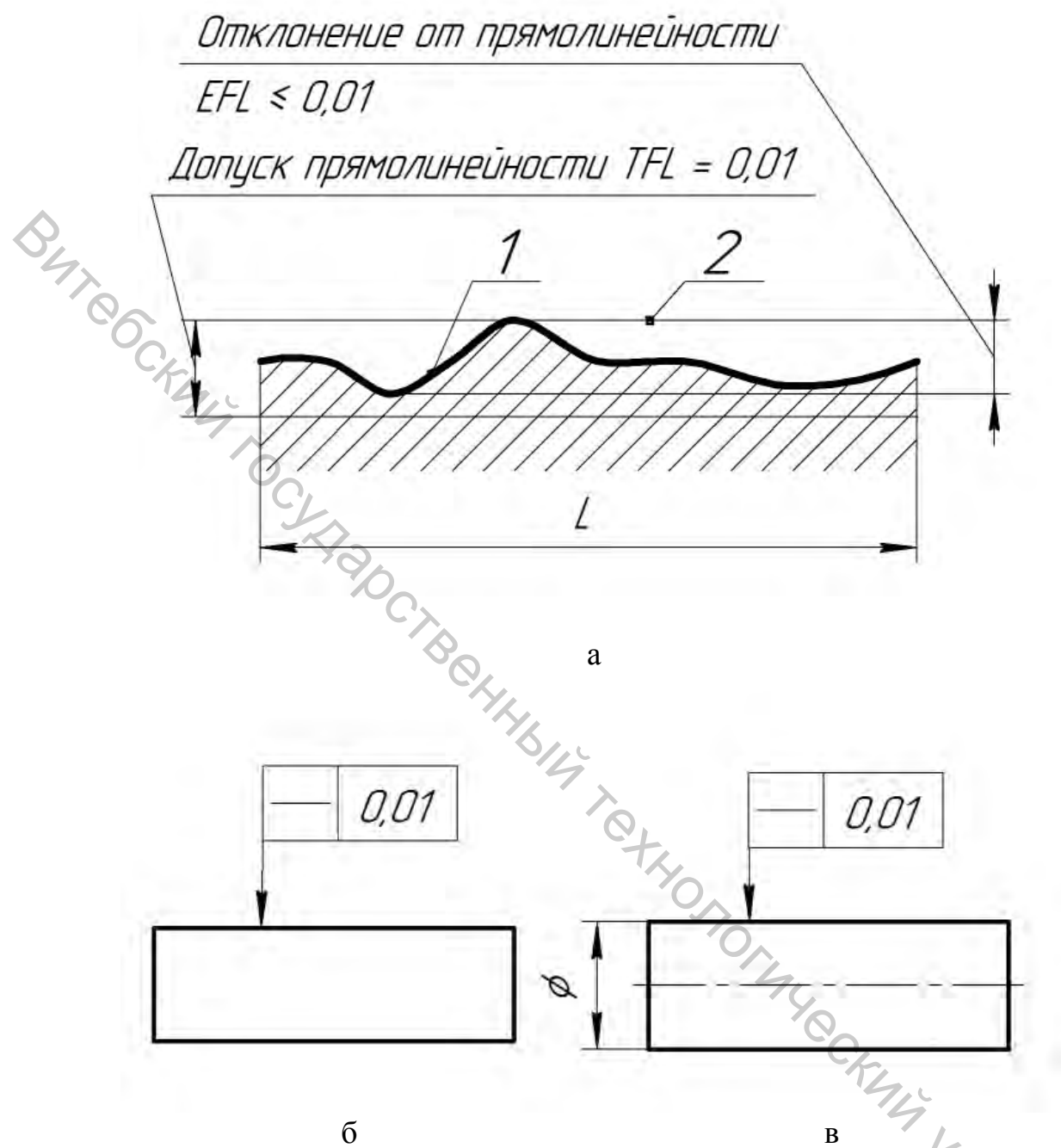
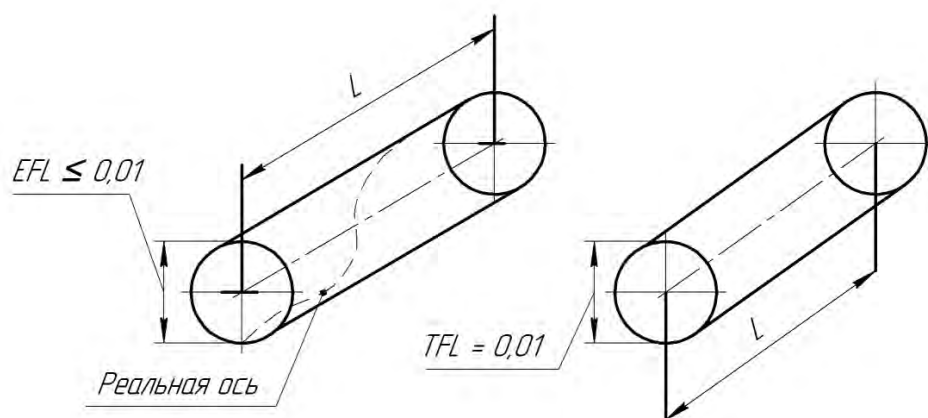
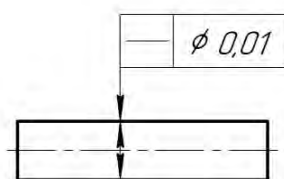


Рисунок 1.13 – Отклонение от прямолинейности:
 а – схема для определения, б – пример обозначения допуска на черте-
 же для плоской поверхности, в – пример обозначения допуска для ци-
 линдрической поверхности; L – длина нормируемого участка



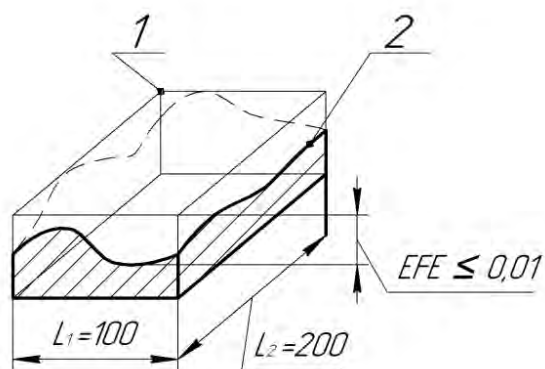
а

б

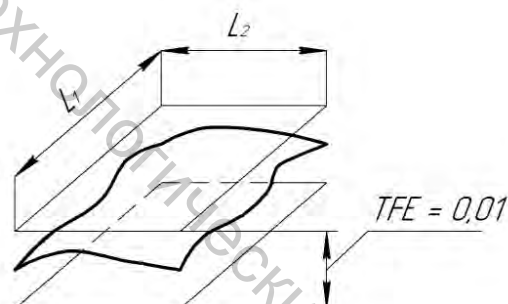


в

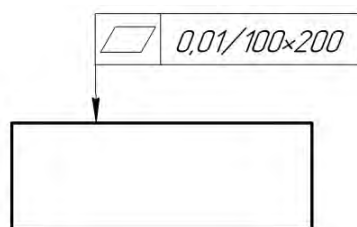
Рисунок 1.14 – Отклонение от прямолинейности оси в пространстве:
а – схема для определения, б – поле допуска, в – обозначение
допуска на чертеже; L – длина нормируемого участка



а



б



в

Рисунок 1.15 – Отклонение от плоскостности:
а – схема определения, б – поле допуска, в – пример обозначения
допуска на чертеже; 1 – прилегающая плоскость; 2 – реальная
поверхность; L_1 , L_2 – размеры нормируемого участка

К частным видам отклонений от прямолинейности и плоскостности относят выпуклость и вогнутость.

Выпуклость – отклонение от прямолинейности (плоскостности), при котором удаление точек реального профиля (реальной поверхности) от прилегающей прямой (плоскости) уменьшается от краев к середине (рис. 1.16 а, б, д, е).

Вогнутость – отклонение от прямолинейности (плоскостности), при котором удаление точек реального профиля (реальной поверхности) от прилегающей прямой (плоскости) увеличивается от краев к середине (рис. 1.16 в, г, ж, з).

Отклонение от круглости – наибольшее расстояние *EFK* от точек реального профиля до прилегающей окружности (рис. 1.17 а, б).

Поле допуска круглости – область на поверхности, ограниченная двумя концентрическими окружностями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску круглости *TFK* (рис. 1.17 в).

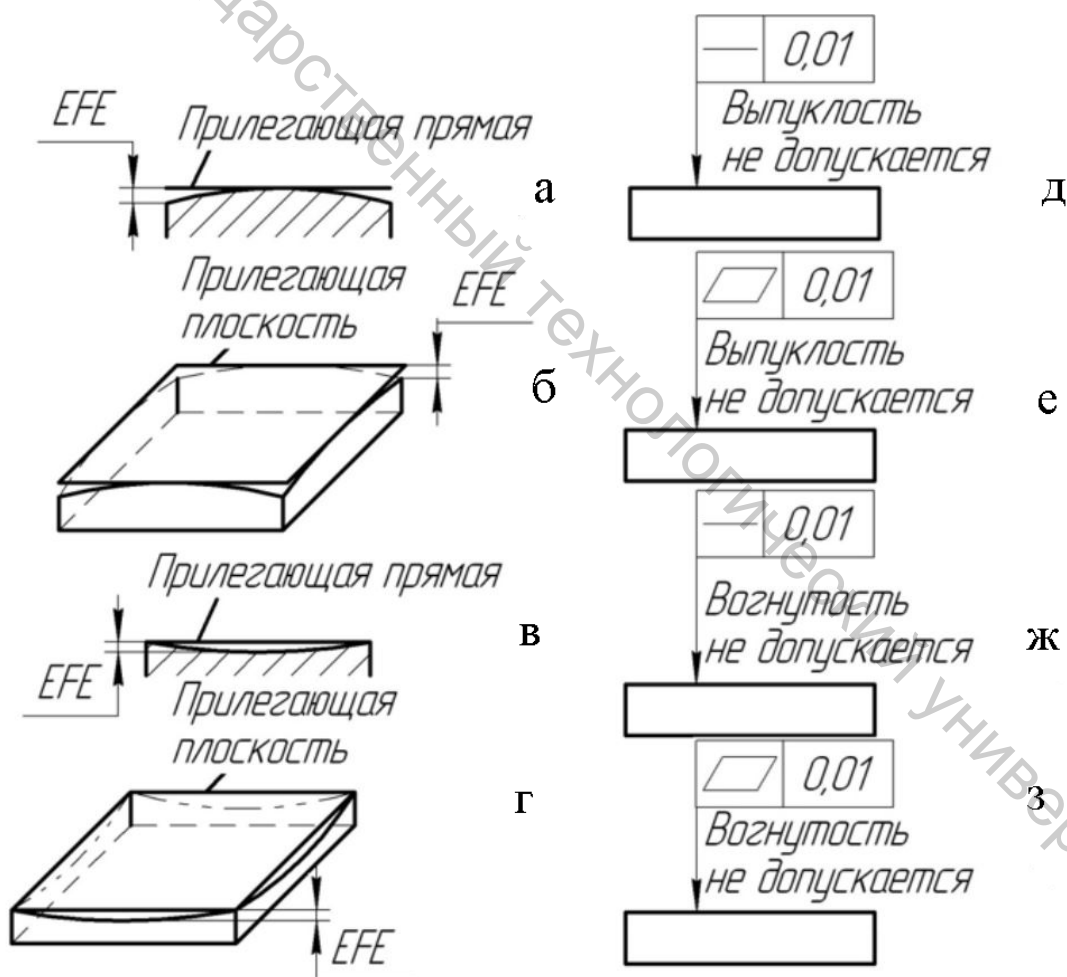


Рисунок 1.16 – Схемы для определения: а, б – выпуклости; в, г – вогнутости; д–з – обозначение на чертежах

К частным случаям отклонений от круглости относят огранку и овальность.

Огранка – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой многогранную фигуру (рис. 1.17 г).

Овальность – отклонение от круглости, при котором реальный профиль представляет собой овалообразную фигуру, наибольший и наименьший диаметры которой находятся во взаимоперпендикулярных направлениях (рис. 1.17 д).

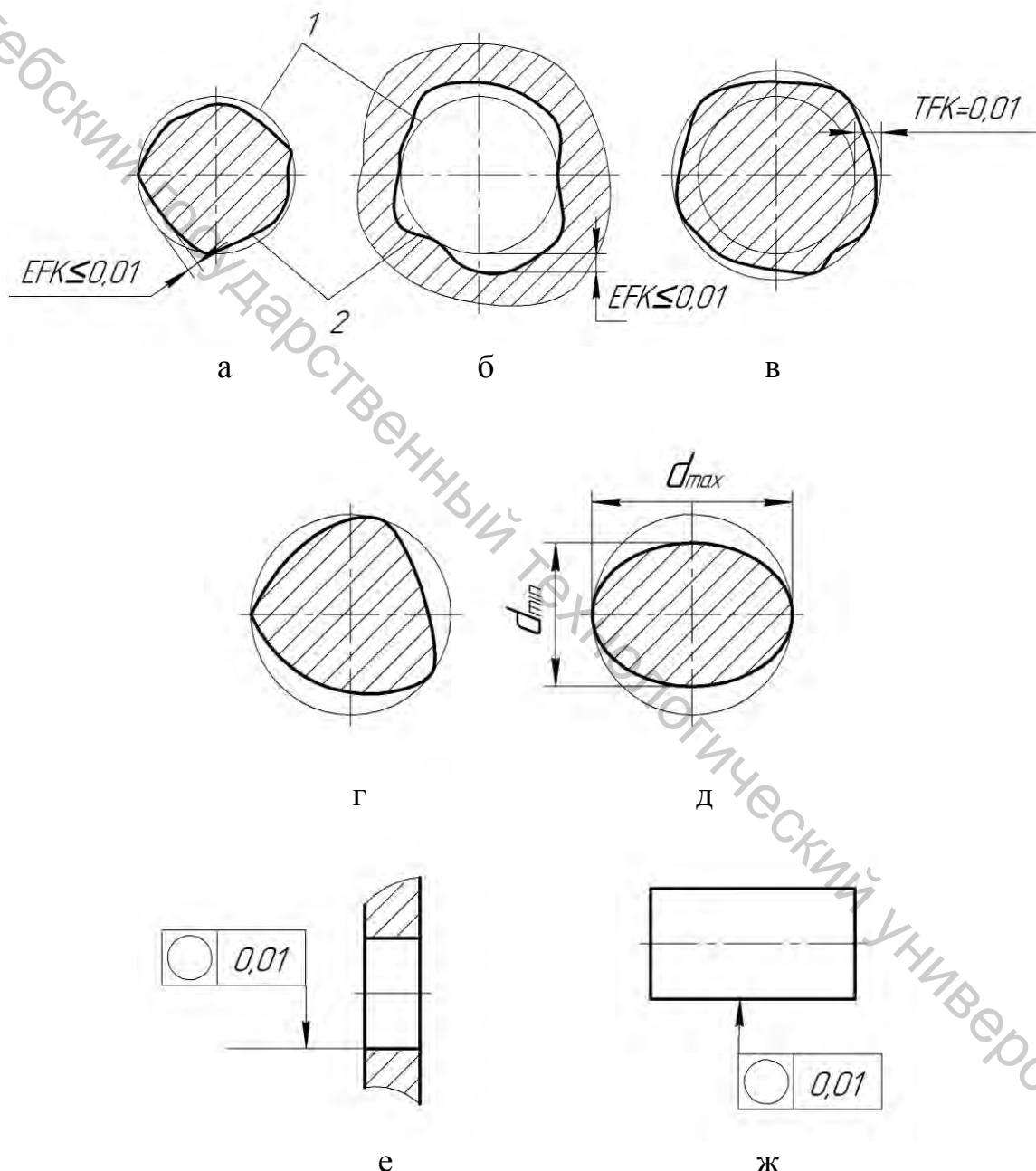


Рисунок 1.17 – Отклонение от круглости:

а – цилиндрической наружной поверхности; *б* – цилиндрической внутренней поверхности; *в* – поле допуска круглости; *г, д* – частные случаи; *е, ж* – примеры обозначения допусков на чертежах;
1 – прилегающая окружность; *2* – реальный профиль

Отклонение от цилиндричности – наибольшее расстояние EFZ от точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра в пределах нормируемого участка (рис. 1.18 а).

Поле допуска цилиндричности – область в пространстве, ограниченная двумя соосными цилиндрами, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску цилиндричности TFZ (рис. 1.18 б).

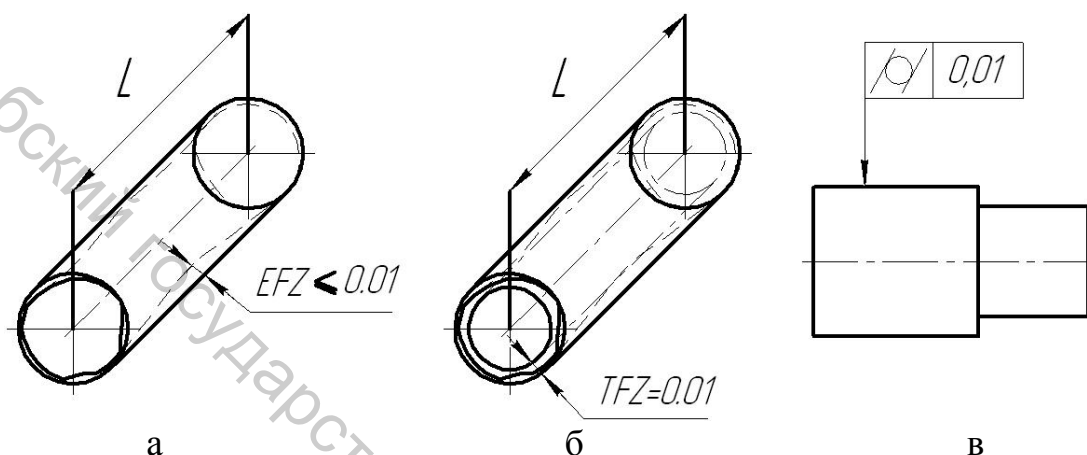


Рисунок 1.18 – Отклонение от цилиндричности:

а – схема для определения; б – поле допуска цилиндричности;

в – пример обозначения допуска на чертеже;

1 – прилегающий цилиндр; 2 – реальная поверхность

Отклонение профиля продольного сечения – наибольшее расстояние EFP от точек реальной поверхности, лежащих в плоскости, проходящей через ее ось, до соответствующей стороны прилегающего профиля в пределах нормируемого участка (рис. 1.19 а).

Поле допуска профиля продольного сечения – области на плоскости, проходящей через ось цилиндрической поверхности, ограниченные двумя парами параллельных прямых, имеющих общую ось симметрии и отстоящих друг от друга на расстояние, равное допуску профиля продольного сечения TFP (рис. 1.19 б).

К частным случаям отклонений профиля продольного сечения относят конусообразность, бочкообразность и седлообразность.

Конусообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие прямолинейны, но не параллельны (рис. 1.19 в).

Бочкообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны и диаметры увеличиваются от краев к середине сечения (рис. 1.19 г).

Седлообразность – отклонение профиля продольного сечения, при котором образующие не прямолинейны и диаметры уменьшаются от краёв к середине сечения (рис. 1.19 д).

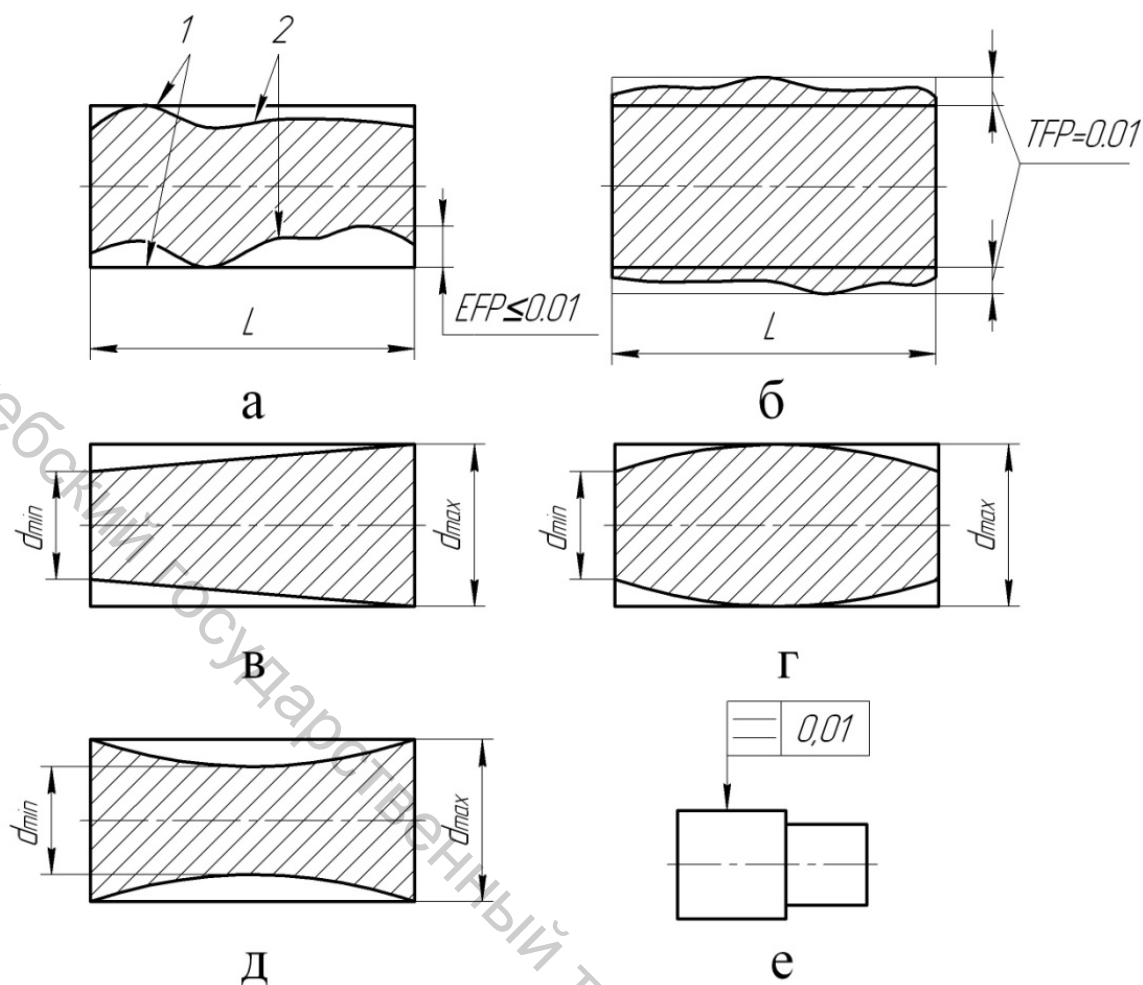


Рисунок 1.19 – Отклонение профиля продольного сечения:
 а – схема для определения; б – поле допуска; в, г, д – частные случаи;
 е – пример обозначения допуска на чертеже

1.3.3 Отклонения и допуски расположения поверхностей

Отклонение расположения – это отклонение реального расположения рассматриваемого элемента от его номинального расположения. Под номинальным понимается расположение, определяемое номинальными линейными и угловыми размерами.

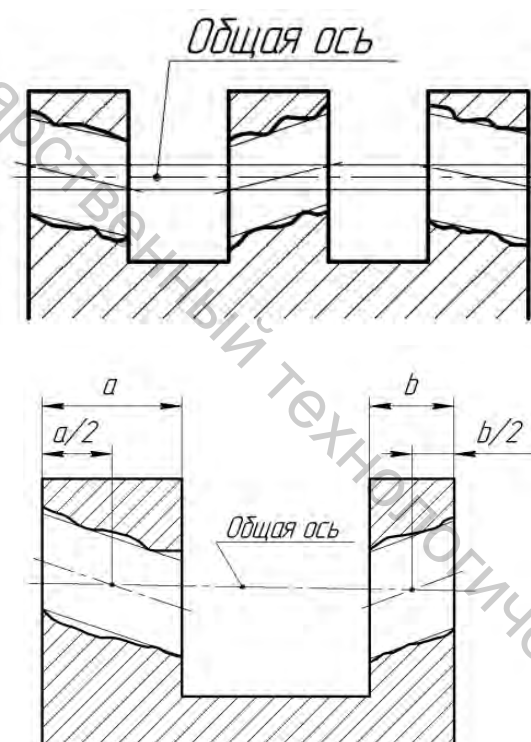
Когда оценивается отклонение расположения элемента, отклонения формы этого элемента и отклонения формы базовых элементов исключаются из рассмотрения. Это достигается за счет того, что реальные поверхности и профили заменяются прилегающими, а за оси, плоскости симметрии и центры реальных элементов принимаются соответственно оси, плоскости симметрии и центры прилегающих элементов.

Поле допуска расположения – область в пространстве или на за-

данной плоскости, внутри которой должен находиться прилегающий элемент или ось, центр, плоскость симметрии в пределах нормируемого участка.

База – элемент детали (или выполняющее ту же функцию сочетание элементов), по отношению к которому задается допуск расположения или суммарный допуск формы и расположения, а также определяется соответствующее отклонение.

Общая ось – прямая, относительно которой наибольшее отклонение осей нескольких рассматриваемых поверхностей вращения в пределах длины этих поверхностей имеет минимальное значение (рис. 1.20 а). За общую ось двух поверхностей допускается принимать прямую, проходящую через оси рассматриваемых поверхностей вращения в их средних сечениях (рис. 1.20 б).



а

б

Рисунок 1.20 – Общая ось:

а – схема для определения; *б* – общая ось двух поверхностей

Общая плоскость симметрии – плоскость, относительно которой наибольшее отклонение плоскостей симметрии нескольких рассматриваемых элементов в пределах длины этих элементов имеет минимальное значение (рис. 1.21).

Отклонение от параллельности плоскостей – разность E_{PA} наибольшего и наименьшего расстояний между плоскостями в пределах нормируемого участка (рис. 1.22 а).

Поле допуска отклонения от параллельности плоскостей – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску параллельности TPA , и параллельными базовой плоскости (рис. 1.22 б).

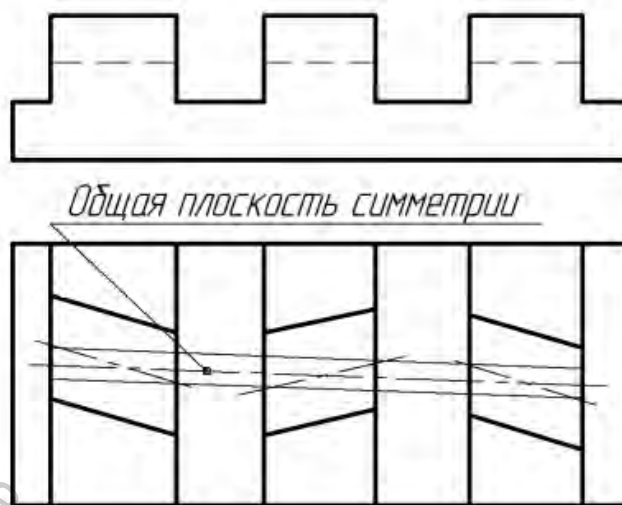


Рисунок 1.21 – Общая плоскость симметрии

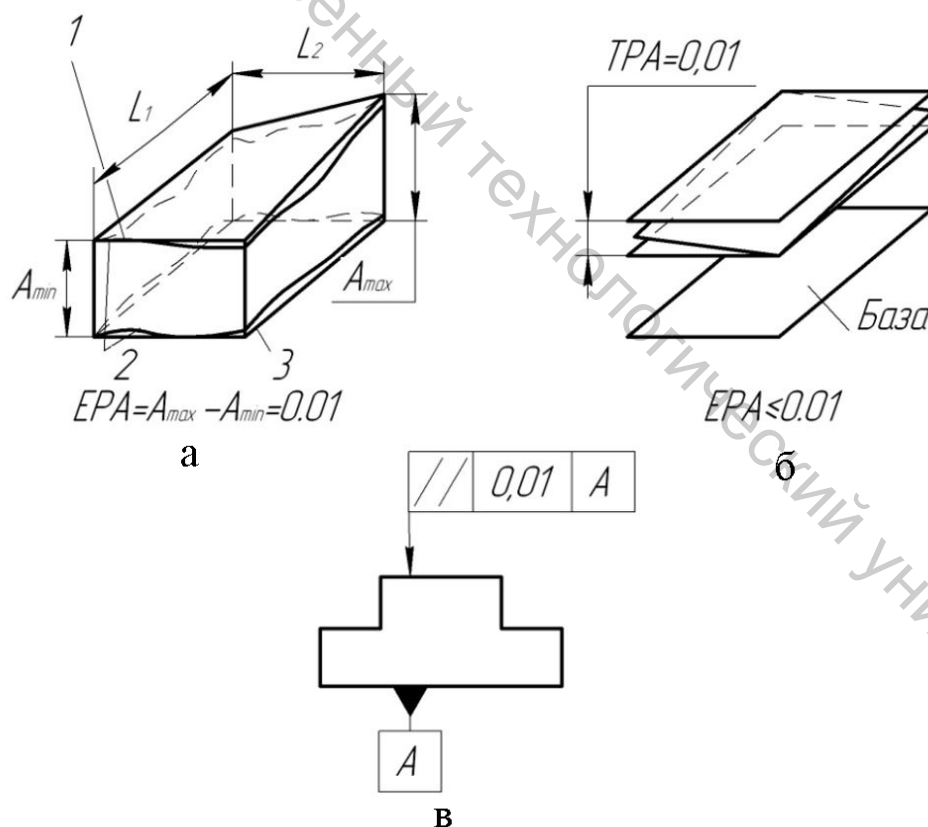


Рисунок 1.22 – Отклонение от параллельности плоскостей:
 а – схема для определения; б – поле допуска; в – пример обозначения допуска на чертеже; 1 – прилегающие плоскости; 2 – реальные поверхности; 3 – база

Отклонение от параллельности оси и плоскости – разность EPA наибольшего A_{max} и наименьшего A_{min} расстояний между осью и плоскостью на длине нормируемого участка L (рис. 1.23 а).

Общая плоскость – плоскость, проходящая через базовую ось и точку другой оси.

Отклонение от параллельности осей в общей плоскости – отклонение от параллельности EPA_x проекций осей на их общую плоскость (рис. 1.24 а).

Перекося осей – отклонение от параллельности EPA_y проекций осей на плоскость, перпендикулярную к общей плоскости и проходящую через базовую ось (рис. 1.24 б).

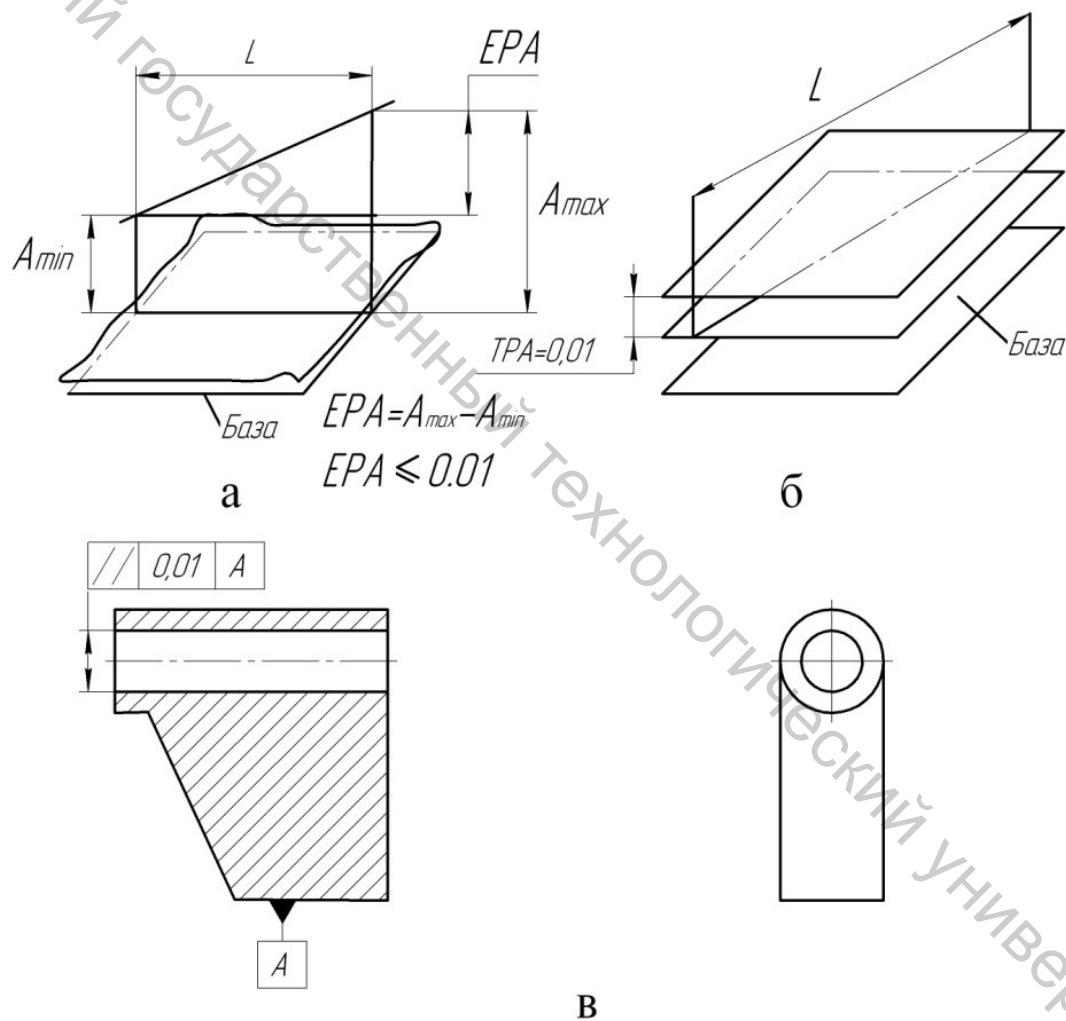


Рисунок 1.23 – Отклонение от параллельности оси относительно плоскости: а – схема для определения, б – поле допуска, в – пример обозначения допуска на чертеже

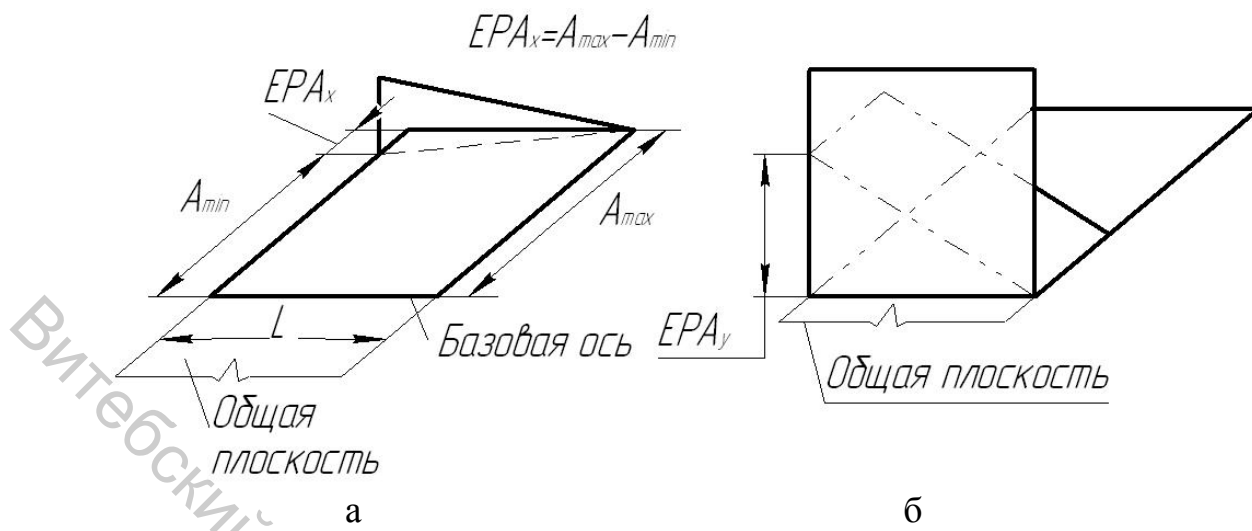


Рисунок 1.24 – Схемы для определения:
 а – отклонения от параллельности осей, б – перекоса осей

Отклонение от параллельности осей в пространстве – это геометрическая сумма EPA отклонений от параллельности проекций осей EPA_x , EPA_y в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, одна из которых является общей плоскостью (рис. 1.25 а).

Поле допуска параллельности осей в пространстве – область в пространстве, ограниченная прямоугольным параллелепипедом, стороны которого равны допуску параллельности осей в общей плоскости TPA_x и допуску перекоса осей TPA_y (рис. 1.25 б).

Отклонение наклона плоскости относительно плоскости или оси – отклонение угла между плоскостью (прилегающей) и базой (базовой плоскостью или базовой осью) от номинального угла α , выраженное в линейных единицах EPN на длине нормируемого участка L (рис. 1.26 а).

Поле допуска наклона плоскости относительно плоскости или оси – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску наклона TPN , и расположенными под номинальным углом к базовой плоскости или базовой оси (рис. 1.26 б).

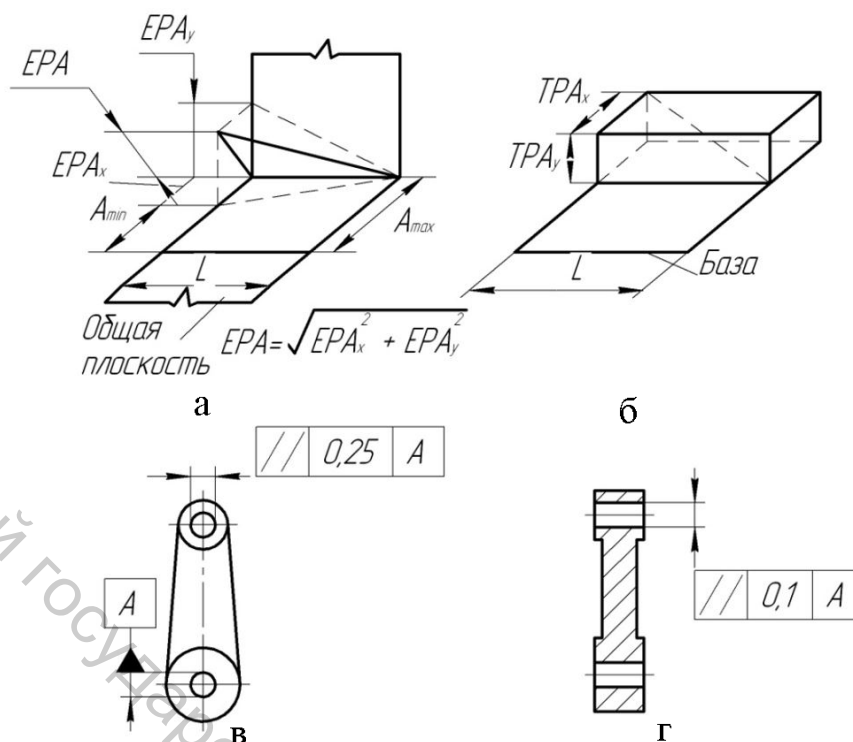


Рисунок 1.25 – Отклонение от параллельности осей в пространстве:
 а – схема для определения, б – поле допуска, в – пример обозначения
 допуска перекоса осей на чертеже, г – пример обозначения допуска
 параллельности осей на чертеже

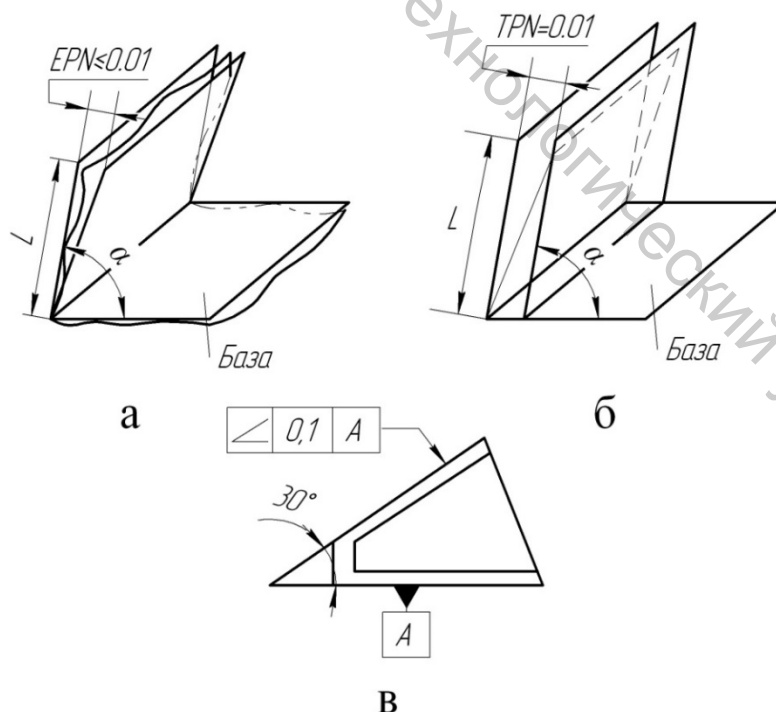


Рисунок 1.26 – Отклонение наклона плоскости:
 а – схема для определения, б – поле допуска, в – пример обозначения
 допуска на чертеже

Отклонение от перпендикулярности плоскостей – отклонение угла между плоскостями от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах *EPR* на длине нормируемого участка (рис. 1.27 а).

Поле допуска перпендикулярности плоскостей – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску перпендикулярности *TPR*, и расположенными перпендикулярно к базовой плоскости (рис. 1.27 б).

Отклонение от перпендикулярности оси относительно плоскости – это отклонение между осью и базовой плоскостью от прямого угла (90°), выраженное в линейных единицах *EPR* на длине нормируемого участка (рис. 1.28 а, б).

Отклонение от перпендикулярности плоскости относительно оси – отклонение от прямого угла между плоскостью и базовой осью, выраженное в линейных единицах *EPR* на длине нормируемого участка (рис. 1.28 г, е).

Отклонение от соосности – наибольшее расстояние *EPC* между осью рассматриваемой поверхности вращения и осью базовой поверхности на длине нормируемого участка (рис. 1.29 а, б, в).

Отклонение от соосности относительно общей оси – наибольшее расстояние *EPC* (EPC_1 , EPC_2) между осью рассматриваемой поверхности вращения и общей осью двух или нескольких поверхностей вращения на длине нормируемого участка (рис. 1.29 г, д).

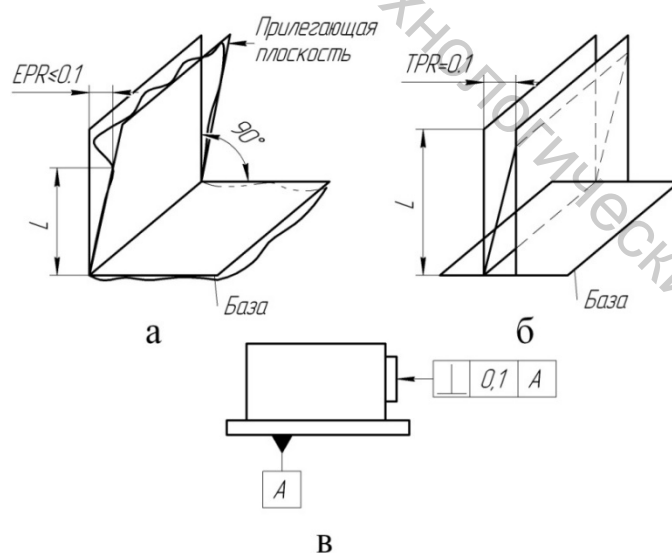


Рисунок 1.27 – Отклонение от перпендикулярности плоскостей:

- а – схема для определения, б – поле допуска,
- в – пример обозначения допуска на чертеже

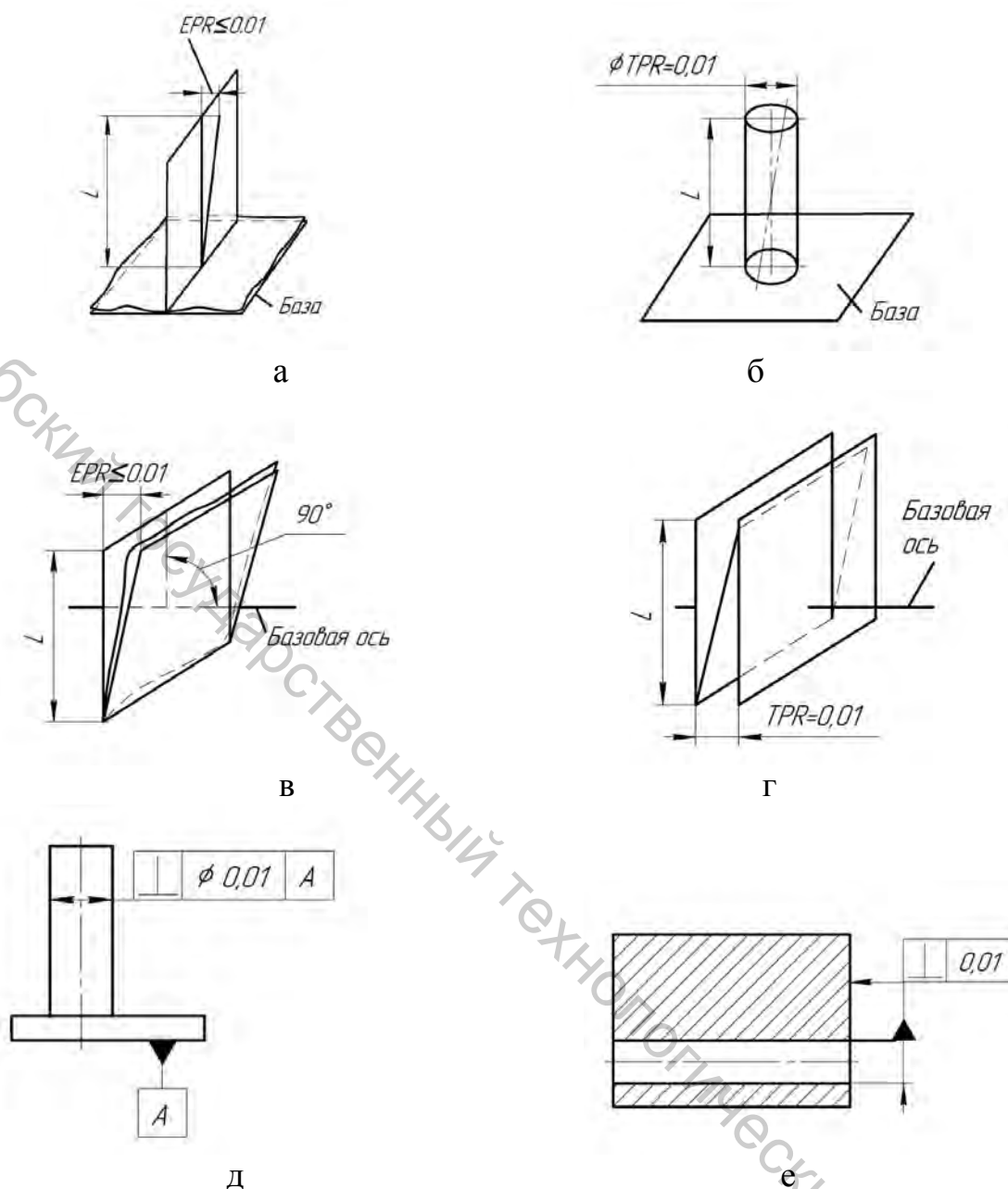


Рисунок 1.28 – Схемы для определения:

- a, б* – отклонения от перпендикулярности оси относительно базы,
в, г – отклонения от перпендикулярности плоскости относительно
 оси, *д, е* – примеры обозначения допусков на чертежах

Поле допуска соосности – область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен допуску соосности в диаметральной выражении TPC или удвоенному допуску соосности в радиусном выражении $TPC/2$, а ось совпадает с базовой осью (рис. 1.29 б).

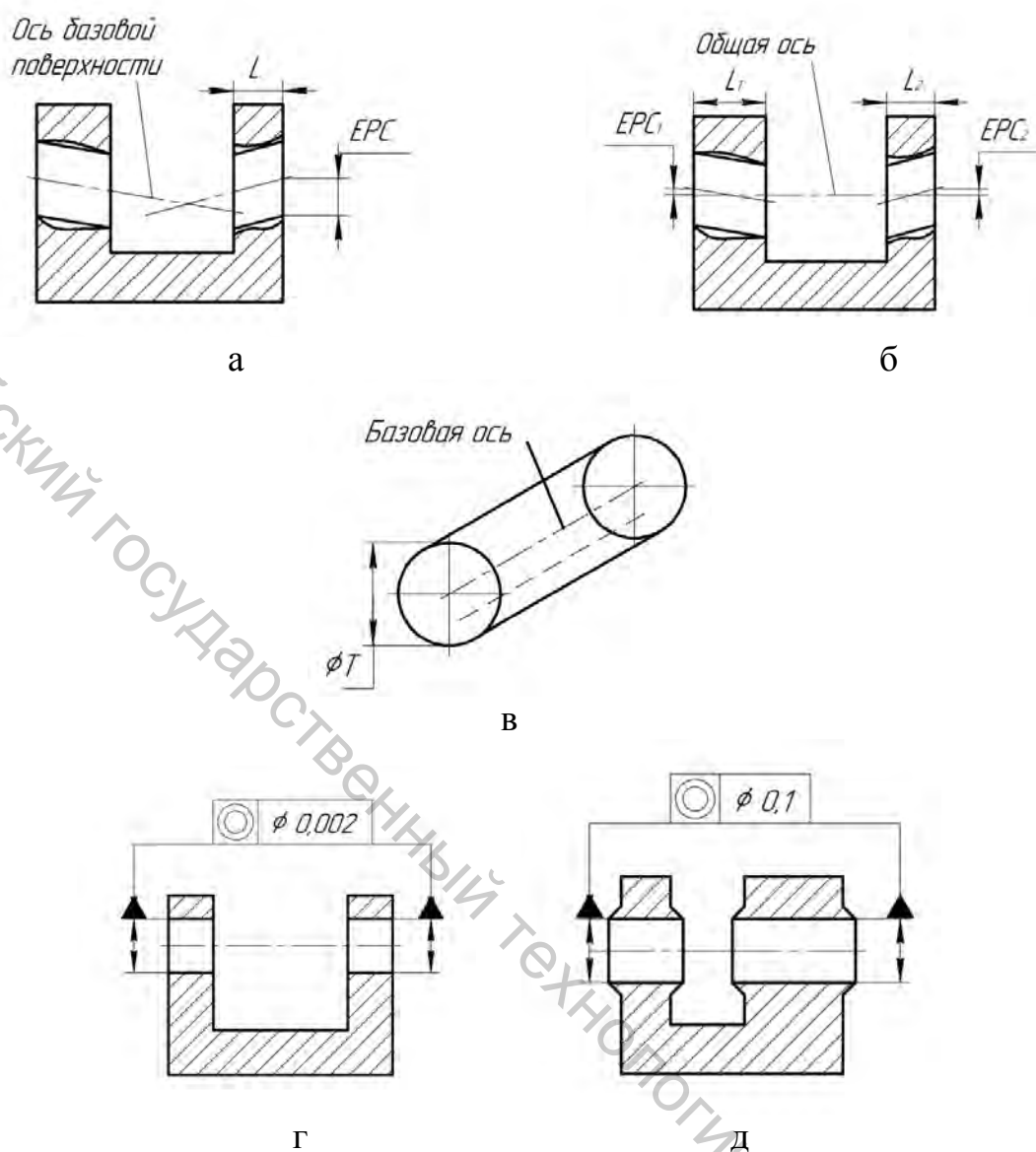


Рисунок 1.29 – Отклонение от соосности:

а – оси относительно базовой оси, *б* – оси относительно общей оси, *в* – поле допуска, *г, д* – примеры обозначения допусков на чертежах

Отклонение от симметричности относительно плоскости симметрии базового элемента – наибольшее расстояние *EPS* между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента и плоскостью симметрии базового элемента (элементов) в пределах нормируемого участка (рис. 1.30 а).

Отклонение от симметричности относительно общей плоскости симметрии – наибольшее расстояние *EPS* между плоскостью симметрии (осью) рассматриваемого элемента и общей плоскостью симметрии двух или нескольких элементов в пределах нормируемого участка (рис. 1.30 г).

Поле допуска симметричности – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от дру-

га на расстояние, равное допуску симметричности в диаметральном выражении TPS или удвоенному допуску симметричности в радиусном выражении $TPS/2$, и симметричная относительно базовой плоскости симметрии или базовой оси (рис. 1.30 б).

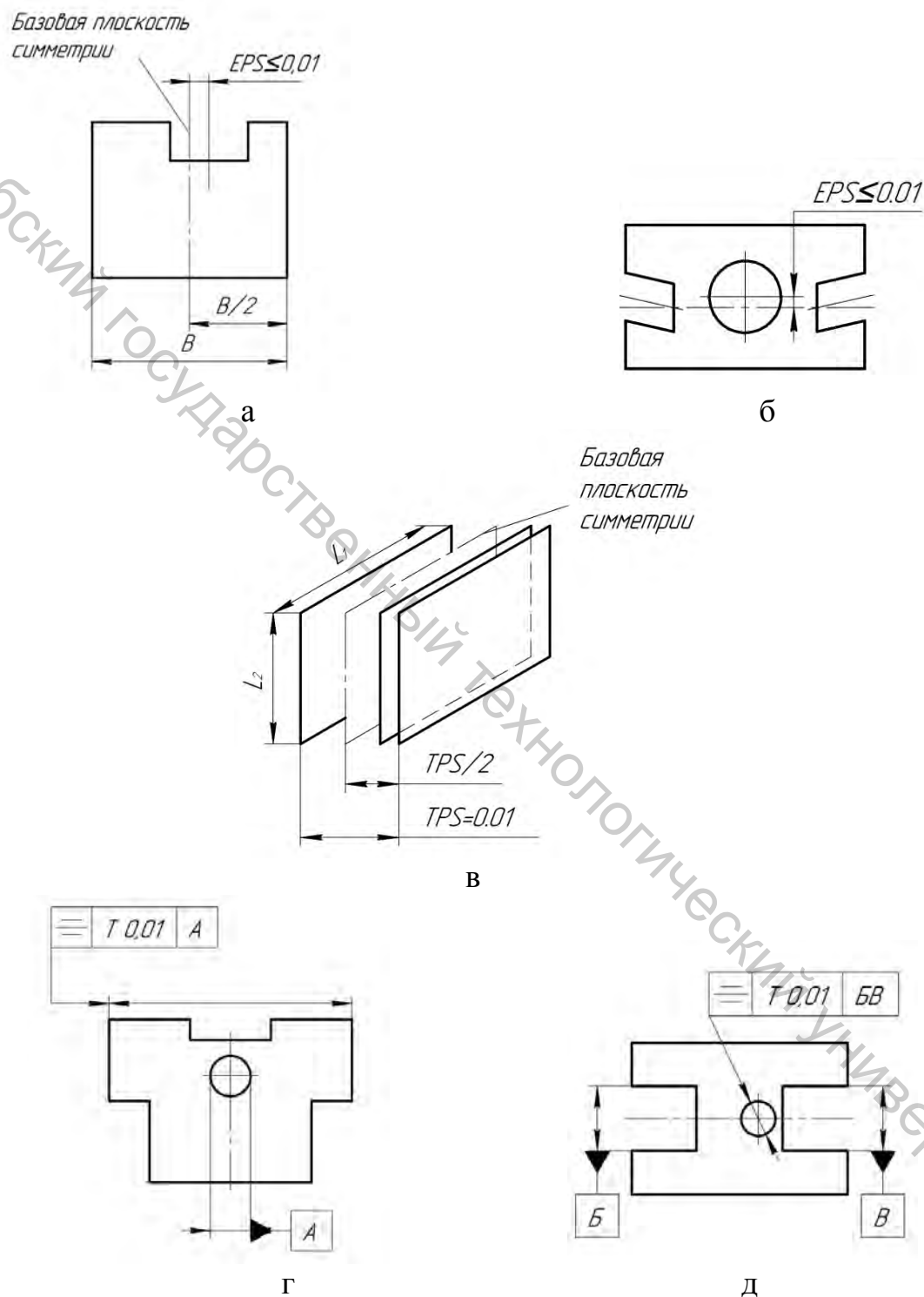


Рисунок 1.30 – Отклонение от симметричности:
а, б – схема для определения; в – поле допуска;
г, д – обозначения допусков на чертежах

Позиционное отклонение – наибольшее расстояние EPP между реальным расположением элемента (его центра, оси или плоскости симметрии) и его номинальным расположением в пределах нормируемого участка (рис. 1.31 а).

Поле позиционного допуска – область в пространстве, ограниченная цилиндром, диаметр которого равен позиционному допуску в диаметральном выражении TPP или удвоенному позиционному допуску в радиусном выражении $TPP/2$, а ось совпадает с номинальным расположением рассматриваемой оси (рис. 1.31 б).

Отклонение от пересечения осей – наименьшее расстояние EPX между номинально пересекающимися осями (рис. 1.32 а).

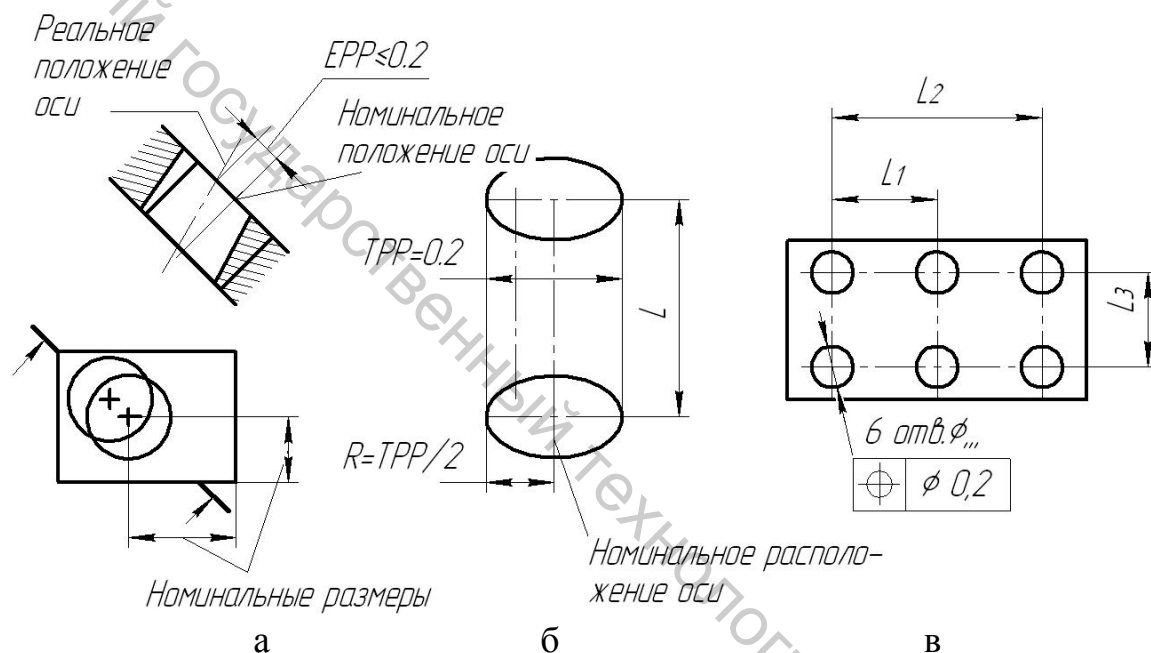


Рисунок 1.31 – Позиционное отклонение:

а – схема для определения; б – поле позиционного допуска;
в – пример обозначения допуска на чертеже

Поле допуска пересечения осей – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску пересечения в диаметральном выражении TPX или удвоенному допуску пересечения в радиусном выражении $TPX/2$, и расположенными симметрично относительно базовой оси (рис. 1.32 б).

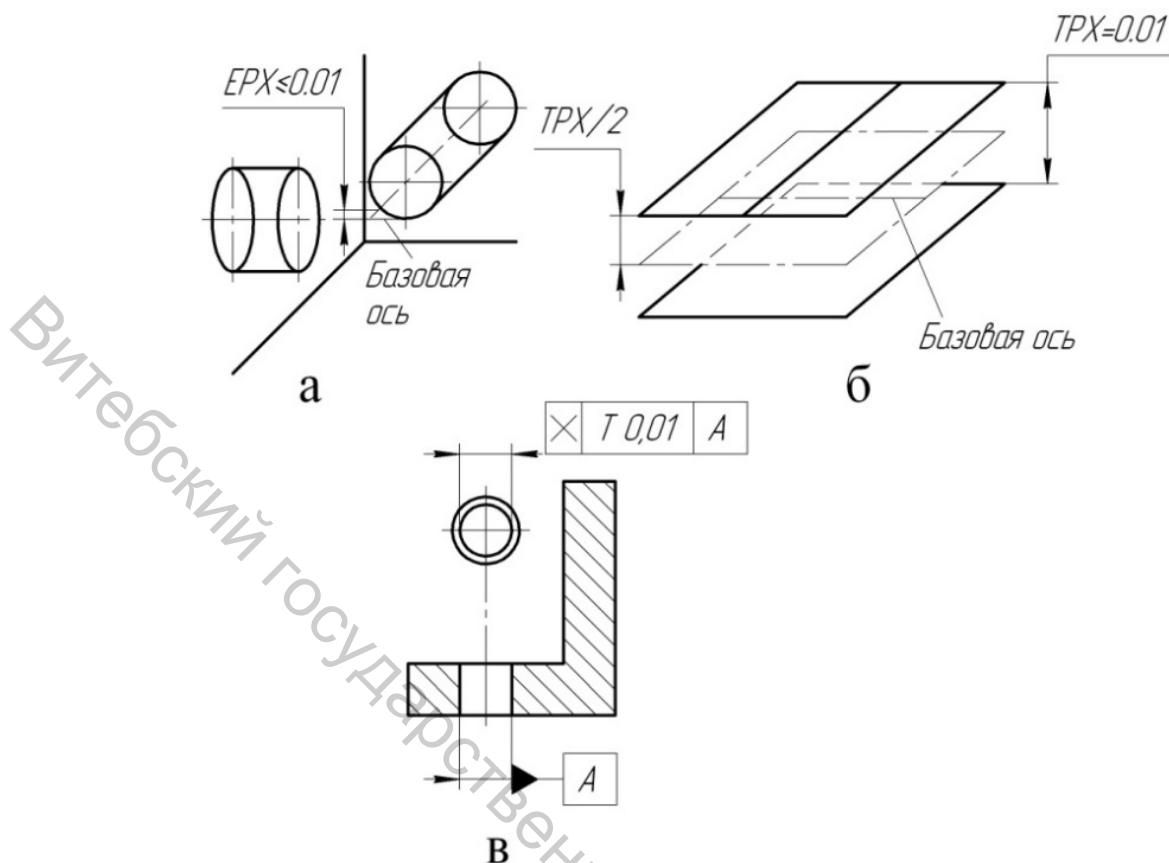


Рисунок 1.32 – Отклонение от пересечения осей:
 а – схема для определения, б – поле допуска,
 в – пример обозначения допуска на чертеже

1.3.4 Суммарные отклонения и допуски формы и расположения

Суммарным отклонением формы и расположения называется отклонение, являющееся совместным проявлением отклонения формы и отклонения расположения поверхности или профиля относительно заданных баз.

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

Радиальное биение – разность ECR наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения до базовой оси в сечении плоскостью, перпендикулярной базовой оси (рис. 1.33 а). Радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от круглости профиля рассматриваемого сечения и отклонения расположения центра профиля относительно базовой оси.

Поле допуска радиального биения – область на плоскости, перпендикулярной к базовой оси, ограниченная двумя concentricкими окружностями с центром, лежащим на базовой оси, и отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску радиального биения T_{CR} (рис. 1.33 б).

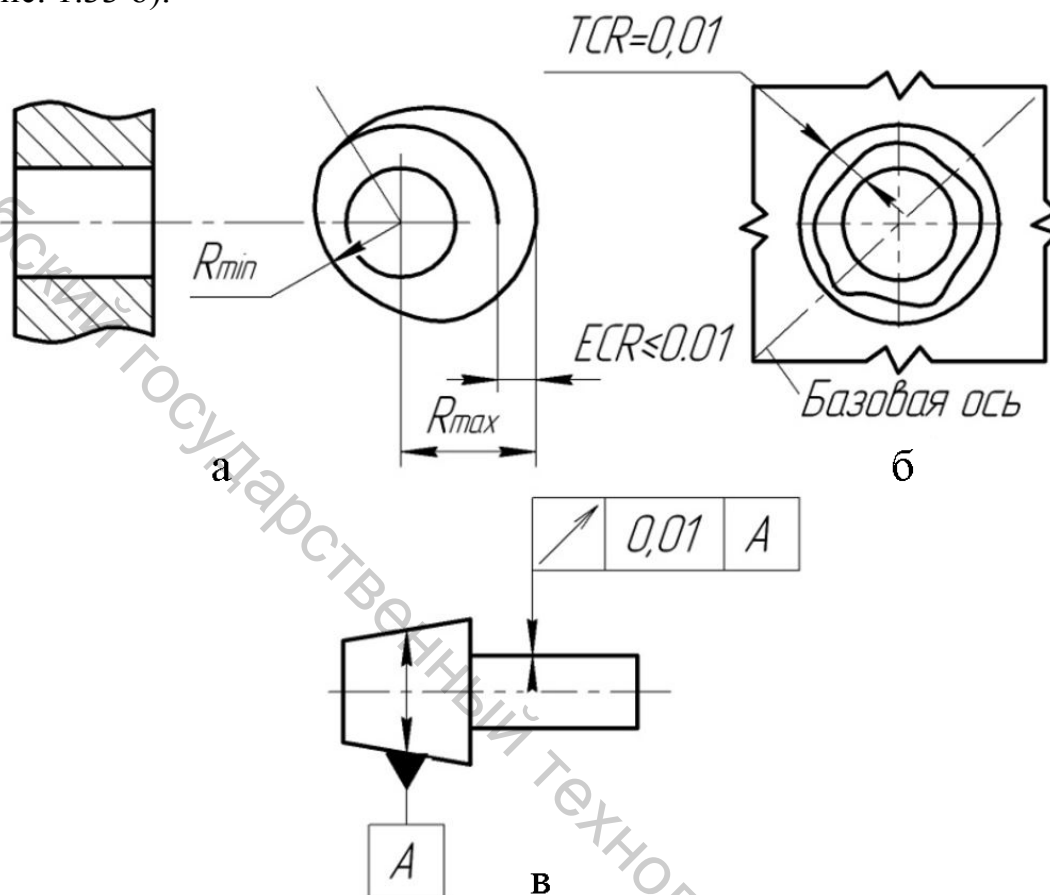


Рисунок 1.33 – Радиальное биение:
а – схема для определения, б – поля допуска,
в – пример обозначения допуска на чертеже

Полное радиальное биение – разность E_{CTR} наибольшего R_{max} и наименьшего R_{min} расстояний от всех точек реальной поверхности в пределах нормируемого участка до базовой оси (рис. 1.34 а). Полное радиальное биение является результатом совместного проявления отклонения от цилиндричности рассматриваемой поверхности и отклонения от соосности относительно базовой оси.

Поле допуска полного радиального биения – область в пространстве, ограниченная двумя цилиндрами, ось которых совпадает с базовой осью, а боковые поверхности отстоят друг от друга на расстояние, равное допуску полного радиального биения T_{CTR} (рис. 1.34 б).

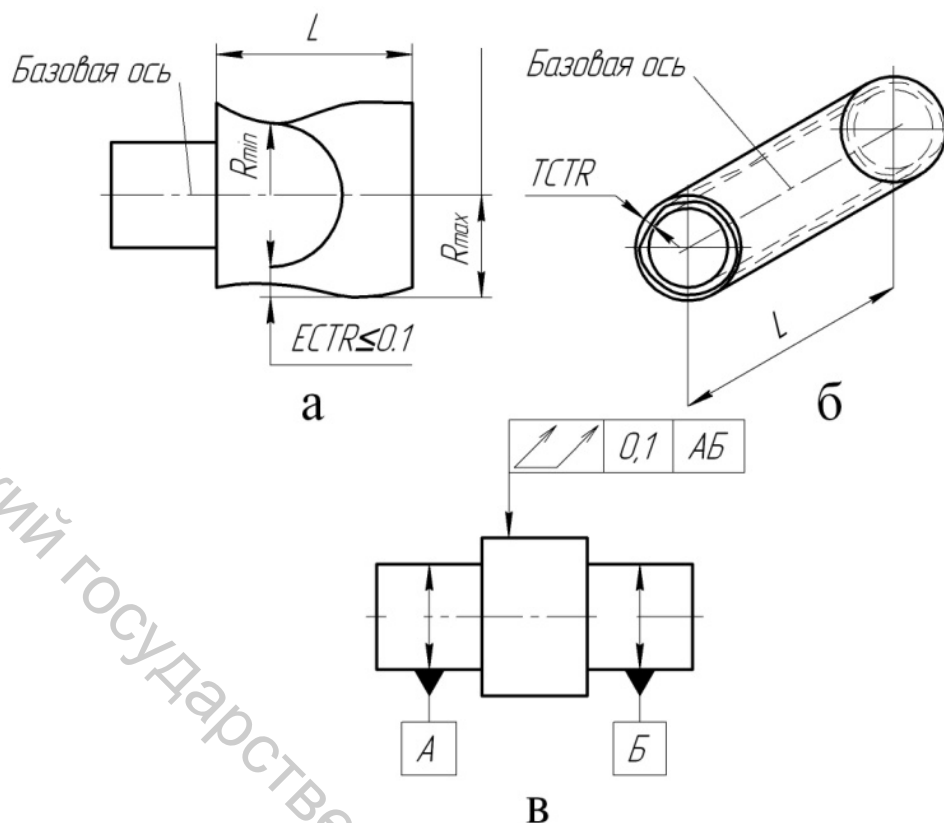


Рисунок 1.34 – Полное радиальное биение:
 а – схема определения, б – поле допуска,
 в – пример обозначения допуска на чертеже

Биение в заданном направлении – разность ECD наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля поверхности вращения в сечении рассматриваемой поверхности конусом, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление, до вершины этого конуса (рис. 1.35 а). Является результатом совместного проявления в заданном направлении отклонений формы профиля рассматриваемого сечения и отклонений расположения оси рассматриваемой поверхности относительно базовой оси.

Поле допуска биения в заданном направлении – область на боковой поверхности конуса, ось которого совпадает с базовой осью, а образующая имеет заданное направление, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние вдоль образующей конуса, равное допуску биения TCD , и перпендикулярными к базовой оси (рис. 1.35 б).

Торцовое биение – разность ECA наибольшего и наименьшего расстояний от точек реального профиля торцевой поверхности до плоскости, перпендикулярной к базовой оси (рис. 1.36 а). Торцовое биение определяется в сечении торцевой поверхности цилиндром заданного диаметра, соосным с базовой осью. Является результатом сов-

местного проявления отклонений от перпендикулярности и плоскостности торцовой поверхности.

Поле допуска торцового биения – область на боковой поверхности цилиндра, диаметр которого равен заданному диаметру торцовой поверхности, а ось совпадает с базовой осью, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску торцового биения TCA , и перпендикулярными к базовой оси (рис. 1.36 б).

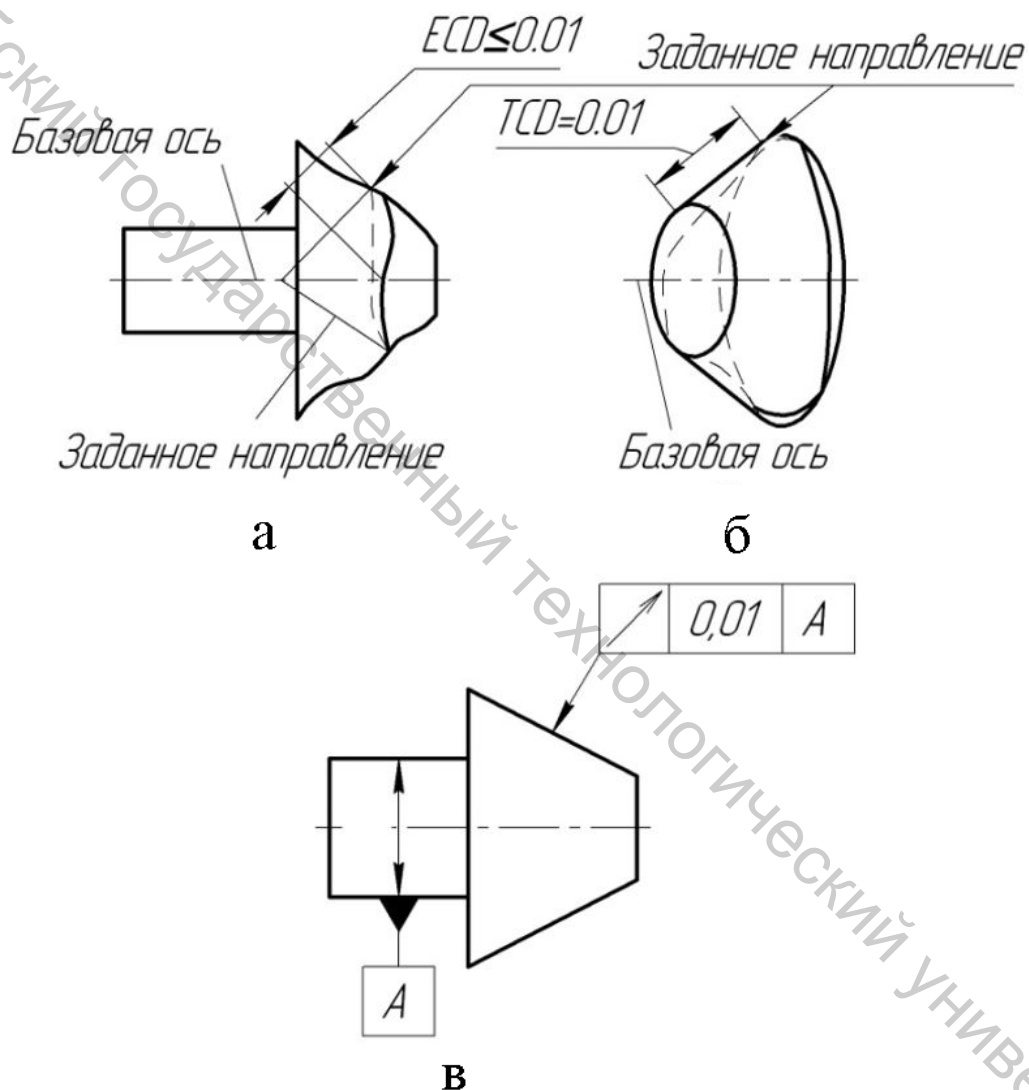


Рисунок 1.35 – Биение в заданном направлении:

а – схема определения, *б* – поле допуска,
в – пример обозначения допуска на чертеже

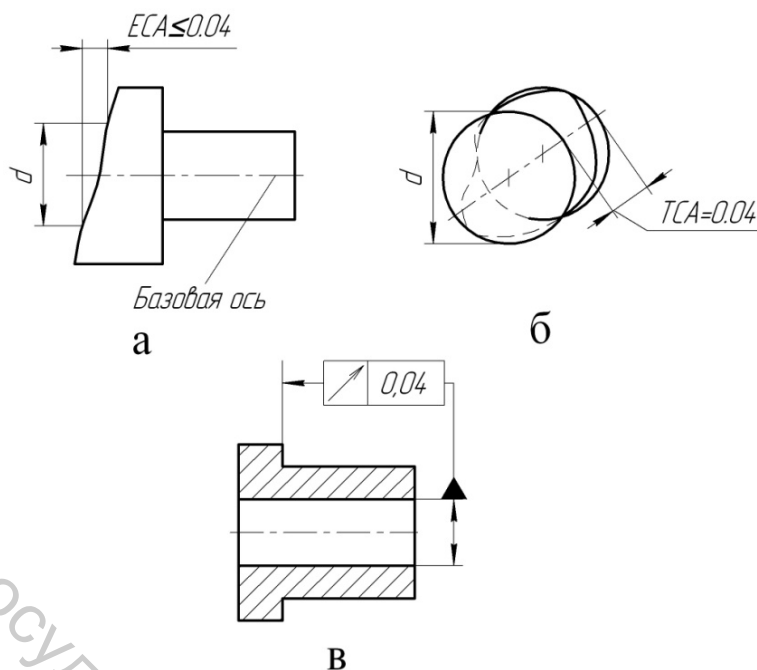


Рисунок 1.36 – Торцовое биение:
 а – схема для определения, б – поле допуска,
 в – пример обозначения допуска на чертеже

Полное торцовое биение – разность E_{CTA} наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной к базовой оси (рис. 1.37 а).

Поле допуска полного торцового биения – область в пространстве, ограниченная двумя параллельными плоскостями, отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску полного торцового биения T_{CTA} , и перпендикулярными к базовой оси (рис. 1.37 б).

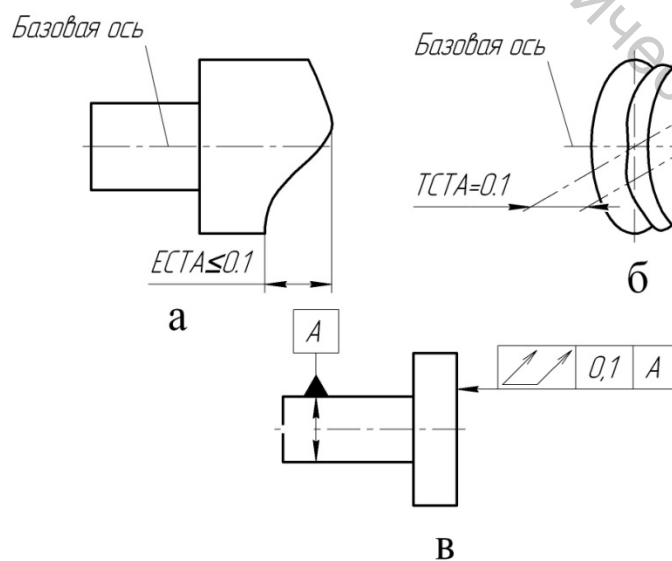


Рисунок 1.37 – Полное торцовое биение:
 а – схема для определения, б – поле допуска,
 в – пример обозначения допуска на чертеже

Профили и поверхности сложной формы задают либо координатами отдельных точек (рис. 1.38 а), либо размерами, например, радиусом кривизны, и взаимным их расположением (рис. 1.38 б).

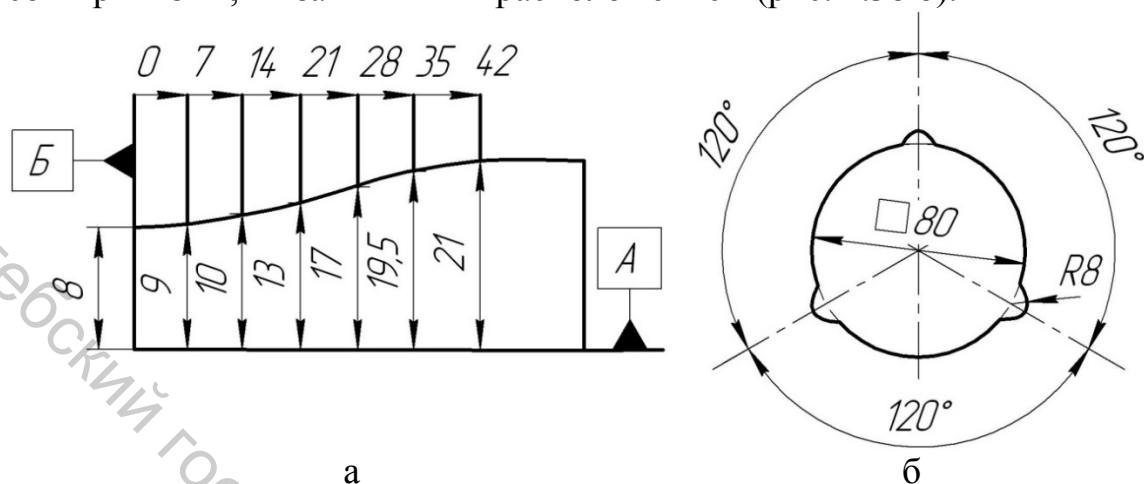


Рисунок 1.38 – Способы задания поверхностей сложной формы:

а – координатами отдельных точек,
б – размерами и взаимным их расположением

Отклонение формы заданного профиля – наибольшее отклонение ECL точек реального профиля от номинального профиля, определяемое по нормали к номинальному профилю в пределах нормируемого участка (рис. 1.39 а).

Поле допуска формы заданного профиля – область на заданной плоскости сечения поверхности, ограниченная двумя линиями, эквидистантными номинальному профилю, и отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску формы заданного профиля в диаметральной выражении TCL или удвоенному допуску формы заданного профиля в радиусном выражении $TCL/2$ (рис. 1.39 б).

Отклонение формы заданной поверхности – наибольшее отклонение ESE точек реальной поверхности от номинальной поверхности, определяемое по нормали к номинальной поверхности в пределах нормируемого участка (рис. 1.40 а).

Поле допуска формы заданной поверхности – область в пространстве, ограниченная двумя поверхностями, эквидистантными номинальной поверхности, и отстоящими друг от друга на расстояние, равное допуску формы заданной поверхности в диаметральной выражении TSE или удвоенному допуску формы заданной поверхности в радиусном выражении $TSE/2$ (рис. 1.40 б).

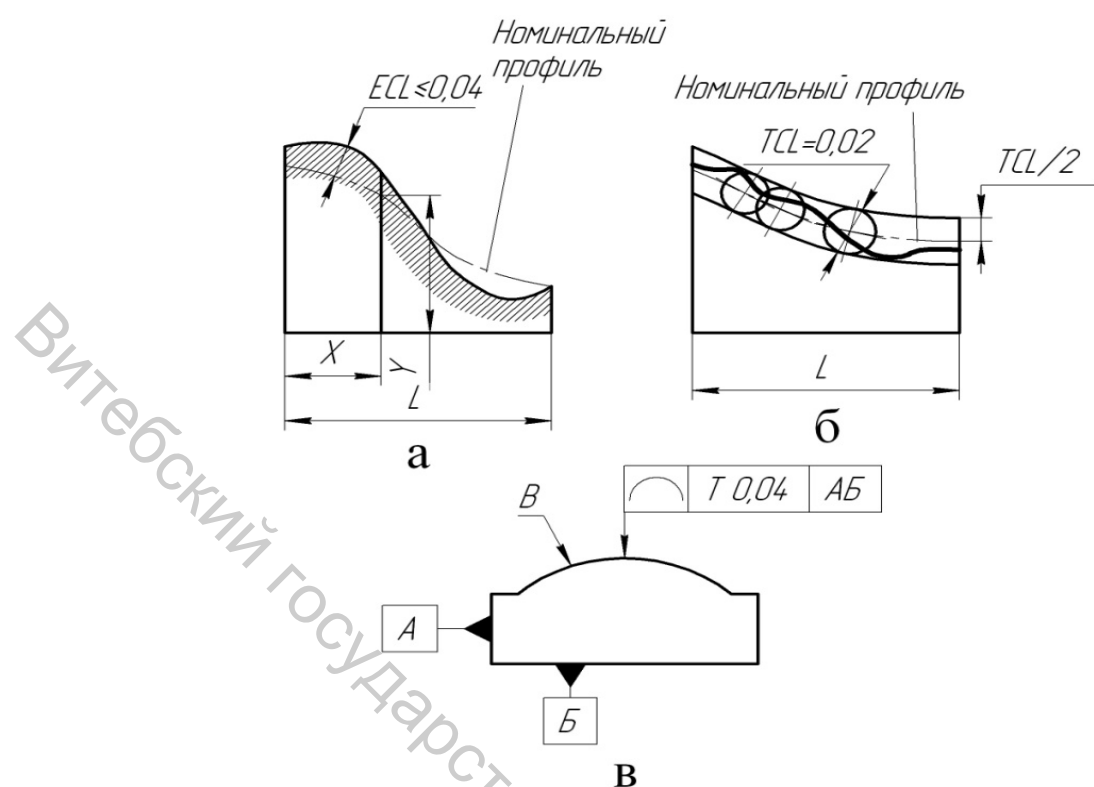


Рисунок 1.39 – Отклонение формы заданного профиля:
 а – схема для определения, б – поле допуска,
 в – пример обозначения допуска на чертеже

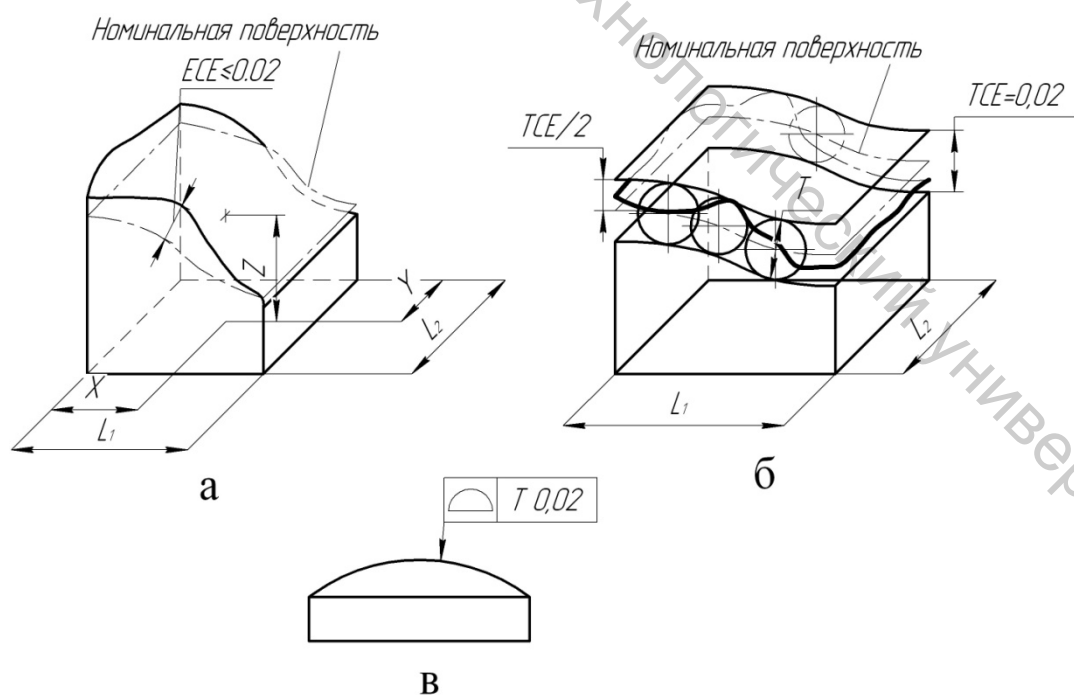


Рисунок 1.40 – Отклонение формы заданной поверхности:
 а – схема для определения, б – поле допуска,
 в – пример обозначения допуска на чертеже

1.3.5 Независимые и зависимые допуски

Независимым называется допуск расположения или формы, числовое значение которого постоянно для всей совокупности деталей и не зависит от действительных размеров нормируемого или базового элемента.

Зависимым называется допуск расположения или формы, числовое значение которого переменное для различных деталей, изготовленных по данному чертежу, и зависит от действительных размеров нормируемого или базового элемента, или одновременно от обоих элементов.

Полное значение зависимого допуска расположения

$$T_{\text{зав}} = T_{\text{min}} + T_{\text{доп}}, \quad (1.20)$$

где T_{min} – минимальное значение допуска, указываемое на чертеже, постоянное для всех деталей; $T_{\text{доп}}$ – дополнительные (переменные) значения допуска, зависящие от действительных размеров рассматриваемого или базового элемента.

Дополнительное значение равно разности действительного размера и верхнего предельного размера вала или нижнего предельного размера отверстия. Рассчитывается дополнительная часть допусков в соответствии с таблицы 1.8.

Зависимые допуски указываются со знаком M в круге, помещаемым во втором и/или третьем поле рамки (рис. 1.41).

Как правило, зависимые допуски назначают на размеры деталей, к которым предъявляется требование обеспечить при сборке соединений гарантированный зазор. В этих случаях допуски расположения рассчитывают, исходя из гарантированного минимального зазора. Если этот зазор фактически будет увеличен, то становится допустимым увеличение отклонения расположения. Поэтому зависимые допуски обеспечивают собираемость деталей по принципу полной взаимозаменяемости. Примеры назначения зависимых допусков: допуск расположения сквозных отверстий под крепежные детали, допуски соосности ступенчатых валов и втулок, собираемых с зазором, допуски перпендикулярности осей отверстий под заглушки, стаканы, крышки.

Зависимые допуски расположения назначают для таких характеристик, как позиционный допуск, соосность, симметричность, пересечение осей, перпендикулярность осей или оси и плоскости. В отдельных случаях зависимые допуски используют при назначении допусков прямолинейности оси вала или отверстия, если их длина превышает длину соединения, допусков размеров, координирующих оси поверхностей.

Таблица 1.8 – Формулы для определения дополнительной части зависимого допуска

Зависимый допуск расположения	Эскиз	$T_{\text{доп}}$		$T_{\text{доп}}(\text{max})$
		для отверстий	для валов	
Допуск соосности (симметричности) одной поверхности относительно другой (условие зависимого допуска распространяется на обе поверхности)		$(D_{\text{д1}} - D_{\text{min1}}) + (D_{\text{д2}} - D_{\text{min2}})$	$(d_{\text{max1}} - d_{\text{д1}}) + (d_{\text{max2}} - d_{\text{д2}})$	$T_{\text{д1}(D1)} + T_{\text{д2}(D2)}$
Допуск соосности (симметричности) поверхности относительно общей оси или оси базовой поверхности, на которую не распространяется условие		$D_{\text{д}} - D_{\text{min}}$	$d_{\text{max}} - d_{\text{д}}$	$T_{\text{д}(D)}$
Позиционный допуск оси (плоскости симметрии)		$D_{\text{д}} - D_{\text{min}}$	$d_{\text{max}} - d_{\text{д}}$	$T_{\text{д}(D)}$
Допуск перпендикулярности оси отверстия или вала относительно плоскости		$D_{\text{д}} - D_{\text{min}}$	$d_{\text{max}} - d_{\text{д}}$	$T_{\text{д}(D)}$

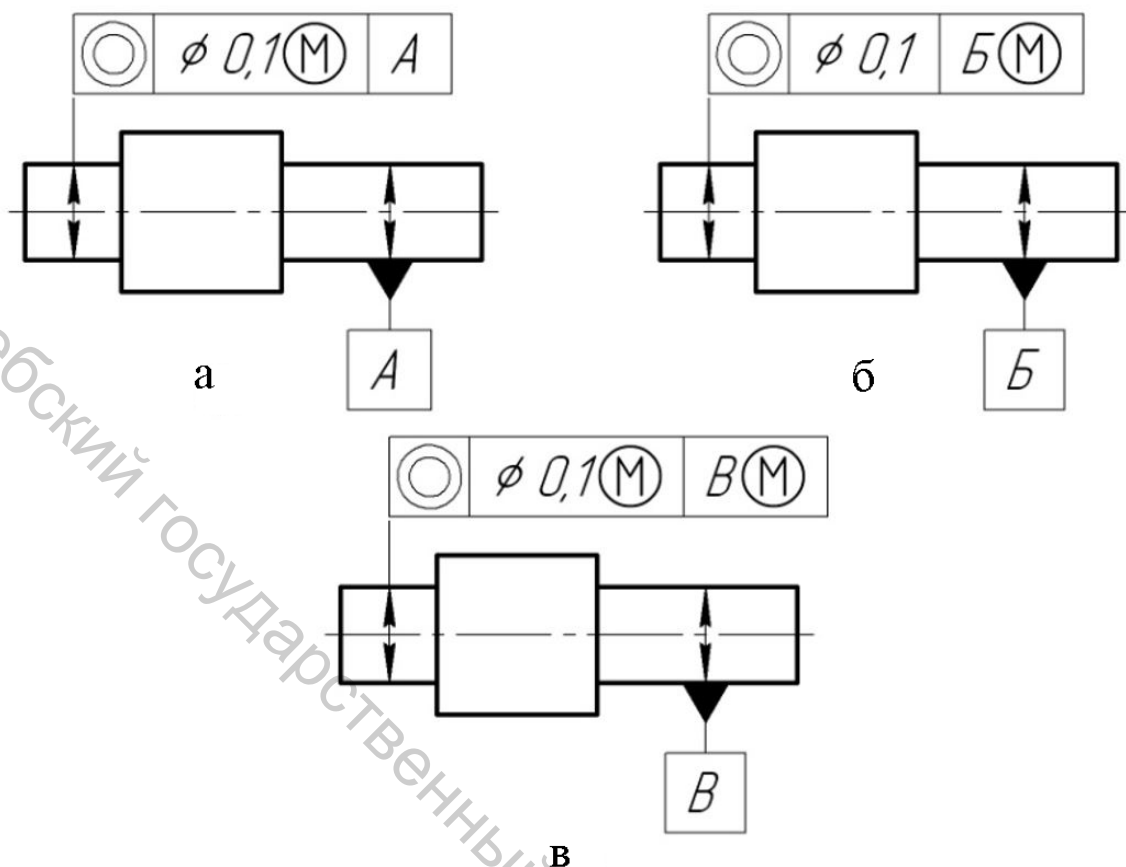


Рисунок 1.41 – Обозначение зависимых допусков на чертежах:
a – числовое значение зависимого допуска связано только с действительным размером нормируемого элемента; *б* – числовое значение зависимого допуска связано с действительными размерами базового элемента; *в* – числовое значение зависимого допуска связано с действительными размерами нормируемого и базового элементов

Независимые допуски используют в тех случаях, когда при соединении деталей сопрягаемые поверхности центрируются посадками с натягом или переходными посадками, или, когда кроме собираемости нужно обеспечить правильное функционирование соединения: отсутствие биения, балансировку, равномерность радиального зазора, плотность, герметичность. Примеры назначения независимых допусков расположения: допуски посадочных мест под подшипники качения, допуски отверстий под валы зубчатых передач, допуски резьбовых отверстий под шпильки и гладких отверстий под штифты, допуски соосности направляющих и рабочих поверхностей в деталях гидравлических и пневматических устройств.

1.3.6 Назначение степеней точности и допусков формы и расположения поверхностей

В качестве основного ряда числовых значений допусков формы и расположения (табл. 1.9) принят ряд предпочтительных чисел $R10$ с округлением некоторых значений до чисел, удобных для отсчета по шкалам измерительных приборов. Для каждого вида допусков формы и расположения установлено 16 степеней точности. Числовые значения допусков формы и расположения от одной степени к другой изменяются с коэффициентом возрастания 1,6, соответствующим ряду $R5$, а в пределах одной степени точности – от одного интервала размеров к другому по ряду $R10$.

Таблица 1.9 – Числовые значения допусков формы и расположения, мкм (ГОСТ 24643-81)

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	-	-	-	-	-	-	-

Рекомендуются следующие уровни относительной геометрической точности, которые характеризуются соответствием между допуском формы или расположения и допуском на размер.

A – нормальная относительная геометрическая точность. Допуск формы и расположения составляет примерно 60 % допуска размера. Примеры применения:

- поверхности в подвижных соединениях при небольших скоростях относительных перемещений и нагрузках, если не предъявляется особых требований к плавности хода или минимальному трению;

- поверхности в соединениях с натягом или с переходными посадками при необходимости разборки и повторной сборки, повышенных требованиях к точности центрирования и стабильности натяга;

- измерительные поверхности калибров; технологические допуски формы при допусках размеров по квалитетам точности IT4 – IT12, если в конструкторской документации допуски формы не указаны.

B – повышенная относительная геометрическая точность. Допуск формы и расположения составляет 40 % допуска размера. Примеры применения:

- поверхности в подвижных соединениях при средних скоростях относительных перемещений и нагрузках, при повышенных требовани-

ях к плавности хода и герметичности уплотнений;

- поверхности в соединениях с натягом или с переходными посадками при повышенных требованиях к точности и прочности в условиях больших скоростей и нагрузок, ударов, вибраций;

- технологические допуски формы при допусках размеров грубее IT12, если в конструкторской документации допуски формы не указаны;

- технологические допуски формы для обеспечения точности контроля размеров при упрощенных методах этого контроля, в том числе при активном контроле размеров.

C – высокая относительная геометрическая точность. Допуск формы и расположения составляет примерно 25 % допуска размера. Примеры применения:

- поверхности в подвижных соединениях при высоких скоростях и нагрузках, высоких требованиях к плавности хода, снижению трения, герметичности уплотнения;

- поверхности в соединениях с натягом или с переходными посадками при высоких требованиях к точности и прочности в условиях воздействия больших скоростей и нагрузок, ударов, вибраций.

Указанные уровни относительной геометрической точности не исключают возможности в обоснованных случаях назначать допуск формы или расположения, для которого используется менее 25 % допуска размера. Примеры применения:

- поверхности, к которым предъявляются особо высокие требования по обеспечению кинематической точности, плотности и герметичности при больших давлениях, минимального трения, бесшумности, максимальной долговечности при тяжелых режимах работы;

- детали, сортируемые на размерные группы (при числе групп более пяти);

- детали, аттестуемые по размеру с высокой точностью.

Степени точности в зависимости от качества и относительной геометрической точности для цилиндрических поверхностей назначают в соответствии с ГОСТом 24643-81 (табл. 1.10).

Таблица 1.10 – Соотношение между качествами допуска размера и степенями точности допусков формы и расположения для цилиндрических поверхностей

Относительная геометрическая точность	Квалитет допуска диаметра									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Степень точности формы									
Нормальная (A)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Повышенная (B)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высокая (C)		1	2	3	4	5	6	7	8	9

1.3.7 Примеры назначения степеней точности формы и расположения

Примеры назначения степеней точности цилиндрических поверхностей:

1–2 степень точности: шарики и ролики для подшипников; дорожки качения и посадочные поверхности подшипников качения особо высокой точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов; подшипниковые шейки шпинделей прецизионных станков; детали особо точных плунжерных и золотниковых пар.

3–4 степень точности: дорожки качения и посадочные поверхности подшипников качения повышенной точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов; цапфы осей гироскопов; подшипники жидкостного трения при больших нагрузках (прокатные станы); подшипниковые шейки коленчатых валов, поршневые пальцы и сопрягаемые с ними отверстия в деталях авиационных и автомобильных двигателей; плунжеры, золотники, поршни, втулки и другие детали гидравлической аппаратуры, работающие при высоких давлениях без уплотнений.

5–6 степень точности: посадочные поверхности колец подшипников качения нормальной точности и сопрягаемые с ними посадочные поверхности валов и корпусов; подшипниковые шейки и вкладыши коленчатых валов тракторных и судовых двигателей, валов редукторов, паровых турбин, крупных насосов; поршневые пальцы дизелей и газовых двигателей; поршни, золотники, гильзы, цилиндры и другие детали гидравлической и пневматической аппаратуры при средних и низких давлениях без уплотнений или при высоких и средних давлениях с уплотнениями; несопрягаемые поверхности вала паровой турбины и оправки для балансировки дисков турбин.

7–8 степень точности: подшипники скольжения крупных гидротурбин; тихоходных двигателей, редукторов; цилиндры, гильзы, поршни и поршневые кольца автомобильных и тракторных двигателей; отверстия под втулки в шатунах двигателей, в гидравлических устройствах средних давлений; бочка валков холодной прокатки.

9–10 степень точности: подшипники скольжения при малых скоростях и давлениях; поршни и цилиндры насосов низкого давления с мягким уплотнением; поршневые кольца дизелей и газовых двигателей.

Примеры назначения степеней точности формы плоских поверхностей:

1–2 степень точности: измерительные приборы и рабочие поверхности особо точных средств измерения (концевых мер, длины, ле-

кальных линеек и т.д.), направляющие прецизионных координатно-расточных станков.

3–4 степень точности: измерительные и рабочие поверхности средств измерения нормальной точности (поверочных линеек и плит, микрометров и др.); опорные поверхности уровней; направляющие станков повышенной точности; базовые и установочные поверхности.

5–6 степень точности: направляющие и столы станков нормальной точности; базовые и установочные поверхности технологических приспособлений повышенной точности; направляющие точных машин и приборов.

7–8 степень точности: разметочные плиты; направляющие кривошипных и гидравлических прессов; ползуны, упорные подшипники машин малой мощности.

9–10 степень точности: кронштейны и основания вспомогательных машин; опорные поверхности машин, устанавливаемых на клиньях и амортизирующих прокладках.

11–12 степень точности: неотчетственные рабочие поверхности механизмов пониженной точности; базовые поверхности столов, рамок, планок в литейных машинах.

Примеры назначения допусков параллельности:

1–2 степень точности: направляющие и базовые поверхности прецизионных станков; направляющие станины оптической делительной головки; рабочие поверхности синусных линеек и угольников высокой точности.

3–4 степень точности: направляющие поверхности станков высокой и повышенной точности; особо точные направляющие приборов управления и регулирования; измерительные и рабочие поверхности поверочных линеек, призм.

5–6 степень точности: рабочие поверхности станков нормальной точности; измерительные поверхности микрометров и штангенциркулей; рабочие поверхности технологических приспособлений высокой точности; направляющие пазы и планки приборов и механизмов высокой точности; оси отверстий и торцы корпусов, рабочих шестерен; базовые поверхности блока, рамы и картера двигателей.

7–8 степень точности: плоскости плит штампов; торцы фрез, опорные торцы крышек и колец для подшипников качения нормальной точности; оси отверстий в корпусах зубчатых передач нормальной точности;

9–10 степень точности: торцы крышек подшипников в тяжелом машиностроении; шатунные шейки и ось коленчатого вала дизелей и газовых двигателей; оси передач в лебедках.

11–12 степень точности: плоскость разъема и опорная плоскость в корпусах редукторов подъемно-транспортных машин.

13–16 степень точности: поверхности низкой точности.

Примеры назначения допусков перпендикулярности и торцового биения:

1–2 степень точности: основные направляющие и базовые поверхности прецизионных станков; шпиндели и оправки зубомерительных инструментов, оптической делительной головки; кольца прецизионных подшипников качения.

3–4 степень точности: основные направляющие и базовые поверхности станков высокой и повышенной точности; рабочие поверхности угольников; фланцы крупных турбин и генераторов.

5–6 степень точности: рабочие поверхности станков нормальной точности; опорные торцы долбяков и шеверов; торцы корпусов рабочих шестерен; торцы рам и корпусов гидроприборов.

7–8 степень точности: рабочие поверхности прессов; торцы станочных втулок; заплечики валов и корпусов под подшипники качения нормальной точности; ось отверстия под палец в автомобильных и тракторных поршнях.

9–10 степень точности: оси резьбовых шпилек относительно опорных поверхностей в двигателе; зубчатые венцы колес с обработанными зубьями в сельскохозяйственных машинах.

11–12 степень точности: зубчатые венцы звездочек с обработанными зубьями в сельскохозяйственных машинах; оси и поверхности в вилках включения сельскохозяйственных машин.

13–16 степень точности: поверхности низкой точности; поверхности с неуказанными допусками.

Примеры назначения допусков соосности и радиального биения:

1–2 степень точности: рабочие поверхности шпинделей, планшайб станков высокой точности; опорные и посадочные шейки шпинделей зубоизмерительных приспособлений; шейки вала и отверстия воздушных подшипников высокоскоростных шпинделей.

3–4 степень точности: рабочие поверхности шпинделей и столов станков повышенной и нормальной точности; кольца подшипников качения высокой точности; опорные и посадочные поверхности вкладышей насосов и гидротурбин; быстроходные валы и оси гидроприборов высокой точности.

5–6 степень точности: втулки станочные повышенной точности, отрезные алмазные круги, кольца подшипников качения нормальной точности; посадочные поверхности вала под зубчатые колеса повышенной точности; быстроходные валы повышенной точности.

7–8 степень точности: рабочие кромки зенкеров, конических разверток, метчиков; коренные шейки коленчатых валов дизельных и газовых двигателей; отверстия под крышки и вкладыши в насосах и

средних гидротурбинах; быстроходные валы нормальной точности; трансмиссионные валы длиной до 1000 мм.

9–10 степень точности: режущие кромки плашек, метчиков, фрез; посадочные шейки валов под зубчатые колеса пониженной точности; трансмиссионные валы длиной 1000 – 4000 мм.

11–16 степень точности: поверхности низкой точности; поверхности с неуказанными допусками.

1.3.8 Общие допуски формы и расположения поверхностей

Общим допуском формы или расположения называется допуск, указываемый на чертеже или в других технических документах общей записью и применяемый в тех случаях, когда допуск формы или расположения не указан индивидуально для соответствующего элемента детали. Общие допуски формы и расположения поверхностей применяются, если в чертеже дана ссылка на ГОСТ 30893.2-2002.

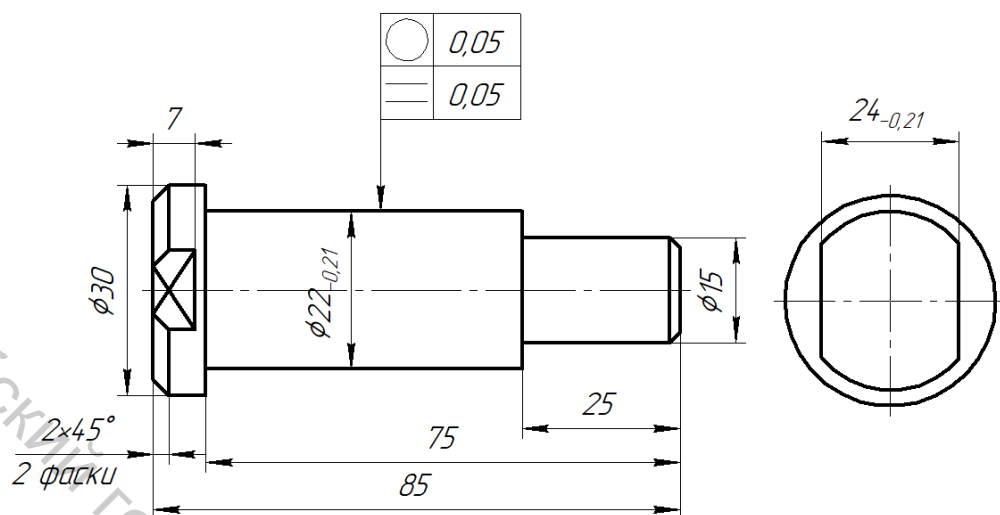
Общие допуски цилиндричности, профиля продольного сечения, наклона, перекоса осей, позиционные, полного радиального и полного торцового биения, формы заданного профиля и заданной поверхности не устанавливаются. Отклонения этих видов косвенно ограничиваются допусками на линейные и угловые размеры или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

Общие допуски формы и расположения являются независимыми и установлены по трем классам точности, обозначаемым по мере уменьшения точности буквами *H*, *K*, *L*.

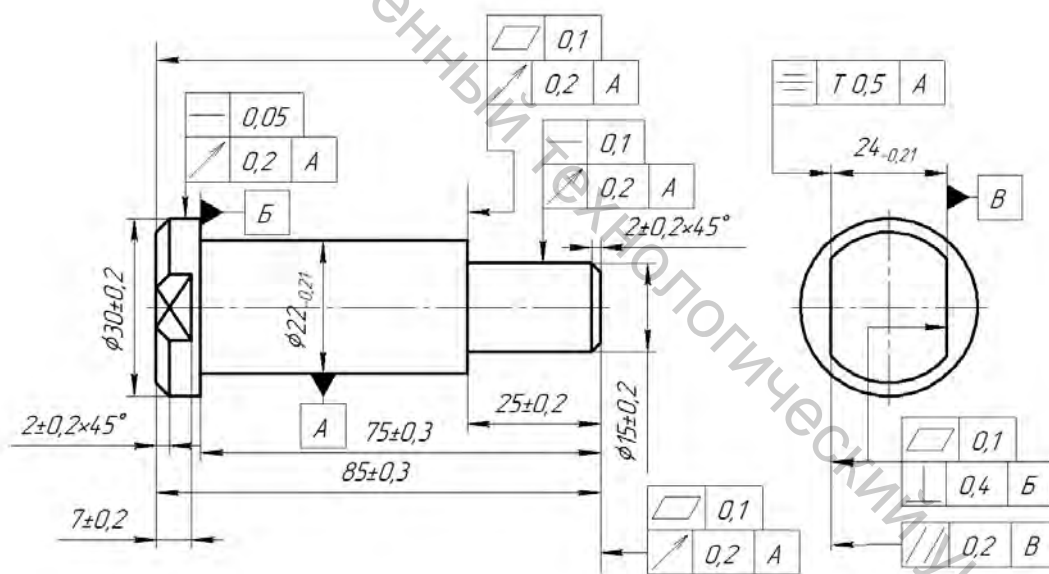
При выборе класса точности нужно учитывать функциональное назначение детали и обычную точность соответствующего производства.

Обозначение общих допусков формы и расположения в чертежах должно содержать указание стандарта, класс точности общих допусков размеров по ГОСТу 30893.1-2002 и класс точности общих допусков формы и расположения по ГОСТу 30893.2-2002.

На рисунке 1.42 а показан пример указания общих допусков формы и расположения на чертеже. Численные значения определенных по стандарту общих допусков формы и расположения, соответствующие данному примеру, приведены на рисунке 1.42 б.



а



б

Рисунок 1.42 – Общие допуски:

а – условное обозначение («Общие допуски ГОСТ 30893.2 – МК»),
б – числовые значения общих допусков, определенные по стандарту

1.4 Шероховатость поверхности

1.4.1 Общие сведения, термины и определения

В процессе обработки деталей на их поверхностях образуются неровности с относительно малыми шагами в виде выступов и впадин, которые называют шероховатостью. Влияние шероховатости на работу машин многообразно:

- шероховатость поверхности может нарушить характер сопряжения деталей за счет смятия или интенсивного износа выступов;
- значительно снижается жесткость стыков в стыковых соединениях;
- шероховатость поверхности валов разрушает контактирующие уплотнения;
- неровности являются концентраторами напряжений, снижающими усталостную прочность деталей;
- шероховатость влияет на герметичность соединений, на качество гальванических и лакокрасочных покрытий;
- шероховатость влияет на точность измерений;
- на грубо обработанных поверхностях активно образуется и распространяется коррозия металла.

Шероховатость поверхности – совокупность неровностей поверхности с относительно малыми шагами, выделенная с помощью базовой длины (ГОСТ 25142-82).

Базовая линия – линия заданной геометрической формы, определенным образом проведенная относительно профиля и предназначенная для оценки геометрических параметров шероховатости поверхности.

Шероховатость поверхности оценивается по профилю, полученному путем сечения реальной поверхности нормальной плоскостью (рис. 1.43).

Базовая длина l – длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхности, и количественного определения параметров. Числовые значения базовой длины l выбираются из ряда: 0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25 мм.

Средняя линия профиля m – базовая линия, имеющая форму номинального профиля и проведенная так, чтобы в пределах базовой длины среднее квадратичное отклонение профиля до этой линии было минимальным (рис. 1.43 а).

Отклонение профиля y – расстояние между точкой профиля и базовой линией.

Местный выступ профиля – часть профиля, расположенная между двумя соседними минимумами профиля.

Местная впадина – часть профиля, расположенная между двумя

соседними максимумами.

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

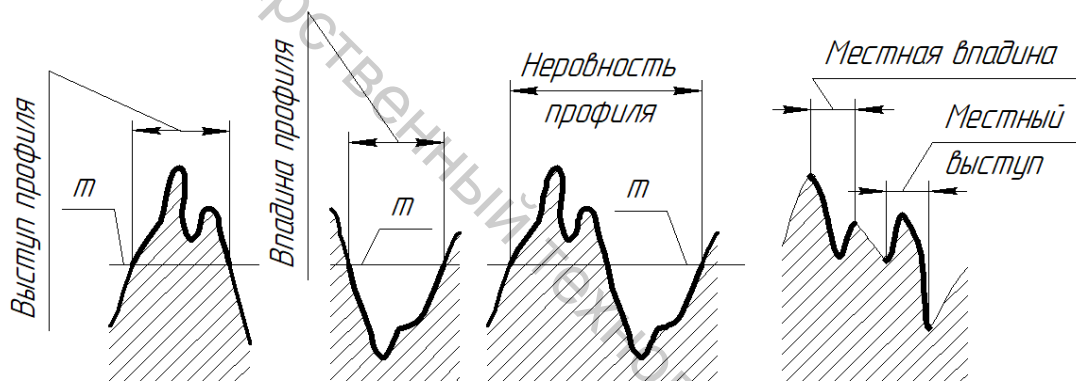
Впадина профиля – часть профиля, соединяющая две соседние точки пересечения его со средней линией профиля, направленная в тело.

Неровность профиля – выступ профиля и сопряженная с ним впадина профиля.

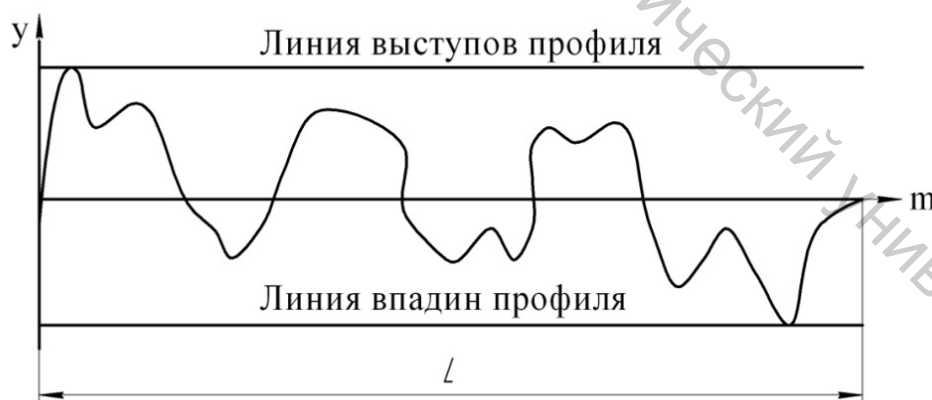
Линия выступов профиля – линия, эквидистантная средней линии, проходящая через высшую точку профиля в пределах базовой длины (рис. 1.43 б).

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

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



а



б

Рисунок 1.43 – Схемы к определениям терминов, обозначающих элементы профиля поверхности: а – выступов и впадин профиля, б – линии выступов и линии впадин профиля

1.4.2 Параметры шероховатости поверхности

В большинстве стран мира в качестве критериев для оценки шероховатости приняты шесть параметров, из которых три характеризуют высоту неровностей (высотные, или вертикальные параметры), а три – шаговые размеры неровностей (шаговые, или горизонтальные параметры).

К *высотным параметрам* относят среднее арифметическое отклонение профиля Ra , наибольшую высоту профиля Rz и полную высоту профиля R_{max} .

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

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx. \quad (1.21)$$

При дискретном способе определения показатель Ra рассчитывается по формуле

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|. \quad (1.22)$$

где y_i – измеренное отклонение профиля в дискретных точках; n – число дискретных отклонений, измеренных на базовой длине.

Наибольшая высота профиля Rz – сумма высоты наибольшего выступа профиля R_p и глубины наибольшей впадины профиля R_v в пределах базовой длины l .

Полная высота профиля R_{max} – сумма высоты наибольшего выступа профиля R_p и глубины наибольшей впадины профиля R_v в пределах длины оценки L (рис. 1.44).

К *шаговым параметрам* шероховатости относят средний шаг неровностей профиля S_m , средний шаг местных выступов S и относительную опорную длину профиля t_p .

Средний шаг неровностей профиля S_m – среднее значение шага неровностей профиля в пределах базовой длины (рис. 1.44):

$$S_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}. \quad (1.23)$$

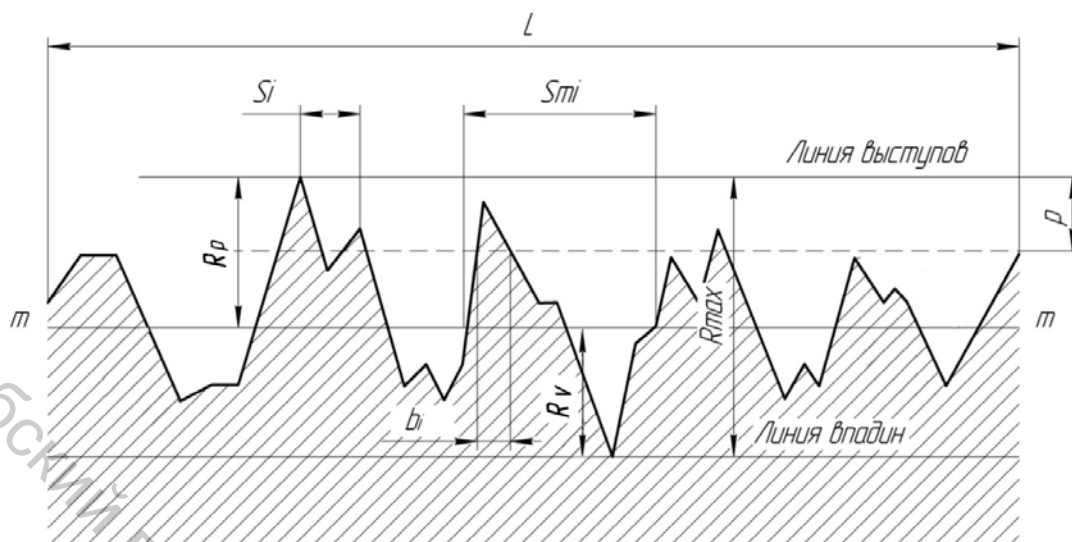


Рисунок 1.44 – Схема для определения параметров шероховатости

Средний шаг местных выступов профиля S – среднее значение шага местных выступов профиля в пределах базовой длины:

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i. \quad (1.24)$$

Опорная длина профиля η_p – сумма длин отрезков в пределах базовой длины, отсекаемых на заданном уровне в материале линией, эквидистантной средней линии (рис. 1.44):

$$\eta_p = \sum_{i=1}^n b_i. \quad (1.25)$$

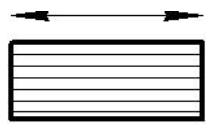
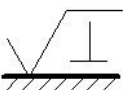
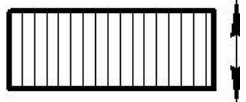
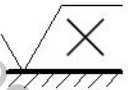
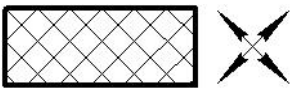
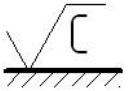
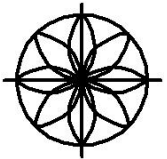
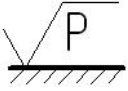
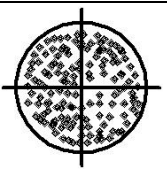
Опорную длину профиля η_p определяют на уровне сечения профиля p , т.е. на заданном расстоянии между линией выступов профиля и линией, пересекающей профиль, эквидистантной линии выступов.

Относительная опорная длина профиля t_p – это отношение опорной длины к базовой длине, выраженное в процентах:

$$t_p = \frac{\eta_p \cdot 100\%}{l}. \quad (1.26)$$

В ответственных случаях, когда по условиям работы необходимо устанавливать дополнительные требования к направлению неровностей поверхности, стандартом предусмотрены типы направления неровностей, представленные в таблице 1.11.

Таблица 1.11 – Типы и обозначение неровностей поверхности
(ГОСТ 2.309-73)

Тип направления неровностей	Обозначение	Схематичное изображение	Пояснение
Параллельное			Параллельно линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перпендикулярное			Перпендикулярно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Перекрещивающееся			Перекрещивание в двух направлениях наклонно к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Произвольное			Различные направления по отношению к линии, изображающей на чертеже поверхность, к шероховатости которой устанавливаются требования
Кругообразное			Приблизительно кругообразно по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования
Радиальное			Приблизительно радиально по отношению к центру поверхности, к шероховатости которой устанавливаются требования
Точечное			На поверхности допускаются точечные углубления, возникающие например, при электроэрозионной обработке

1.4.3 Назначение параметров шероховатости

Параметры шероховатости поверхностей назначают, исходя из применения и конструктивных особенностей деталей машин. В большинстве случаев основными параметрами являются высотные, из которых наиболее информативным является параметр Ra . Этот параметр определен как предпочтительный. Параметр Rz применяется, когда прямой контроль параметра Ra по техническим причинам не представляется возможным.

Износостойкость, контактная жесткость, прочность посадок с натягом и другие эксплуатационные свойства сопрягаемых поверхностей связаны с фактической площадью контакта, выражаемой через параметр t_p . Эксплуатационные свойства поверхности и назначаемые параметры шероховатости приведены в таблице 1.12.

Таблица 1.12 – Эксплуатационные свойства поверхности и обеспечивающая их номенклатура параметров шероховатости

Эксплуатационное свойство поверхности	Параметры шероховатости и характеристики, определяющие эксплуатационное свойство
Износоустойчивость при всех видах трения	$Ra (Rz), t_p$, направление неровностей
Виброустойчивость	$Ra (Rz), S_m, S$, направление неровностей
Контактная жесткость	$Ra (Rz), t_p$
Прочность соединения	$Ra (Rz)$
Прочность конструкции при циклических нагрузках	R_{max}, S_m, S , направление неровностей
Герметичность соединений	$Ra (Rz), R_{max}, t_p$
Сопротивление в волноводах	Ra, S_m, S

Числовые значения параметров шероховатости и базовых длин при нормировании выбираются по таблице 1.13.

Минимальные требования к шероховатости поверхности в зависимости от допуска размера и формы приведены в таблице 1.14. Этой таблицей можно пользоваться при назначении норм шероховатости, если по условиям сборки или работы изделий шероховатость поверхности не требуется ограничить более жесткими требованиями.

Таблица 1.13 – Числовые значения параметров шероховатости и базовой длины (ГОСТ 2789-73)

Высотные параметры, мкм							
<i>Ra</i>							
1000	320	50*	8,0	2,5	0,40*	0,063	0,010
800	250	40	6,3*	1,00	0,32	0,050*	0,008
630	100*	32	5,0	0,80*	0,25	0,040	-
500	80	25*	4,0	0,63	0,100*	0,032	-
400*	63	10,0	3,2*	0,5	0,080	0,025*	-
<i>Rz</i>							
1600	320	63	0	3,2*	0,63	0,125	0,025
1250	250	50*	12,5	2,5	0,5	0,100*	-
1000	200*	40	10,0	2,0	0,40*	0,080	-
800	160	32	8,0	1,60	0,32	0,063	-
630	125	25,0*	6,3*	1,25	0,25	0,050	-
500	100*	20,0	5,0	1,00	0,20*	0,040	-
400*	80	16,	4,0	0,8	0,160	0,032	-
Шаговые параметры, мм							
Шаговые параметры S_m и S							
12,5	4,0	1,25	0,40	0,125	0,040	0,0125	0,004
10,0	3,2	1,00	0,32	0,100	0,032	0,010	0,0025
8,0	2,5	0,80	0,25	0,080	0,025	0,008	0,002
6,3	2,0	0,63	0,20	0,063	0,020	0,006	
5,0	1,6	0,50	0,16	0,050	0,016	0,005	
Относительная опорная длина профиля t_p							
10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90							
Уровень сечения p , % от R_{max}							
5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90							
Базовая длина l , мм							
0,01; 0,03; 0,08; 0,25; 0,80; 2,5; 8; 25							

Примечание. Предпочтительные значения параметров обозначены звездочкой.

Таблица 1.14 – Минимальные требования к шероховатости поверхности в зависимости от допусков размеров и формы, Ra , мкм

Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм				Допуск размера по квалитетам	Допуск формы, % от допуска размера	Номинальные размеры, мм			
		До 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св.120 до 500			До18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 500
		Ra, мкм						Ra, мкм			
IT3	100	0,2	0,4	0,4	0,8	IT9	100 и	3,2	3,2	6,3	6,3
	60	0,1	0,2	0,2	0,4		60	1,6	3,2	3,2	6,3
	40	0,0	0,1	0,1	0,2		40	0,8	1,6	1,6	3,2
	5						25				
IT4	100	0,4	0,8	0,8	1,6	IT10	100 и	3,2	6,3	6,3	6,3
	60	0,2	0,4	0,4	0,8		60	1,6	3,2	3,2	6,3
	40	0,1	0,2	0,2	0,4		40	0,8	1,6	1,6	3,2
							25				
IT5	100	0,4	0,8	1,6	1,6	IT11	100 и	6,3	6,3	12,5	12,5
	60	0,2	0,4	0,8	0,8		60	3,2	3,2	6,3	6,3
	40	0,1	0,2	0,4	0,4		40	1,6	1,6	3,2	3,2
							25				
IT6	100	0,8	1,6	1,6	3,2	IT12 и	100 и	12,5	12,5	25	25
	60	0,4	0,8	0,8	1,6		60	5	6,3	12,5	12,5
	40	0,2	0,4	0,4	0,8	IT13	40	6,3			
IT7	100	1,6	3,2	3,2	3,2	IT14 и	100 и	12,5	25	50	50
	60	0,8	1,6	1,6	1,6		60	5	12,5	25	25
	40	0,4	0,8	0,8	0,8	IT15	40	12,5			
								5			
IT8	100	1,6	3,2	3,2	3,2	IT16 и	100 и	25	50	100	100
	60	0,8	1,6	1,6	1,6		60	25	25	50	50
	40	0,4	0,8	0,8	0,8	IT17	40				

Примечание: если основной допуск формы меньше значения указанного в таблице, то значение Ra следует назначить не более $0,15T_f$, T_f – допуск формы.

Если сопряжение и метод обработки не позволяют определить требования к шероховатости поверхности, нормирование шероховатости следует проводить по другим критериям, ориентируясь на данные передовых отраслей промышленности (табл. 1.15).

Параметр Rz нормируется в тех случаях, когда по функциональным или техническим требованиям необходимо ограничить полную высоту неровностей профиля или шероховатость рыхлого поверхностного слоя (поковки, отливки). В таблице 1.16 приведены примеры назначения параметра Rz .

Таблица 1.15 – Примеры нормирования шероховатости поверхности деталей

Характеристика поверхности			Значение параметра Ra , мкм, не более						
Посадочные поверхности сменных деталей	Квалитет	Поверхность	Номинальные размеры, мм						
			До 50		Св. 50 до 500				
	5	Вал	0,2		0,4				
		Отверстие	0,4		0,8				
	6	Вал	0,4		0,8				
		Отверстие	0,4–0,8		0,8–1,6				
7	Вал	0,4–0,8		0,8–1,6					
	Отверстие	0,8		1,6					
8	Вал	0,8		1,6					
	Отверстие	0,8–1,6		1,6–3,2					
Поверхности деталей в посадках с натягом: а) собираемые под прессом	Квалитет	Поверхность	Номинальные размеры, мм						
			До 50		Св. 50 до 120		Св. 120 до 500		
	5	Вал	0,1–0,2		0,4		0,4		
		Отверстие	0,2–0,4		0,8		0,8		
	6–7	Вал	0,4		0,8		1,6		
		Отверстие	0,8		1,6		1,6		
8	Вал	0,8		0,8–1,6		1,6–3,2			
	Отверстие	1,6		1,6–3,2		1,6–3,2			
б) собираемые способом термических деформаций		Вал	1,6						
		Отверстие	1,6–3,2						
Поверхности деталей при селективной сборке	Поверхность	Допуск сортировочной группы, мкм							
		<2,5	2,5	5	10	20			
	Вал	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8			
	Отверстие	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6			
Поверхности деталей для посадок с точным центрированием	Поверхность	Допуск радиального биения, мкм							
		2,5	4	6	10	16	25		
	Вал	0,05	0,1	0,1	0,2	0,4	0,8		
	Отверстие	0,1	0,2	0,2	0,4	0,8	1,6		
Посадочные поверхности подшипников скольжения	Поверхность	Квалитеты			Жидкостный режим трения				
		6–9	10–12						
	Вал	0,4–0,8	0,8–3,2		0,1–0,4				
	Отверстие	0,8–1,6	1,6–3,2		0,2–0,8				
Поверхности валов под уплотнение	Уплотнение	Скорость м/с.							
		До 3			5		Св. 5		
	Резиновое	0,8–1,6; полировать			0,4–0,8; полировать		0,2–0,4; полировать		
		Войлочное			0,8–1,6 полировать			-	
	Лабиринтное	3,2–6,3			-			-	
	Жировые канавки	3,2–6,3			-			-	

Продолжение таблицы 1.15

Характеристика поверхности		Значение параметра Ra , мкм, не более				
Поверхности направляющих	Скорость, м/с	Допуск плоскостности, мкм (на 100мм)				
		До 6	10	25	60	Св. 60
скольжения	До 0,5	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2
	Св. 0,5	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
качения	До 0,5	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6
	Св. 0,5	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8
Поверхности торцовых опор (пят и подпятников)	Скорость, м/с	Допуск торцового биения, мкм				
		До 6	16	25	Св. 25	
	До 0,5 Св. 0,5	0,1 0,1	0,4 0,2	0,8–1,6 0,8	3,2 1,6	
Поверхности разъёма корпусов (редукторов, подшипников и т.п.)	Соединение	С прокладкой		Без прокладки		
	Герметичное Негерметичное	3,2–6,3 6,3–12,5		0,8–1,6 6,3–12,5		
Поверхности кронштейнов, втулок, поводков, колец, ступиц, крышек и аналогичных деталей, прилегающих к другим поверхностям, но не являющихся посадочными		3,2–6,3				
Рабочие поверхности кулачков и копиров	Сопряжение	Допуск формы профиля, мкм				
		До 6	30	50	Св. 50	
		0,4	0,8	1,6	3,2	
	С ножами или сухарями	0,8	1,6	32	6,3	
Рабочие поверхности шкивов плоско- и клиноременных передач	Диаметр шкива, мм					
	До 120	Св. 120 до 315		Св. 315		
	1,6	3,2		6,3		
Рабочие поверхности катков фрикционных передач	В зависимости от габарита и условий работы					
	0,2-0,8					
Рабочие поверхности фрикционных	Колодки, муфты, диски	Колодки	Муфты		Диски	
		1,6–3,2	0,8–1,6		0,1–0,8	
	Тормозные барабаны	Диаметр барабана, мм				
		До 500			Св. 500	
		0,8–1,6			1,6–3,2	
Рабочие поверхности конических соединений	Соединения					
	Герметичные	Центрирующие		Прочие		
	0,1–0,4	0,4–1,6		1,6–3,2		

Продолжение таблицы 1.15

Характеристика поверхности			Значение параметра <i>Ra</i> , мкм, не более					
Соединения с призматическими и сегментными шпонками	Соединения	Поверхность	Шпонка		Паз вала		Паз втулки	
	Неподвижное	Рабочая	3,2		1,6–3,2		1,6–3,2	
		Нерабочая	6,3–12,5		6,3–12,5		6,3–12,5	
	С направляющей шпонкой	Рабочая	1,6–3,2		1,6–3,2		1,6–3,2	
		Нерабочая	6,3–12,5		6,3–12,5		6,3–12,5	
Зубчатые (шлицевые) соединения	Соединение		Впадина отверстия	Зуб вала	Центрирующая поверхность		Нецентрирующие поверхности	
					Отверстие	Вал	Отверстие	Вал
	Неподвижное		1,6–3,2	1,6–3,2	0,8–1,6	0,4–1,6	3,2–6,3	1,6–6,3
	Подвижное		0,8–1,6	0,4–0,8	0,8–1,6		3,2	1,6–3,2
Резьбовые соединения	Рабочие поверхности резьбы		Степень точности резьбы					
			4; 5		6; 7		7–9	
	Крепежная резьба на болтах, винтах, гайках		1,6		3,2		3,2–6,3	
	Резьба на валах, штоках, втулках и на конусах		0,8–1,6		1,6		32	
	Резьбы ходовых и грузовых винтов		–		0,4		0,8	
	Резьбы гаек ходовых и грузовых винтов		–		0,8		1,6	

Окончание таблицы 1.15

Характеристика поверхности		Значение параметра Ra , мкм, не более								
Зубчатые и червяч- ные передачи	Поверхности	Степень точности								
		3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Профили зубьев прямозубых, косозубых и шевронных ци- линдрических и червячных колес	0,1– 0,2	0,2–0,4		0,4	0,4– 0,8	1,6	3,2	6,3	6,3
	Профили зубьев конических ко- лес	–	–	0,2– 0,4	0,4–0,8		0,8– 1,6	1,6– 3,2	3,2– 6,3	6,3
	Профили вит- ков червяков	0,1	0,2	0,2	0,4	0,4– 0,8	0,8– 1,6	1,6– 3,2	–	–
	По поверхно- стям впадин	То же, что и для рабочих поверхностей, или бли- жайшее более грубое предпочтительное значение								
	По диаметрам выступов	3,2–12,5								
Звездочки для при- водных цепей	Поверхности	Точность исполнения								
		Нормальная					Повышенная			
	Рабочие	3,2–6,3					1,6–3,2			
	Впадин	6,3					3,2			
Выступов	3,2–12,5									
Нерабочие торцовые поверхности зубчатых и червячных колес и звездочек							3,2–12,5			
Нерабочие поверхности осей и валов							6,3–12,5			
Канавки, фаски, выточки, зенковки, закругления и т.п.							3,2–12,5			
Проходные отверстия под болты, винты, заклёпки и т.п.							25			
Болты и гайки чистые (кругом)							3,2–12,5			
Болты и гайки полуматые (в местах обработки)							25			
Поверхности головок винтов							3,2–12,5			
Опорные поверхности пружин сжатия							12,5–25			

Таблица 1.16 – Параметр Rz шероховатости поверхностей элементов деталей

Элемент детали	Rz , мкм
Нерабочие контуры деталей. Поверхности деталей установленных на бетонных, кирпичных и деревянных основаниях	320...160
Отверстия на проход крепежных деталей. Выточки, проточки. Отверстия масляных каналов на силовых валах. Кромки детали под сварные швы. Опорные поверхности пружин сжатия. Подошвы станин, корпусов, лап	80

Продолжение таблицы 1.16

Элемент детали	R_z , мкм
Внутренний диаметр шлицевых соединений (не шлифованных). Свободные несопрягаемые торцевые поверхности валов, муфт, втулок. Поверхности головок винтов	40
Торцевые поверхности под подшипники качения. Поверхности втулок, колец, ступиц, прилегающие к другим поверхностям, но не являющиеся посадочными. Нерабочие торцы валов, втулок, планок. Шейки валов 12-го квалитета диаметром 80–500 мм. Поверхности отверстий 12-го квалитета диаметром 18–500 мм и 11-го квалитета.	20
Нерабочие торцевые поверхности зубчатых и червячных колес и звездочек. Канавки, фаски, выточки, зенковки, закругления и т.п. Болты и гайки нормальной и повышенной точности (кроме резьбы)	40...10

1.4.4 Обозначение параметров шероховатости на чертежах

Шероховатость поверхностей обозначается на чертежах, для всех выполненных по данному чертежу поверхностей изделия независимо от методов образования, кроме поверхностей, шероховатость которых не обусловлена требованиями конструкции. Структура обозначения шероховатости приведена на рисунке 1.45.

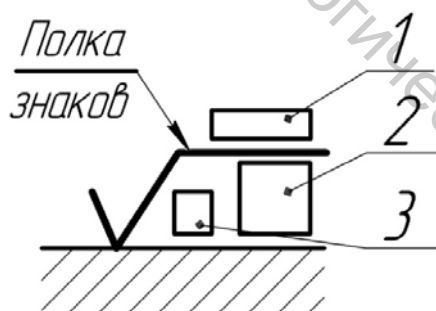


Рисунок 1.45 – Структура обозначения шероховатости (ГОСТ 2.309-73):
1 – способ обработки поверхности; 2 – базовая длина, параметры шероховатости; 3 – условное обозначение направления неровностей

В обозначениях шероховатости поверхности применяют один из знаков, приведенных на рисунке 1.46.

Значение параметров шероховатости указывают в обозначениях после соответствующего символа: Ra 0,4; R_{max} 6,3; S_m 0,63; t_{50} 70; S 0,032; R_z 50.

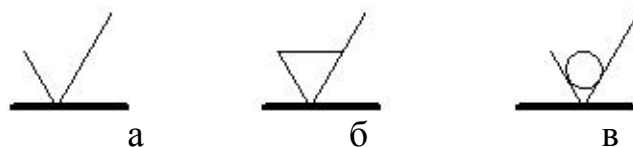


Рисунок 1.46 – Знаки, задающие способы образования поверхности:

a – способ обработки конструктором не устанавливается,

б – поверхность должна быть образована только удалением слоя материала, *в* – поверхность должна быть образована без удаления слоя материала

При указании наибольшего значения параметра шероховатости в обозначениях приводят параметр шероховатости без предельных отклонений, например: $\sqrt{Ra\ 0,4}$; $\sqrt{Rz\ 50}$. При указании наименьшего значения параметра шероховатости после значения следует указать «*min*», например: $\sqrt{Ra\ 3,2min}$; $\sqrt{Rz\ 50min}$.

Предельные значения параметров располагают одни под другими, сверху – наибольшее, снизу – наименьшее:

$$\begin{array}{cccc} Ra\ 0,8 & Ra\ 0,10 & Ra\ 0,80 & t_{50} 70 \\ 0,4 & 0,05 & 0,32 & 50 \end{array}$$

При указании номинального значения параметра шероховатости поверхности в обозначении приводят это значение с предельными отклонениями по ГОСТу 2789-73, например: $Ra\ 1 \pm 20\%$; $Rz\ 100_{-10\%}$; $S_m\ 0,63^{+20\%}$.

При указании двух и более параметров шероховатости поверхности в обозначении шероховатости значения параметров записывают сверху вниз в следующем порядке: параметр высоты неровностей профиля, параметр шага неровностей, относительная опорная длина.

Обозначение шероховатости поверхности на изображении изделия располагают на линии контура или выносной линии. Допускается располагать обозначение шероховатости на размерной линии, её продолжении, рамке допуска формы, а также разрывать выносную линию.

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

1.5 Допуски и посадки типовых соединений

1.5.1 Нормирование требований к точности угловых размеров и конических поверхностей

1.5.1.1 Угловые размеры

Все *нормальные углы* (соответствующие рядам стандартных значений, приведенным в ГОСТе 8908-81) разделены на три группы:

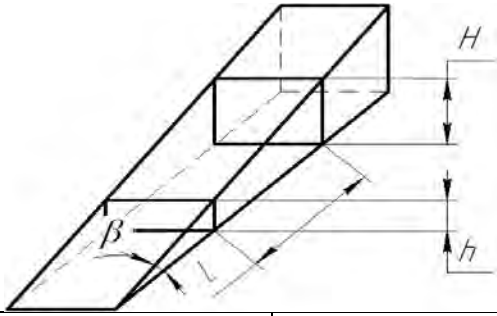
- нормальные углы общего назначения (наиболее распространенные);
- нормальные углы специального назначения (ограниченное применение в стандартизированных специальных деталях);
- специальные углы (углы, которые определяются специфическими требованиями и размеры которых нельзя округлить до нормальных углов).

Нормальные углы общего назначения разделены на три ряда:

- 1) $0^\circ, 5^\circ, 15^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$;
- 2) $0, 0^\circ 30', 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ, 120^\circ$;
- 3) $0, 0^\circ 15', 0^\circ 30', 0^\circ 45', 1^\circ 30', 2^\circ, 2^\circ 30', 3^\circ, 4^\circ, 9^\circ, 10^\circ, 12^\circ, 15^\circ, 18^\circ, 20^\circ, 22^\circ, 25^\circ, 45^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ, 75^\circ, 80^\circ, 85^\circ, 90^\circ, 100^\circ, 110^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 180^\circ, 270^\circ, 360^\circ$.

Для призматических деталей допускается применение нормальных уклонов (табл. 1.17).

Таблица 1.17 – Соотношение между нормальными уклонами и углами (ГОСТ 8908-81)

		$S = \frac{H-h}{L} = \tan \beta$	
Уклон, S	Угол уклона, β	Уклон, S	Угол уклона, β
1:500	$6^\circ 52,5''$	1:50	$1^\circ 8' 44,7''$
1:200	$17^\circ 11,3''$	1:20	$2^\circ 51' 44,7''$
1:100	$34^\circ 22,6''$	1:10	$5^\circ 42' 38,1''$

Углы конусов могут быть выражены не только через угловые параметры, но и через нормальную конусность (табл. 1.18).

Таблица 1.18 – Соотношения между нормальной конусностью, углами конуса и углами уклона (ГОСТ 8593-81)

$C = \frac{D - d}{L} = 2tg \frac{\alpha}{2}$ C – конусность α – угол конуса $\alpha/2$ – угол уклона				
Конусность	Угол конуса α		Угол уклона $\alpha/2$	
	в градусах	в радианах	в градусах	в радианах
1:500	6°52,5''	0,002	3°26,25''	0,001
Направляющие прецизионных приборов, станков				
1:200	17°11,3''	0,005	8°35,6''	0,0025
Крепежные детали для неразборных соединений, подвергающихся ударной переменной нагрузке. Конические призонные болты. Конические оправки. Неподвижные соединения для передачи крутящих моментов в машинах				
1:100	34°22,6''	0,01	17°11,3''	0,005
Крепежные детали для неразборных соединений, подвергающиеся спокойной переменной нагрузке. Клиновые шпонки. Конические оправки				
1:50	1°8'45,2''	0,019999	34°22,6''	0,09999
Неподвижные соединения в гидропередачах тепловозов и подъемно-транспортных устройств. Конические штифты, установочные шпильки, хвостовики калибров пробок, концы насадных рукояток. Сальниковые уплотнения втулок и конических осей счетчиков для жидкостей, конические зубчатые колеса, шпонки клиновые и тангенциальные				
1:30	1°54'34,9''	0,03333	57°17,5''	0,016665
Конические шейки шпинделей станков. Конусы насадных разверток и зенкеров и оправки для пик				
1:20	2°51'51,1''	0,049998	1°25'25,5''	0,024995
Болты конусные, задвижки клинкетные, баллеры руля. Метрические конусы инструментов. Отверстия в шпинделях станков. Хвостовики инструментов. Оправки развертки под метрические конусы. Хвостовики трибок под посадку стрелок				
1:15	3°49'5,9''	0,066642	1°54'32,9''	0,033321
Плотные силовые соединения сплошных и полых гребных валов для насадки гребного винта, валов с фланцевыми муфтами. Конические соединения деталей при усилиях вдоль оси. Соединения поршней со штоками. Соединения частей коленчатых валов. Баллеры руля. Посадочные места под зубчатые колеса шпинделей. Концевые скобы якорных цепей. Соединительные болты				

Продолжение таблицы 1.18

Конусность	Угол конуса α		Угол уклона $\alpha/2$	
	в градусах	в радианах	в градусах	в радианах
1:12	4°46'18,8''	0,083285	2°23'9,4''	0,041643
Закрепительные втулки шарико- и ролико-подшипников, шейки шпинделей под регулируемый подшипник				
1:10	5°43'29,3''	0,099916	2°51'44,6''	0,049958
Соединительные муфты валов соединения сплошных валов судовых валопроводов с фланцевыми муфтами. Конические соединения деталей при радиальных и осевых усилиях. Концы валов электрических и других машин. Регулируемые втулки подшипников шпинделей. Валы зубчатых передач. Насосы поршневые. Соединительные болты и пальцы. Конусы инструментов, упорные центры для тяжелых станков. Уплотнительные кольца				
1:8	7°9'9,6''	0,124838	3°34'34,8''	0,062419
Конусы валиков сопряженных с кулачками. Пробки валов арматуры. Муфты на валах по американскому стандарту для автопромышленности				
1:7	8°10'16,4''	0,142615	4°5'8,2''	0,071307
Краны пробковые проходные сальниковые, муфтовые и фланцевые чугунные. Концы шлифовальных шпинделей с наружными конусами				
1:5	11°25'16,3''	0,199337	5°42'38,1''	0,099669
Легко разъединяющиеся при радиальных усилиях соединения деталей. Конические хвосты цапф. Конические фрикционные муфты. Соединительные муфты генераторов. Арматура. Крепление штока. Концы валов для крепления аппаратуры в автостроении. Замковые резьбы буровых труб				
1:3	18°55'28,7''	0,330297	9°27'44,3''	0,165149
Конусы муфт предельного момента. Концы шлифовальных шпинделей с наружным конусом и отверстия насадных торцевых фрез. Шток в поршне				
1:1.866	30°	0,523599	15°	0,261799
Фрикционные муфты приводов, зажимные цапги головки шинных болтов, шток в поршне				
1:1,207	45°	0,785398	22° 30'	0,392699
Потайные и полупотайные головки заклепок диаметром от 27 до 36 мм. Уплотняющие конусы для ниппельных винтовых соединений труб				
1:0,866	60°	1,047198	30°	0,523599
Потайные и полупотайные головки заклепок диаметром от 16 до 24 мм. Центры станков и центровые отверстия. Клапаны пробные спускные и перепускные				
1:0,652	75°	1,308997	37°30'	0,654498
Потайные головки болтов. Потайные и полупотайные головки заклепок диаметром от 10 до 14 мм. Наружные центры инструментов (метчиков, разверток)				
1:0,500	90°	1,570796	45°	0,785398
Потайные и полупотайные головки заклепок диаметром до 8 мм. Потайные головки винтов для металла, пластмасс и дерева. Фаски нарезанных частей стержней. Фаски обрабатываемых валов, осей, пальцев и других подобных деталей. Конусы вентилялей и клапанов. Центровые отверстия тяжелых валов. Фаски ступиц				
1:0,289	120°	2,094395	60°	1,047198
Внутренние фаски нарезанных отверстий. Конусы под набивку сальников. Дроссельные клапаны. Наружные фаски гаек и головок винтов. Полупотайные головки заклепок диаметром до 5 мм				

1.5.1.2 Допуски и углы конусов

Допуск угла AT – разность между наибольшим и наименьшим предельными углами. Приняты следующие обозначения допусков:

AT_α – допуск угла, выраженный в угловых единицах (рис. 1.47 а);

AT'_α – округленное значение допуска в градусах, минутах, секундах;

AT_D – допуск угла конуса, выраженный допуском на разности диаметров в двух нормальных к оси сечениях конуса на заданном расстоянии L между ними (определяется по перпендикуляру к оси конуса, рис. 1.47 а).

AT_h – допуск угла, выраженный отрезком на перпендикуляре (в микрометрах) к номинальному положению короткой стороны угла, на расстоянии L_1 от вершины этого угла (рис. 1.47 б).

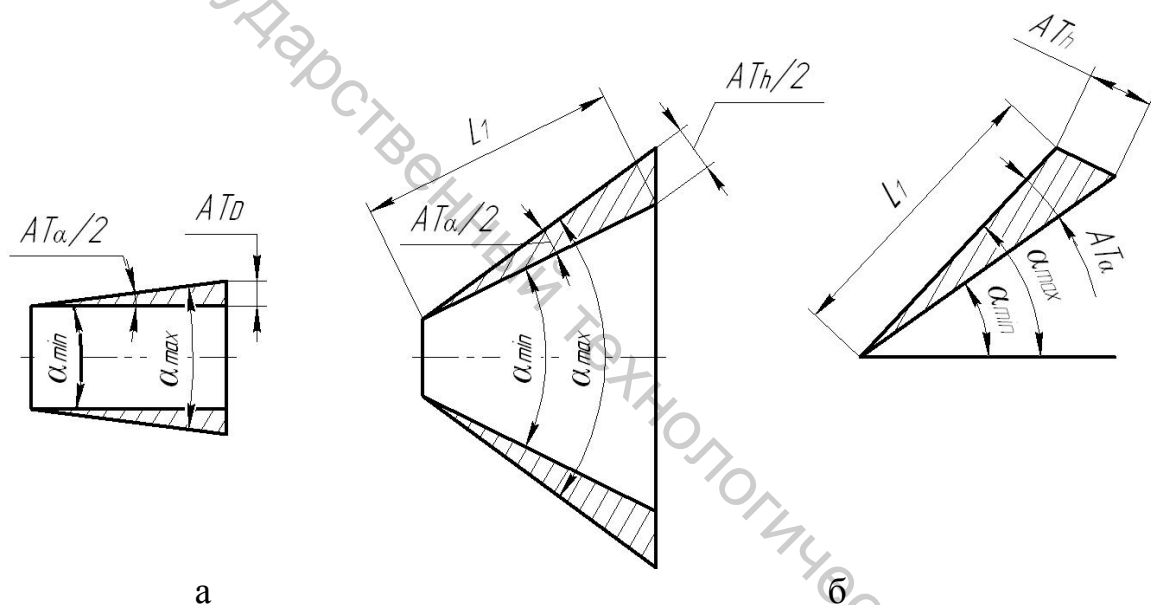


Рисунок 1.47 – Графическое изображение угловых параметров конических деталей: а – конусность $\leq 1:3$, б – конусность $> 1:3$

Допуски угловых и линейных единиц связаны зависимостью:

$$AT_h = 10^{-3} AT_\alpha L_1, \quad (1.27)$$

где AT_h выражен в микрометрах, AT_α – в микроградусах, L_1 – длина стороны угла или длина образующей конуса, мм.

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

$$AT_D = \frac{AT_h}{\cos \frac{\alpha}{2}}. \quad (1.28)$$

Применяют три типа расположения интервалов допусков относительно номинального угла: плюсовое ($+AT$), минусовое ($-AT$) и симметричное ($\pm AT/2$). В обоснованных случаях можно применять иное расположение допуска угла. При любом расположении интервала допуска отклонения угловых размеров отсчитываются от номинального размера угла. Типы расположения интервалов допусков показаны на рисунке 1.48.

1.5.1.3 Степени точности

Критериями относительной точности углов являются степени точности. Для допусков углов установлено 17 степеней точности (1...17). Допуск угла при переходе от одной степени точности к другой изменяется по геометрической прогрессии со знаменателем 1,6.

При обозначении допуска угла заданной точности к обозначению добавляется степень точности, например, $AT8$.

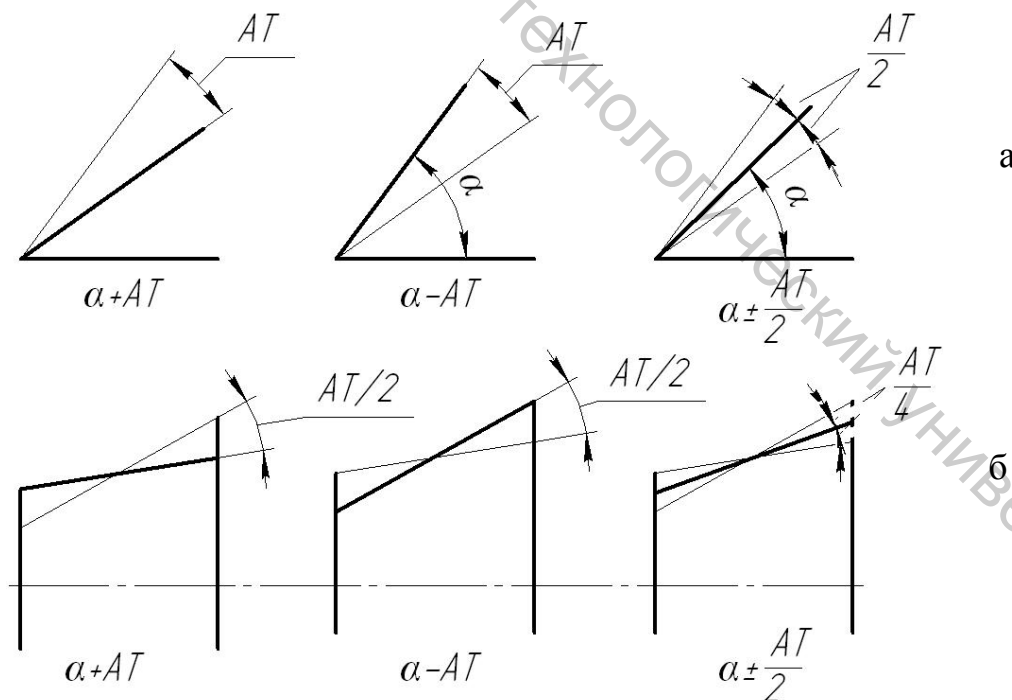


Рисунок 1.48 – Типы расположения интервалов допусков углов:

a – призматического элемента; *б* – конуса

Область применения каждой из 17 степеней определяется функ-

циональными требованиями к точности угловых размеров. Так, степени точности применяются:

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

1.5.1.4 Посадки конических соединений

Наличие зазора или натяга в коническом соединении определяется не только размерами наружного и внутреннего конусов, но и их относительным осевым положением. В зависимости от способа фиксации взаимного положения наружного и внутреннего конусов возможно образование следующих посадок:

- с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов конусов (базовых плоскостей). При этом способе фиксации возможно получение посадок с зазором, переходных и с натягом (рис. 1.49);
- с фиксацией по заданному осевому расстоянию Z_{pf} между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов. При этом способе возможно образование трех видов посадок (рис. 1.50);
- с фиксацией по заданному осевому смещению сопрягаемых конусов E_a от их начального положения (рис. 1.51 а, б). При этом способе фиксации возможно образование посадок с зазором и натягом;
- с фиксацией по заданной силе запрессовки F_s , прилагаемой в начальном положении сопрягаемых конусов (рис. 1.51 в). При этом способе фиксации возможно получение посадок только с натягом.

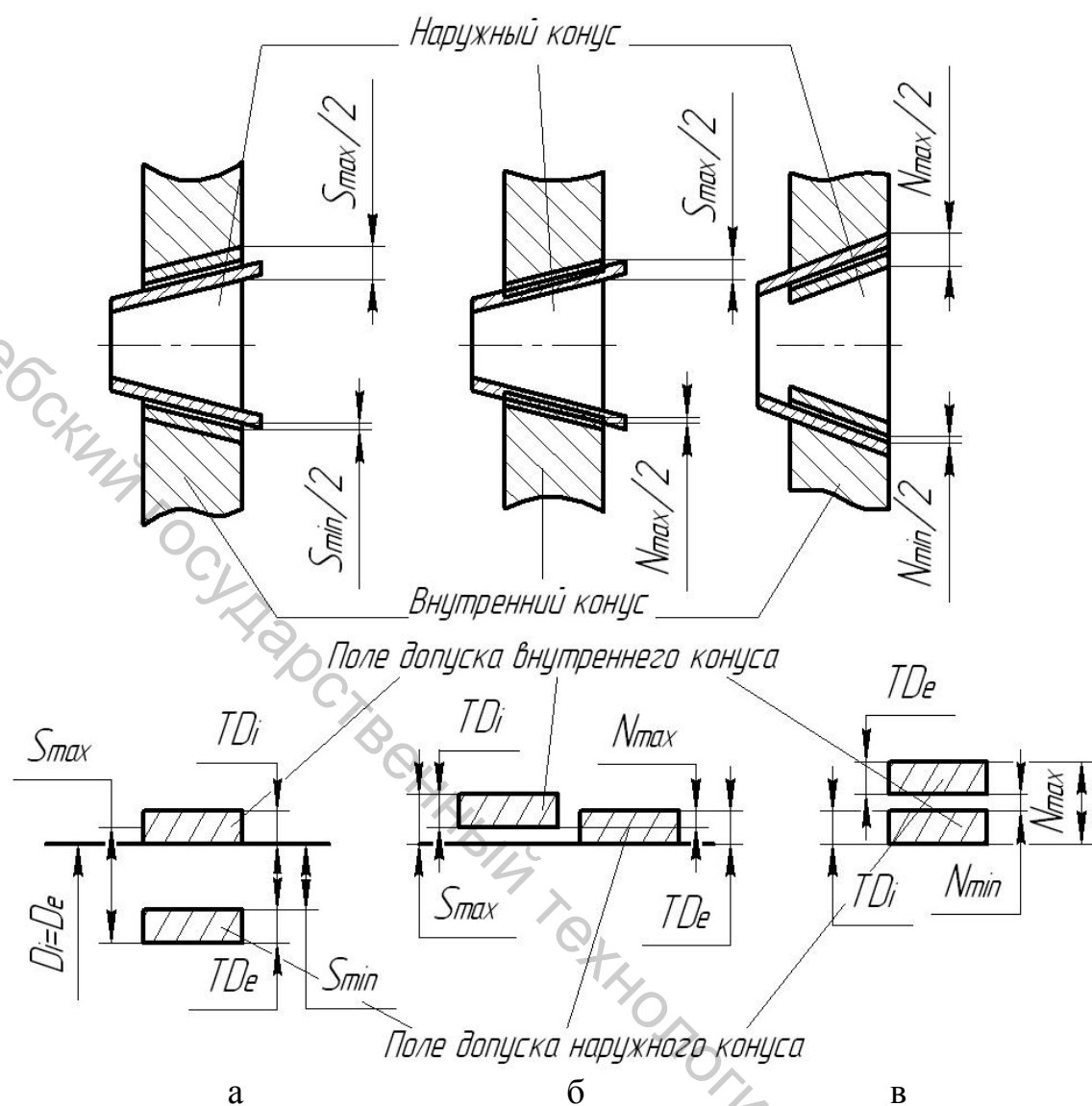


Рисунок 1.49 – Схемы образования посадок путем совмещения поверхностей наружного и внутреннего конусов: *а* – посадка с зазором, *б* – посадка переходная, *в* – посадка с натягом

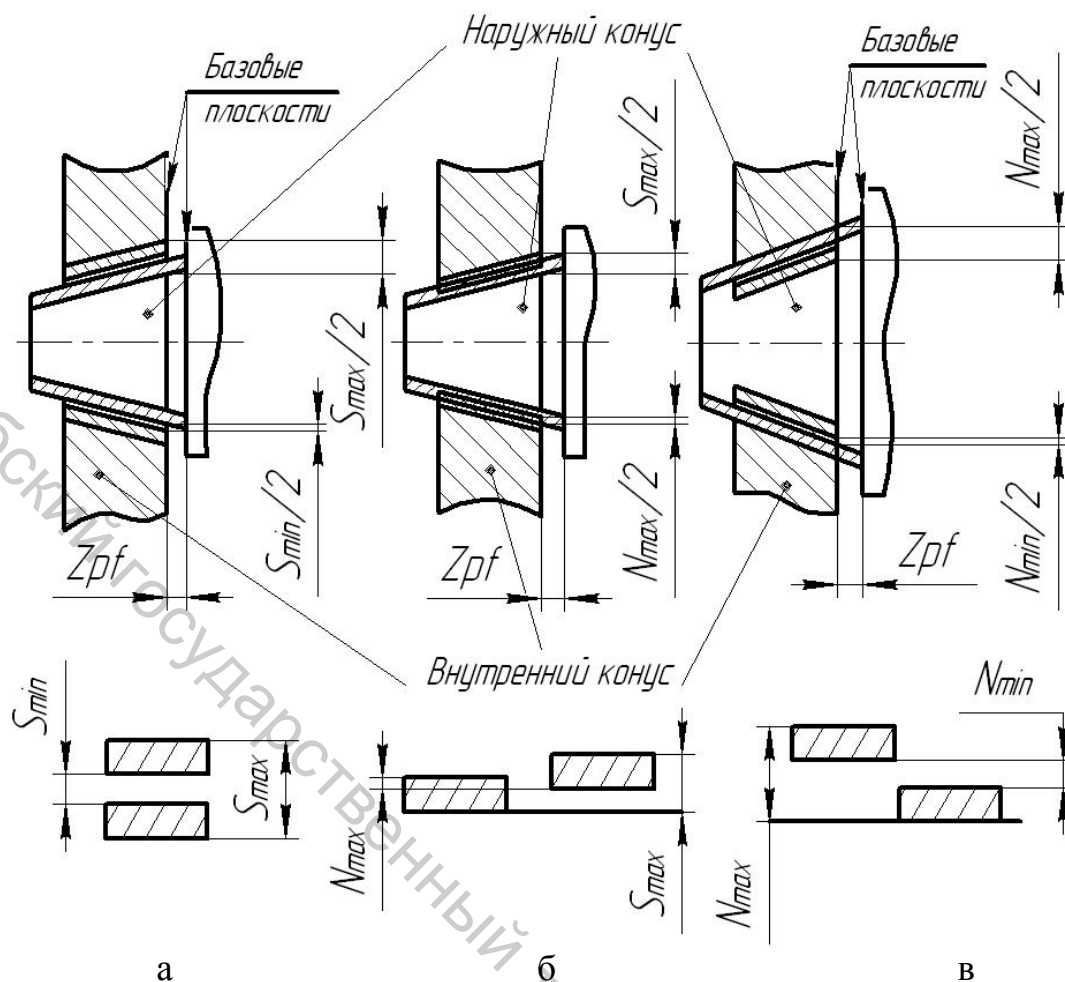


Рисунок 1.50 – Схемы образования посадок путем фиксации конусов по заданному осевому смещению: *а* – посадка с зазором; *б* – переходная посадка; *в* – посадка с натягом

1.5.1.5 Нормирование допусков

Установлены два способа нормирования допусков конусов.

1. Совместное нормирование всех видов допуском T_D диаметра конуса в любом сечении.

2. Раздельное нормирование каждого вида допуска: допуска диаметра конуса в заданном сечении T_{DS} , допуска угла конуса AT , допуска круглости T_{AK} и допуска прямолинейности образующих T_{RK} .

В посадках с фиксацией по конструктивным элементам и по заданному осевому расположению между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов допуски конусов предпочтительно нормировать первым способом. В посадках с фиксацией по заданному осевому смещению сопрягаемых конусов от начального положения или по заданному уси-

лию запрессовки допуски конусов предпочтительно нормировать вторым способом.

Классы допусков диаметров наружных и внутренних конусов приведены в таблице 1.19 (дана в сокращении).

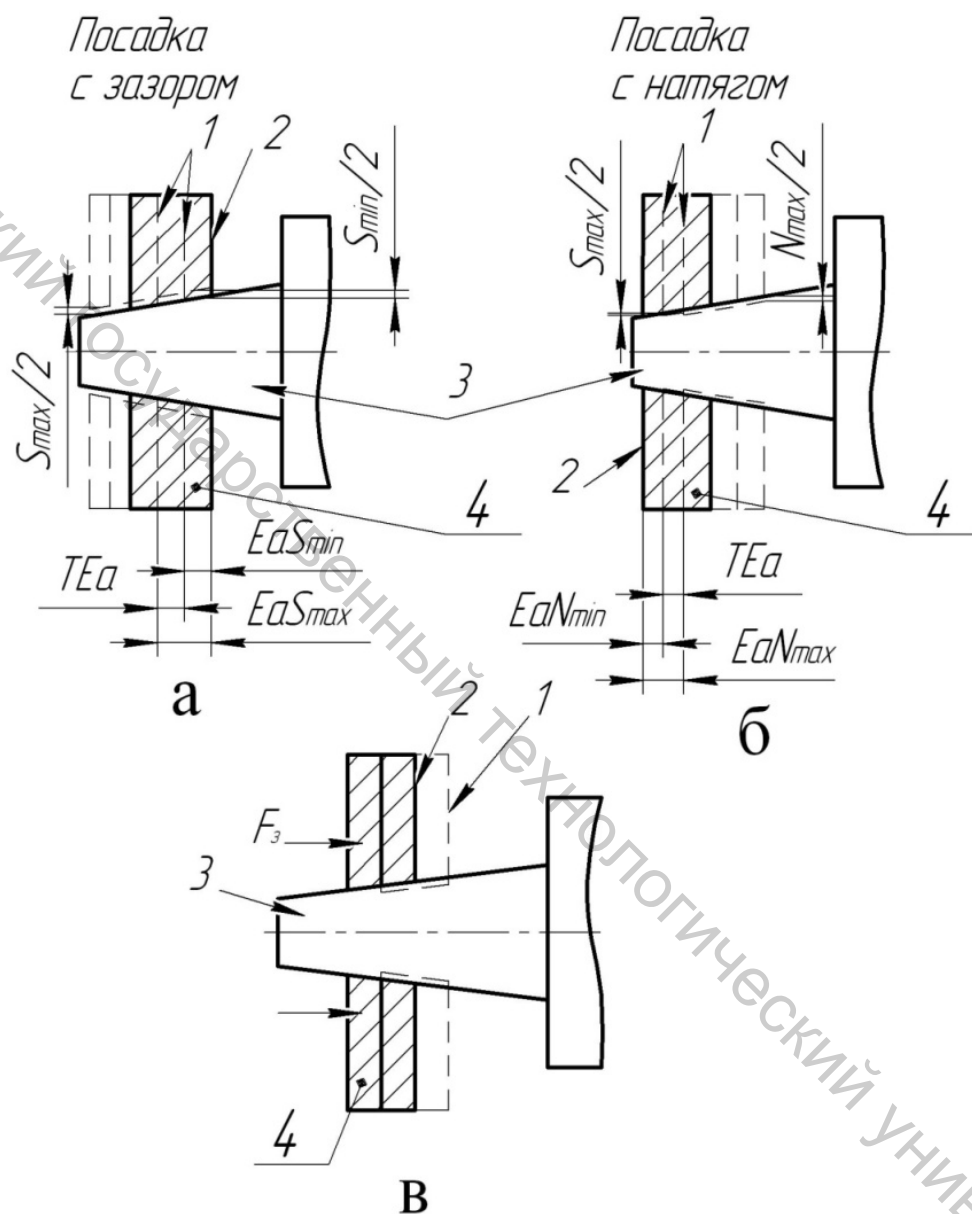


Рисунок 1.51 – Схемы образования посадок:

а, б – по заданному осевому смещению, в – по заданной силе запрессовки; $Ea_{S_{\min}}$, $Ea_{S_{\max}}$, $Ea_{N_{\min}}$, $Ea_{N_{\max}}$ – наибольшие и наименьшие смещения внутреннего конуса, соответствующие образованию зазора или натяга; 1 – конечное положение; 2 – начальное положение; 3 – наружный конус; 4 – внутренний конус

Таблица 1.19 – Классы допусков диаметров наружных и внутренних конусов (ГОСТ 25307-82)

Квалитет до- пуска T_D или T_{DS}	Наружные конусы															Внутренние конусы	
	Основные отклонения																
	e	f	g	h	js	k	m	n	p	r	s	t	u	x	z	H	JS
	Класс допуска																
4			$g4$	$h4$	$js4$	$k4$	$m4$	$n4$								$H4$	$JS4$
5			$g5$	$h5$	$js5$	$k5$	$m5$	$n5$	$p5$	$r5$	$s5$					$H5$	$JS5$
6		$f6$	$g6$	$h6$	$js6$	$k6$	$m6$	$n6$	$p6$	$r6$	$s6$	$t6$				$H6$	$JS6$
7	$e7$	$f7$		$h7$	$js7$	$k7$	$m7$	$n7$			$s7$		$u7$			$H7$	$JS7$

Выбор классов допусков из таблицы 1.19 проводят с учётом способа фиксации взаимного осевого положения конусов. В посадках с фиксацией по конструктивным элементам или по заданному осевому расстоянию между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов следует применять классы допусков не грубее 9-го квалитета точности с основным отклонением: для внутренних конусов – *H*, для наружных конусов – любым из числа заданных в таблице 1.19.

В посадках с фиксацией по заданному смещению сопрягаемых конусов от начального положения или по заданному усилию запрессовки следует применять классы допусков от 8-го до 12-го квалитетов точности с основными отклонениями: для внутренних конусов *H* или *N*; для наружных конусов *h*, *p* или *k*. В обоснованных случаях допускается применять классы допусков точнее 8-го квалитета.

1.5.1.6 Обозначения гладких конических соединений на чертежах

Обозначение выполняется в соответствии с ЕСКД.

1. При посадке с фиксацией путем совмещения конструктивных элементов сопрягаемых конусов размеры, определяющие характер соединения (рис. 1.52 а), на сборочном чертеже могут быть указаны только как справочные и отмечены звездочкой.

2. При посадке с фиксацией по заданному осевому расстоянию Z_{pf} между базовыми плоскостями сопрягаемых конусов в их конечном положении на сборочном чертеже должен быть указан размер, определяющий расстояние между базовыми плоскостями, заключенный в прямоугольную рамку (рис. 1.52 б).

3. При посадке с фиксацией по заданному взаимному осевому смещению сопрягаемых конусов от их начального положения на сборочном чертеже должен быть указан размер этого осевого смещения, а

начальное положение конусов следует отмечать штрихпунктирной тонкой линией с двумя точками (рис. 1.52 в).

4. При посадке с фиксацией по заданному усилию запрессовки, прилагаемому в начальном положении сопрягаемых конусов, заданное усилие запрессовки следует указывать в технических требованиях на чертеже, например: «Усилие запрессовки $F_3 = 100 \text{ Н}$ ».

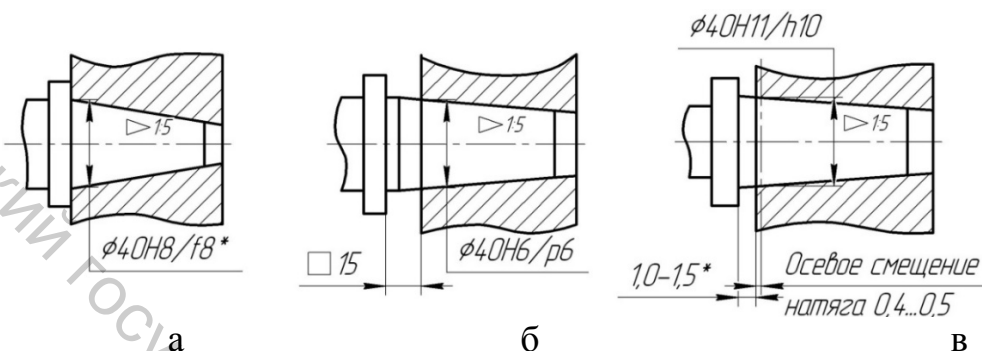


Рисунок 1.52 – Обозначение на чертеже посадок конических соединений

1.5.2 Нормирование точности шпоночных соединений

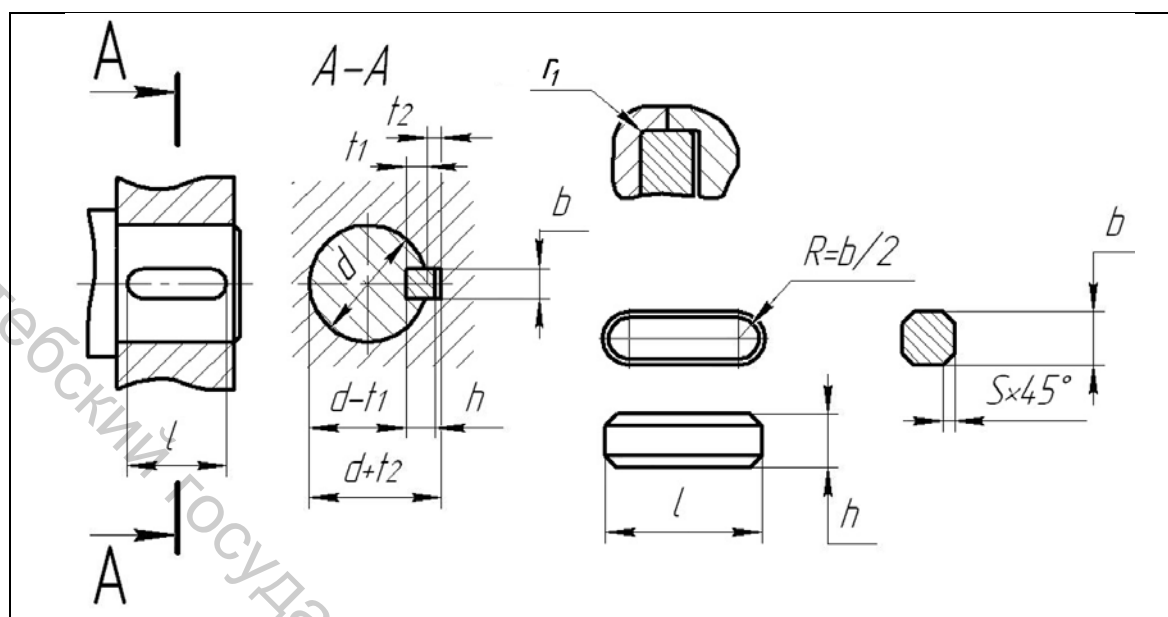
Шпоночное соединение предназначено для передачи крутящего момента от вала к телам вращения (зубчатым колесам, шкивам, маховикам), или наоборот, от тел вращения к валу. Наиболее распространённым видом шпоночного соединения является призматическое. Основные размеры призматических шпоночных соединений представлены в таблице 1.20 (приведена в сокращении).

Различают три вида шпоночных сопряжений:

- *свободное* сопряжение применяется при затруднительных условиях сборки и действии нереверсивных равномерных нагрузок, а также для получения неподвижных соединений при легких режимах работы;
- *нормальное* сопряжение применяется для неподвижных соединений, не требующих частых разборок, не воспринимающих ударных реверсивных нагрузок, отличающихся благоприятными условиями сборки;
- *плотное* сопряжение характеризуется вероятностью получения примерно одинаковых небольших натягов в соединениях шпонок с пазом, сборка осуществляется запрессовкой.

Шпонки изготавливаются из цельнотянутого пруткового материала. Поэтому по ширине шпонки все виды сопряжений выполняются в системе вала. Классы допусков для трех видов сопряжений приведены в таблице 1.21.

Таблица 1.20 – Размеры шпоночных соединений (ГОСТ 23360-78)



Диаметр вала d , мм	Номинальный размер шпонки, мм		Номинальный размер паза, мм				
	$b \times h$	Фаска S		Глубина		Радиус r_1	
		max	min	На валу t_1	На втулке t_2	max	min
От 6 до 8	2×2	0,25	0,16	1,2	1,0	0,16	0,08
Св. 8 до 10	3×3			1,8	1,4		
Св. 10 до 12	4×4			2,5	1,8		
Св. 12 до 17	5×5	0,40	0,25	3,0	2,3	0,25	0,16
Св. 17 до 22	6×6			3,5	2,8		
Св. 22 до 30	7×7			4,0	3,3		
Св. 22 до 30	8×7			4,0	3,3		

Для ширины пазов вала и втулки допускаются любые сочетания указанных классов допусков. Рекомендуемые классы допусков приведены на рисунке 1.53. Классы допусков на остальные параметры приведены в таблице 1.22.

Дополнительно устанавливаются допуски на отклонение от параллельности и симметричности шпоночного паза относительно оси вала. Допуск параллельности составляет 60 % от допуска на ширину шпоночного паза, а допуск симметричности – 40 % от допуска на ширину паза.

Существенное влияние на работу шпоночного сопряжения оказывает сопряжение цилиндрических поверхностей вала и втулки. Рекомендуемые классы допусков соединения «вал – втулка» приведены в табл. 1.23.

Пример простановки посадок шпоночного сопряжения на сборочном чертеже показан на рисунке 1.54.

Таблица 1.21 – Классы допусков по ширине шпонки

Элемент соединения	Сопряжение		
	свободное	нормальное	плотное
Ширина шпонки, b	$h9$	$h9$	$h9$
Ширина паза на валу, b_1	$H9$	$N9$	$P9$
Ширина паза на втулке, b_2	$D10$	$JS9$	$P9$

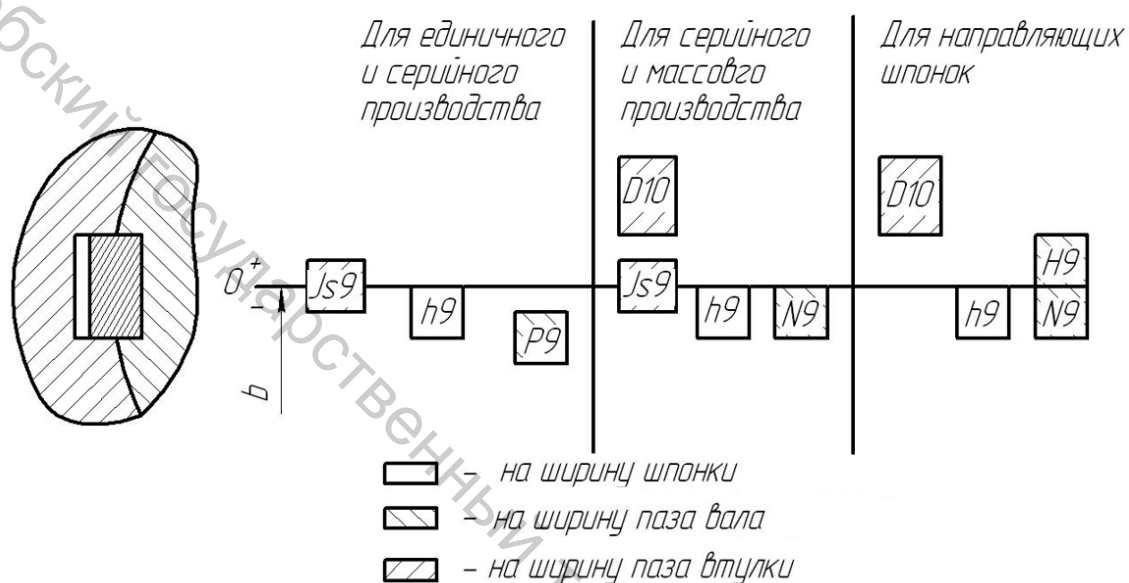


Рисунок 1.53 – Рекомендуемые классы допусков

Таблица 1.22 – Классы допусков элементов шпонок и пазов

Элемент детали шпоночного соединения	Условное обозначение	Класс допуска
Высота шпонки: до 6 мм свыше 6мм	h	$h9$ $h11$
Длина шпонки	l	$h14$
Длина паза на валу	l_1	$H15$
Глубина паза: на валу во втулке	t_1 t_2	Стандартом установлены предельные отклонения

Таблица 1.23 – Рекомендуемые классы допусков для соединения «вал – втулка»

Условия работы пары вал – втулка	Характер сопряжения	Рекомендуемые классы допусков	
		Отверстия	Вала
Возможность осевого перемещения втулки по валу	С зазором	H6	h6
		H7	h7, g6, f6
Обеспечение высокой точности центрирования, минимальное радиальное биение	Переходные	H6	js6, k6, m6, n6
Наличие больших динамических нагрузок, возможность реверсивного движения	С натягом	H6	s7
		H7	s8

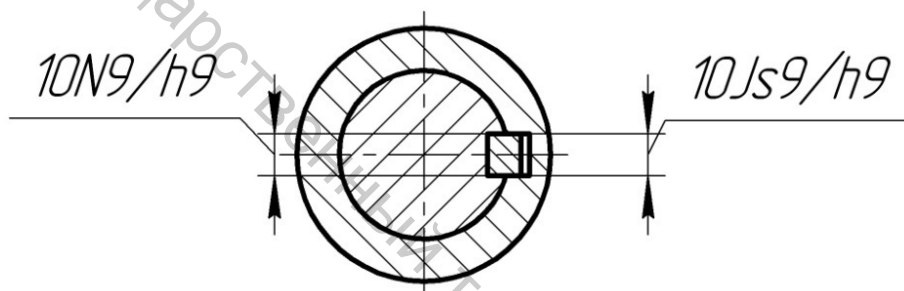


Рисунок 1.54 – Обозначение посадок шпонки на вал и во втулку на сборочных чертежах

1.5.3 Нормирование точности шлицевых соединений

1.5.3.1 Основные размеры

Шлицевые соединения обычно используются при передаче больших крутящих моментов и высоких требованиях к соосности соединяемых деталей. Наиболее распространены прямобоочные шлицевые соединения с четным числом шлиц. В зависимости от передаваемого крутящего момента установлены три серии соединения: легкая, средняя и тяжелая. Основными параметрами шлицевых соединений являются наружный диаметр D , внутренний диаметр d и ширина шлица b (табл. 1.24).

Таблица 1.24 – Номинальные размеры элементов шлицевого соединения

Размеры легкой серии									
$b \times d \times D$	Число зубьев z	d	D	b	d_1 , не менее	a , не менее	c		r , не более
							Номин.	Пред. откл.	
$6 \times 23 \times 26$	6	23	26	6	22,1	3,54	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 26 \times 30$	6	26	30	6	24,6	3,85	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 28 \times 32$	6	28	32	7	26,7	4,03	0,3	+0,2	0,2
$8 \times 32 \times 36$	8	32	36	6	30,4	2,71	0,4	+0,2	0,3
$8 \times 36 \times 40$	8	36	40	7	34,5	3,46	0,4	+0,2	0,3
$8 \times 42 \times 46$	8	42	46	8	40,4	5,03	0,4	+0,2	0,3
$8 \times 46 \times 50$	8	46	50	9	44,6	5,75	0,4	+0,2	0,3
Размеры средней серии									
$6 \times 11 \times 14$	6	11	14	3,0	9,9	-	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 13 \times 16$	6	13	16	3,5	12,0	-	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 16 \times 20$	6	16	20	4,0	14,5	-	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 18 \times 22$	6	18	22	5,0	16,7	-	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 21 \times 25$	6	21	25	5,0	19,5	1,95	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 23 \times 28$	6	23	28	6,0	21,3	1,34	0,3	+0,2	0,2
$6 \times 26 \times 32$	6	26	32	6,0	23,4	1,63	0,4	+0,2	0,3
$6 \times 28 \times 34$	6	28	34	7,0	25,9	1,7	0,4	+0,2	0,3
$8 \times 32 \times 38$	8	32	38	6,0	29,4	-	0,4	+0,2	0,3
$8 \times 36 \times 42$	8	36	42	7,0	33,5	1,02	0,4	+0,2	0,3
$8 \times 42 \times 48$	8	42	48	8,0	39,5	2,57	0,4	+0,2	0,3
Размеры тяжелой серии									
$10 \times 16 \times 20$	10	16	20	2,5	14,1	-	0,3	+0,2	0,2
$10 \times 18 \times 23$	10	18	23	3,0	15,6	-	0,3	+0,2	0,2
$10 \times 21 \times 26$	10	21	26	3,0	18,5	-	0,3	+0,2	0,2
$10 \times 23 \times 29$	10	23	29	4,0	20,3	-	0,3	+0,2	0,2
$10 \times 26 \times 32$	10	26	32	4,0	23,0	-	0,4	+0,2	0,3
$10 \times 28 \times 35$	10	28	35	4,0	24,4	-	0,4	+0,2	0,3
$10 \times 32 \times 40$	10	32	40	5,0	28,08	-	0,4	+0,2	0,3
$10 \times 36 \times 45$	10	36	45	5,0	31,3	-	0,4	+0,2	0,3
$10 \times 42 \times 52$	10	42	52	6,0	36,9	-	0,4	+0,2	0,3

Окончание таблицы 1.24

Примечания:

1. Исполнение 1 дано для изготовления валов соединений легкой и средней серии методом обкатывания. Валы соединений тяжелой серии методом обкатывания не изготавливаются.
2. Шлицевые валы исполнений 1 и 3 изготавливаются при центрировании по внутреннему диаметру, исполнения 2 – при центрировании по наружному диаметру и боковым сторонам зубьев.

1.5.3.2 Допуски и посадки

Существует три способа центрирования элементов шлицевого соединения: по наружному диаметру, внутреннему диаметру и боковым сторонам (рис. 1.55).

Центрирование по наружному диаметру D рекомендуется, для случаев, когда втулку термически не обрабатывают или когда твердость материала втулки после термической обработки допускает калибровку протяжкой, а вал обрабатывается фрезерованием до получения окончательных размеров зубьев. Такой способ прост и экономичен, его применяют для неподвижных соединений, а также для подвижных, воспринимающих небольшие нагрузки.

Центрирование по внутреннему диаметру d целесообразно применять, когда втулка имеет высокую твердость и её нельзя обрабатывать чистовой протяжкой (отверстие шлифуют на внутришлифовальном станке) или когда могут возникнуть значительные искривления длинных валов после термической обработки. Способ обеспечивает точное центрирование и применяется обычно для подвижных соединений.

Центрирование по боковым сторонам b целесообразно при передаче знакопеременных нагрузок, больших крутящих моментов, например, в соединениях карданного вала автомобиля. Этот метод способствует более равномерному распределению нагрузки между зубьями, но не обеспечивает высокой точности центрирования и поэтому редко применяется.

Классы допусков и посадки при различных способах центрирования должны соответствовать указанным в таблицах 1.25–1.27 (таблицы даны в сокращении).

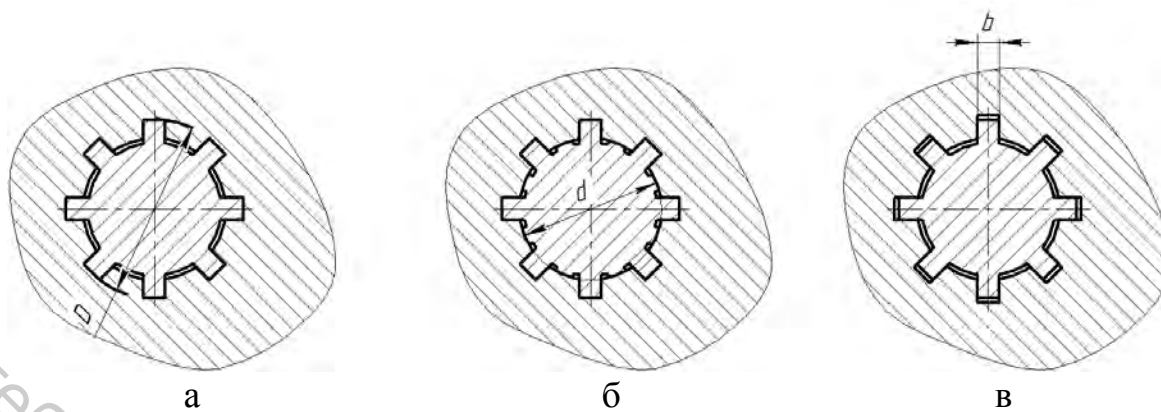


Рисунок 1.55 – Схемы способов центрирования:
а – по наружному диаметру, *б* – по внутреннему диаметру,
в – по ширине шлицев

Таблица 1.25 – Рекомендуемые классы допусков и посадки для размеров *D* и *b* при центрировании по *D* (ГОСТ 1139-80)

Класс допуска		Посадка
втулки	вала	
Для размера <i>D</i>		
<i>H7</i>	<i>f7; g6; h7; js6; n6</i>	$\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{g6}; \frac{H7}{h7}; \frac{H7}{js6}; \frac{H7}{n6}$
<i>H8</i>	<i>d8, e8, h7</i>	$\frac{H8}{d8}, \frac{H8}{e8}, \frac{H8}{h7}$
Для размера <i>b</i>		
<i>D9</i>	<i>d9; e8; f7; h8; h9; js7</i>	$\frac{D9}{d9}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{f7}; \frac{D9}{h8}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{js7}$
<i>F8</i>	<i>e8; f7; f8; h8; js7</i>	$\frac{F8}{e8}; \frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{h8}; \frac{F8}{js7}$

Таблица 1.26 – Рекомендуемые классы допусков и посадки для размеров d и b при центрировании по d (ГОСТ 1139-80)

Класс допуска		Посадка
втулки	вала	
Для размера d		
H7	$f7; g6; g7; h7; js6; js6; js7; n6$	$\frac{H7}{f7}; \frac{H7}{g6}; \frac{H7}{g7}; \frac{H7}{h7}; \frac{H7}{js6}; \frac{H7}{js7}; \frac{H7}{n6}$
H8	$e8$	$\frac{H8}{e8}$
Для размера b		
F8	$f7; f8; h7; h9; js7; k7$	$\frac{F8}{f7}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{h7}; \frac{F8}{h9}; \frac{F8}{js7}; \frac{F8}{k7}$
H8	$h7; h8; js7$	$\frac{H8}{h7}; \frac{H8}{h8}; \frac{H8}{js7}$
D9	$d9; e8; f7; f8; f9; e9; h8; h9; js7; k7$	$\frac{D9}{d9}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{f7}; \frac{D9}{f8}; \frac{D9}{f9}; \frac{D9}{e9}; \frac{D9}{h8}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{js7}; \frac{D9}{k7}$
F10	$d9; e8; f7; f8; f9; h7; h8; h9; e9; h9; js7; k7$	$\frac{F10}{d9}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10}{f7}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{f9}; \frac{F10}{h7}; \frac{F10}{h8}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{e9}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{js7}; \frac{F10}{k7}$

Таблица 1.27 – Рекомендуемые классы допусков и посадки для размера b при центрировании по b (ГОСТ 1139-80)

Класс допуска		Посадка
втулки	вала	
F8	$e8; f8; js7$	$\frac{F8}{e8}; \frac{F8}{f8}; \frac{F8}{js7}$
D9	$d9; e8; f8; f9; h8; h9; js7; k7$	$\frac{D9}{d9}; \frac{D9}{e8}; \frac{D9}{f8}; \frac{D9}{f9}; \frac{D9}{h8}; \frac{D9}{h9}; \frac{D9}{js7}; \frac{D9}{k7}$
F10	$d9; e8; f8; f9; h8; h9; js7; k7$	$\frac{F10}{d9}; \frac{F10}{e8}; \frac{F10}{f8}; \frac{F10}{f9}; \frac{F10}{h8}; \frac{F10}{h9}; \frac{F10}{js7}; \frac{F10}{k7}$

1.5.3.3 Условные обозначения шлицевых соединений

Пример условного обозначения соединения с числом зубьев $z = 8$, внутренним диаметром $d = 36$ мм, наружным диаметром $D = 40$ мм, шириной зуба $b = 7$ мм, центрированием по внутреннему диаметру, посадкой по диаметру центрирования H7/f7, по не центрирующему диаметру H12/a11 и по размеру b H9/f9:

$$d - 8 \times 36H7/f7 \times 40H12/a11 \times 7H9/f9.$$

То же, при центрировании по наружному диаметру с посадкой по диаметру центрирования $H7/h7$ и по размеру b $F10/h9$:

$$D - 8 \times 36 \times 40H7/h7 \times 7F10/h9.$$

То же, при центрировании по боковым сторонам:

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

Пример условного обозначения втулки того же соединения при центрировании по внутреннему диаметру:

$$d - 8 \times 36H7 \times 40H12 \times 7H9.$$

То же, для вала:

$$d - 8 \times 36f7 \times 40a11 \times 7f9.$$

Пример обозначения шлицевого соединения на сборочном чертеже приведен на рисунке 1.56.

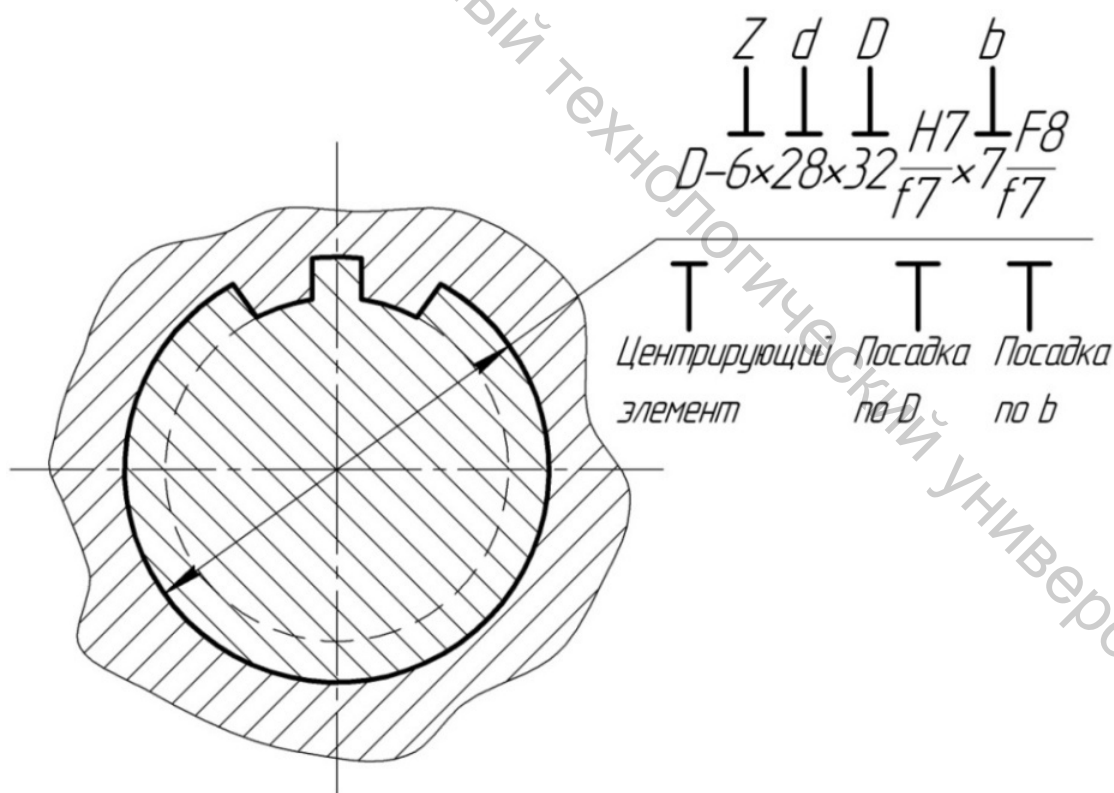


Рисунок 1.56 – Обозначение шлицевого соединения на сборочном чертеже

1.5.4 Нормирование точности резьбовых соединений

1.5.4.1 Общие сведения, основные элементы и параметры резьбы

Резьбы применяются в качестве соединительных элементов для обеспечения разъёмных соединений. В неподвижных соединениях применяются крепежные резьбы, которые должны быть прочными, а в некоторых случаях герметичными. В подвижных соединениях применяются кинематические резьбы, предназначенные для сообщения движения одной детали относительно другой (винтовая пара).

Резьбы подразделяют:

- по профилю осевого сечения винтовой поверхности – на *треугольные, трапецеидальные, упорные и круглые*;
- по форме поверхностей, на которых нарезана резьба, – на *цилиндрические и конические*;
- по расположению – на *наружные и внутренние*;
- по числу заходов винтовой канавки – на *однозаходные и многозаходные* (двухзаходные, трехзаходные и т.д.);
- по направлению винтовой поверхности – на *правую и левую*;
- по принятой единице измерения размеров – на *метрические и дюймовые*.

Наиболее широко распространена метрическая цилиндрическая резьба.

Ось резьбы – ось, относительно которой образована винтовая поверхность резьбы.

Профиль резьбы – профиль выступа и канавки резьбы в плоскости осевого сечения (рис. 1.57).

Боковая сторона – часть винтовой поверхности, расположенная между вершиной и впадиной резьбы и имеющая смежные боковые стороны резьбы по верху её выступа.

Наружный диаметр резьбы d (D) – диаметр воображаемого цилиндра, расположенного касательно к вершинам наружной резьбы или впадинам внутренней резьбы.

Внутренний диаметр резьбы d_1 (D_1) – диаметр воображаемого цилиндра, расположенного касательно к вершинам внутренней резьбы или впадинам наружной резьбы.

Средний диаметр резьбы d_2 (D_2) – диаметр воображаемого соосного с резьбой цилиндра, образующая которого пересекает профиль витков в точках, где ширина канавки равна ширине выступа.

Номинальный диаметр резьбы d (D) – диаметр, условно характеризующий размеры резьбы и используемый при её обозначении.

Шаг резьбы P – расстояние между соседними одноименными бо-

ковыми сторонами профиля, измеренное в направлении, параллельном оси резьбы. Для многозаходных резьб различают понятия «ход» и «шаг». Ход резьбы определяет величину относительного осевого перемещения гайки (болта) за один полный оборот и равен произведению шага на число заходов (при отсутствии погрешностей шага и других параметров). У однозаходной резьбы ход равен шагу.

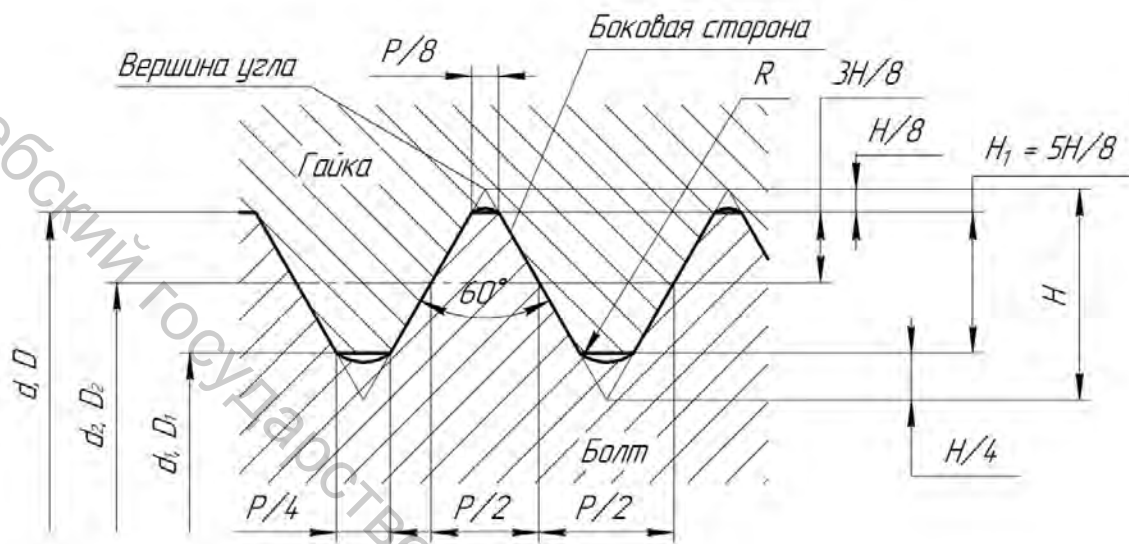


Рисунок 1.57 – Профиль метрической цилиндрической резьбы

Метрическая резьба разделяется на резьбу с крупным шагом и резьбу с мелким шагом. Метрическая резьба с крупным шагом рекомендуется для соединения деталей, не подвергающихся переменным нагрузкам и вибрациям. Метрическая резьба с мелким шагом рекомендуется для соединения тонкостенных деталей в регулировочных устройствах и приборах.

Угол профиля α – угол между боковыми сторонами профиля в осевой плоскости. Для метрической резьбы $\alpha = 60^\circ$. При измерении резьб с симметричным профилем контролируют половины углов профиля $\alpha/2$, что позволяет определить величину α и перекося резьбы из-за неточной установки инструмента или детали.

Угол подъёма ψ – угол между касательной к винтовой поверхности в точке, расположенной на среднем диаметре резьбы, и плоскостью, перпендикулярной к оси резьбы.

Высота теоретического профиля H – высота между вершинами профиля, образованными продолжением боковых сторон профиля.

Рабочая высота профиля H_1 – длина проекции участка взаимного перекрытия профилей сопрягаемых наружной и внутренней резьб на перпендикуляр к оси резьбы.

Форма впадин резьбы болта и гайки не регламентируется и может быть закругленной или плоскосрезанной. Закругленная форма впадин

предпочтительнее, так как из-за этого снижается концентрация напряжений в детали и повышается стойкость обрабатывающего инструмента.

Параметры рабочей высоты и длины среза выражаются в долях теоретической высоты и шага резьбы (рис. 1.57).

Длиной свинчивания называют длину соприкосновения винтовых поверхностей наружной и внутренней резьбы в осевом направлении. Установлены три группы длин свинчивания: S – короткие; N – нормальные и L – длинные. Длины свинчивания свыше $2,24Pd^{0,2}$ до $6,7Pd^{0,2}$ относятся к группе N ; меньше нормальных – к группе S , а больше – к группе L .

Значения длин свинчивания приведены в таблице 1.28 (дана в сокращении).

Таблица 1.28 – Значения длин свинчивания

Номинальный диаметр резьбы d , мм	Шаг резьбы P , мм	Обозначение длин свинчивания		
		S (малые), мм	N (нормальные), мм	L (большие), мм
От 1 до 1,4	0,2	до 0,5	Св. 0,5 до 1,4	Св. 1,4
	0,25	$\geq 0,6$	$\geq 0,6 \leq 0,7$	$\geq 1,7$
	0,3	$\geq 0,7$	$\geq 0,7 \leq 2$	≥ 2
Св. 1,4 до 2,8	0,2	до 0,5	Св. 0,5 до 1,5	Св. 1,5
	0,25	$\geq 0,6$	$\geq 0,6 \leq 1,9$	$\geq 1,9$
	0,35	$\geq 0,8$	$\geq 0,8 \leq 2,6$	$\geq 2,6$
	0,4	≥ 1	$\geq 1 \leq 3$	≥ 3
	0,45	$\geq 1,3$	$\geq 1,3 \leq 3,8$	$\geq 3,8$

1.5.4.2 Допуски резьбы

Для метрической резьбы стандартами предусмотрены допуски по следующим параметрам: по наружному диаметру болта T_d , внутреннему диаметру гайки T_{D_1} , среднему диаметру болта T_{d_2} и гайки T_{D_2} . Располагаются поля допусков перпендикулярно к оси резьбы и направлены вверх относительно номинального профиля для резьбы гайки и вниз – для резьбы болта (рис. 1.58).

Допуски на наружный диаметр гайки и внутренний диаметр болта не нормируются и определяются размерами резьбообразующего инструмента. Также не назначаются допуски на шаг резьбы и угол профиля.

Процесс свинчивания вследствие погрешностей шагов винта и гайки сопровождается деформацией боковых сторон. При этом погрешность шагов возрастает пропорционально количеству витков (шагов). С целью компенсации погрешностей шагов винта и гайки необходимо уменьшить средний диаметр болта d_2 или увеличить средний диаметр гайки D_2 .

Значение требуемого изменения d_2 или D_2 , необходимое для компенсации погрешностей шага ΔP , называется *диаметральной компенсацией погрешности шага резьбы* f_p (рис. 1.59 а):

$$f_p = 1,732\Delta P. \quad (1.29)$$

Значение требуемого изменения среднего диаметра (уменьшение d_2 у болта или увеличение D_2 у гайки), необходимое для компенсации погрешностей половины угла профиля $\Delta\alpha/2$, называется *диаметральной компенсацией погрешности половины угла профиля резьбы* f_α (рис. 1.59 б):

$$f_\alpha = 0,36 P \Delta\alpha/2. \quad (1.30)$$

Значение действительного среднего диаметра резьбы, увеличенное для наружной резьбы (или уменьшенное – для внутренней) на суммарную диаметральную компенсацию отклонений шага и половины угла профиля, называют *приведенным средним диаметром*.

Приведенный средний диаметр для наружной резьбы

$$d_{пр} = d_{2д} + f_p + f_\alpha; \quad (1.31)$$

для внутренней резьбы

$$D_{пр} = D_{2д} - f_p - f_\alpha, \quad (1.32)$$

где $d_{2д}$ и $D_{2д}$ – действительные значения средних диаметров наружной и внутренней резьбы соответственно.

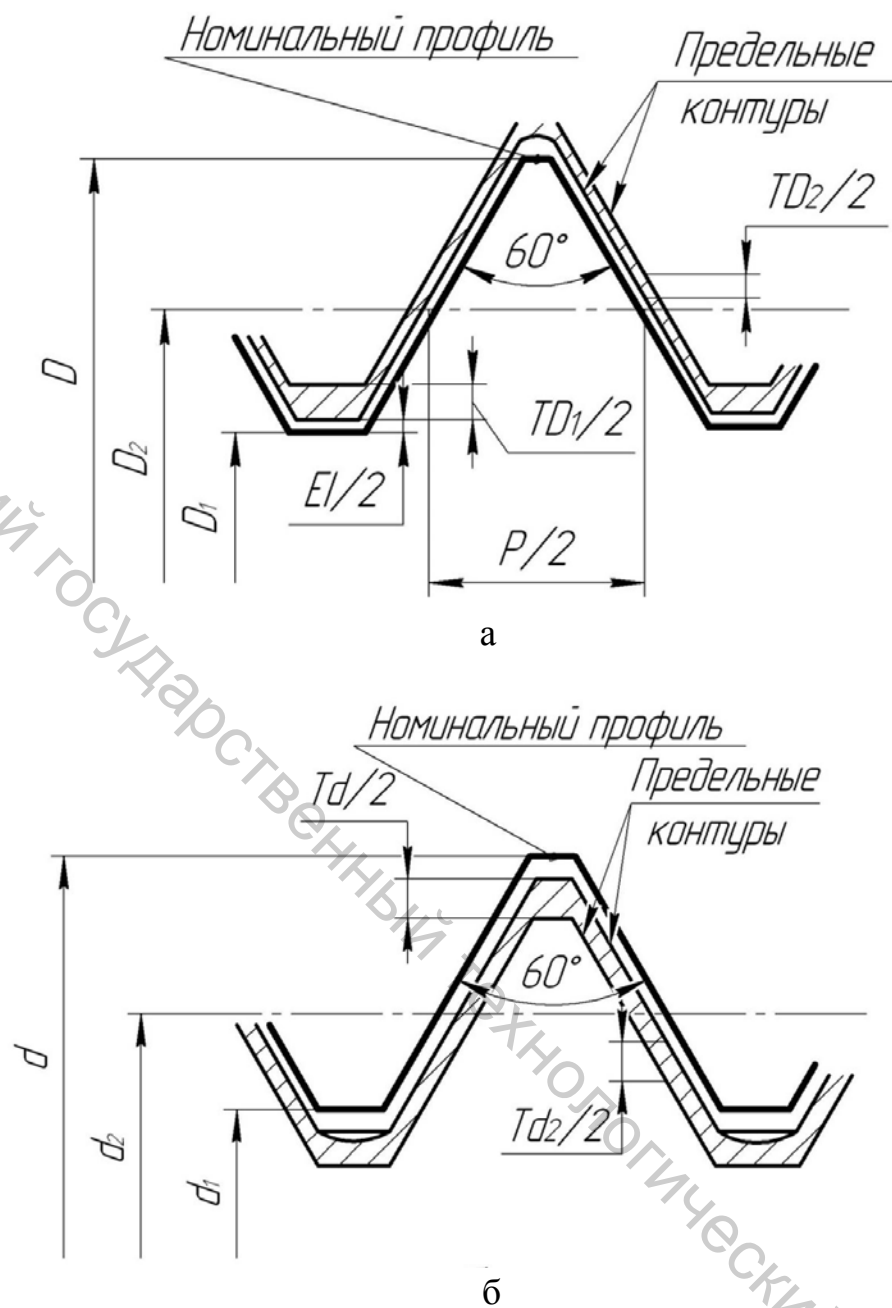


Рисунок 1.58 – Положение полей допусков для резьбы с зазором:
а – внутренней; б – наружной

Задаваемый в стандартах допуск на средний диаметр болта T_{d_2} и гайки T_{D_2} включает допуск на собственно средний диаметр T'_{d_2} и T'_{D_2} , а также значения компенсаций f_p и f_a :

$$T_{d_2}(T_{D_2}) = T'_{d_2}(T'_{D_2}) + f_p + f_a. \quad (1.33)$$

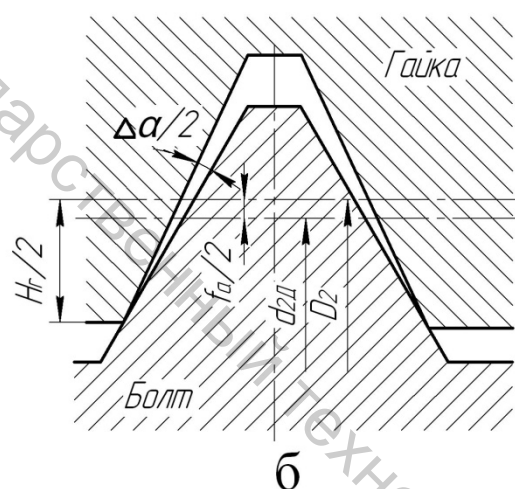
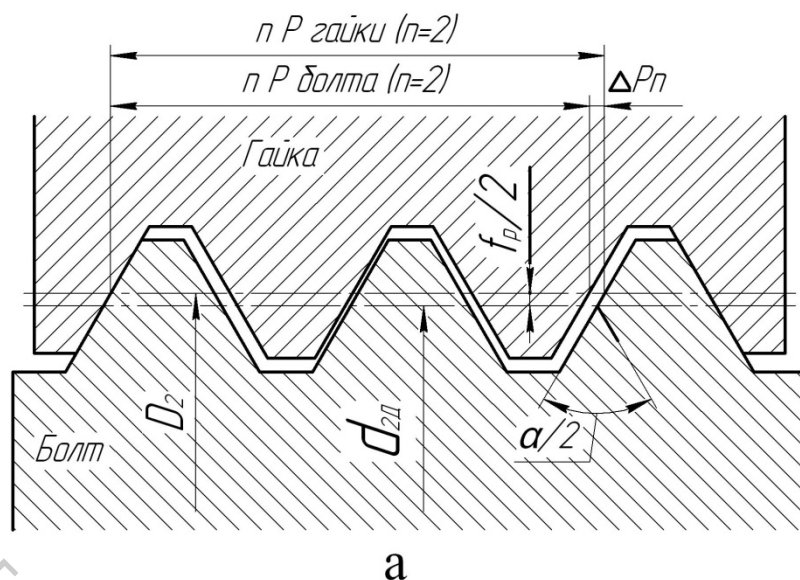


Рисунок 1.59 – Схемы диаметральных компенсаций погрешностей:
 a – шага; $б$ – угла наклона

Приведенный средний диаметр внутренней резьбы (гайки) не должен быть меньше, чем размер, соответствующий пределу максимума материала (проходной предел), а наибольший средний диаметр не должен быть больше предела минимума материала (непроходной предел). Приведенный средний диаметр наружной резьбы (болта) не должен быть больше предела максимума материала по среднему диаметру, а наименьший средний диаметр не должен быть меньше, чем предел минимума материала.

Установлены следующие степени точности, определяющие допуски диаметров резьбы болтов и гаек (звездочкой отмечены степени точности резьб деталей из пластмасс):

– диаметр болта:

наружный – 4, 6, 8;

средний – 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10*;

- диаметр гайки:
 внутренний – 4, 5, 6, 7, 8;
 средний – 4, 5, 6, 7, 8, 9*.

Основным рядом допусков для всех диаметров принят ряд степени точности 6. Допуски остальных степеней точности определяются умножением допуска степени точности 6 на коэффициенты, приведенные в таблице 1.29.

Таблица 1.29 – Коэффициенты для определения допусков

Степень точности	3	4	5	6	7	8	9	10
Коэффициент	0,5	0,63	0,8	1	1,25	1,6	2	2,5

1.5.4.3 Резьбовые посадки с зазором

Для получения посадок резьбовых деталей с зазором предусмотрено пять основных отклонений (d , e , f , g и h) для наружной и четыре (E , F , G и H) для внутренней резьбы. Эти отклонения одинаковы для диаметров d , d_2 и D_1 , D_2 (рис. 1.60 а). Основные отклонения E и F установлены только для специального применения при значительных толщинах слоя защитного покрытия. Схемы расположения основных отклонений и полей допусков диаметров наружной и внутренней резьбы в посадках с зазором приведены на рисунке 1.60 б. Отклонения отсчитывают от номинального профиля резьбы в направлении, перпендикулярном оси резьбы.

При сочетании основных отклонений H/h образуется посадка с наименьшим зазором, равным нулю; при сочетаниях H/g , f , e , d , а также G , E , F/h , g , f , e , d образуются посадки с гарантированным зазором. Указанные основные отклонения для наружной резьбы определяют верхние отклонения, а для внутренней – нижние отклонения диаметров резьбы. Второе предельное отклонение определяют по принятой *степени точности резьбы*. Сочетание основного отклонения, обозначаемое буквой с допуском по принятой степени точности, образуют *поле допуска диаметра резьбы*.

Обозначение поля допуска на резьбовой элемент детали состоит из обозначения поля допуска для среднего диаметра (на первом месте) и обозначения поля допуска диаметра – наружного для болта или внутреннего диаметра для гайки.

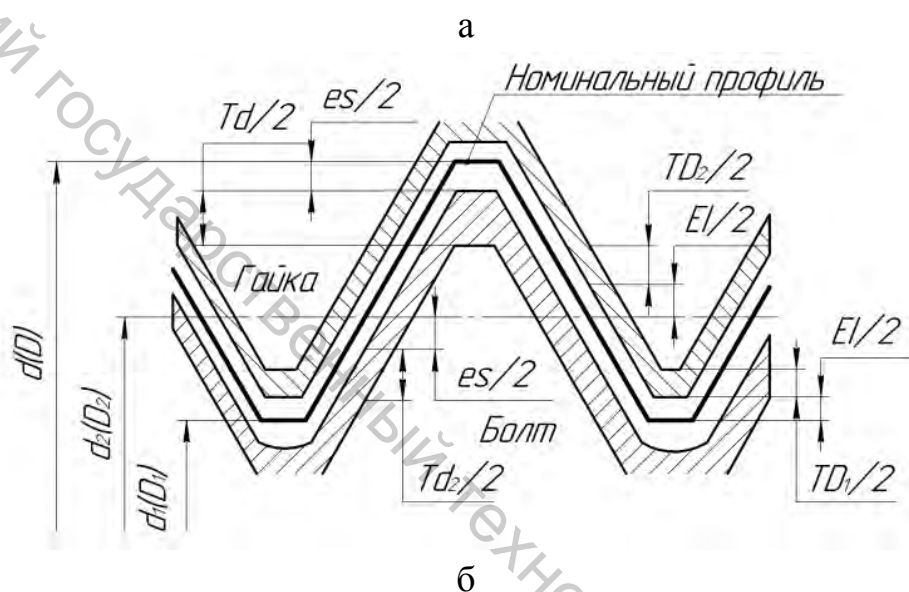
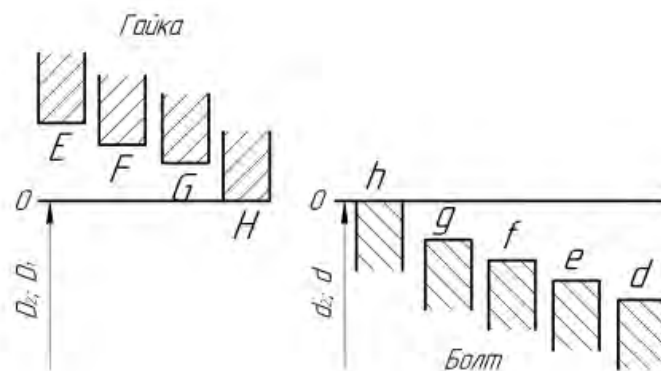


Рисунок 1.60 – Схема расположения: *а* – основных отклонений, *б* – допусков резьбовых посадок с зазором

В обозначении поля допуска сначала указывается цифра, соответствующая степени точности, а потом буквенное обозначение основного отклонения. Например, $6g5g$: $6g$ – поле допуска на средний диаметр болта (d_2), $5g$ – поле допуска на наружный диаметр болта (d); $7H6H$: $7H$ – поле допуска на средний диаметр гайки (D_2), $6H$ – поле допуска на внутренний диаметр гайки (D_1).

1.5.4.4 Выбор полей допусков посадок с зазором

В соответствии со сложившейся практикой поля допусков болтов и гаек установлены в трех классах точности: точном, среднем и грубом.

Понятие класса точности используется для сравнительной оценки точности резьбовых деталей с различными полями допусков (табл. 1.30).

Поля допусков, относящиеся к точному классу, рекомендуется использовать для соединений, которым свойственны малые колебания зазоров, а также в ответственных статически нагруженных резьбовых соединениях. Наибольшее распространение в машиностроении получили поля допусков среднего класса, при котором обеспечивается достаточная статическая и динамическая прочность резьбовых деталей. Для соединений, к которым не предъявляются особые требования, применяются поля допусков грубого класса.

Таблица 1.30 – Поля допусков метрической резьбы с зазорами (ГОСТ 16093-2004)

Наружная резьба (болт)			
Классы точности	Длины свинчивания		
	<i>S</i> (короткие)	<i>N</i> (нормальные)	<i>L</i> (длинные)
	Поля допусков		
Точный	(3h4h)	4h, 4g	(5h4h)
Средний	5h6h, 5g6g	6h, 6g *, 6f, 6e, 6d	(7h6h), 7g6g, (7e6e)
Грубый	—	(8h), 8g	(9g8g)
Внутренняя резьба (гайка)			
Классы точности	Длины свинчивания		
	<i>S</i> (короткие)	<i>N</i> (нормальные)	<i>L</i> (длинные)
	Поля допусков		
Точный	4H	4H5H, 5H	6H
Средний	5H, (5G)	6H, 6G	7H, (7G)
Грубый	—	7H, 7G	8H, (8G)

Примечания:

1. Поля допусков, обозначенные звездочкой (*), рекомендуются для предпочтительного применения.

2. Поля допусков, указанные в скобках, применять не рекомендуется.

3. Поле допуска 8h установлено для резьб с шагом $P \geq 0,8$ мм; для резьб с шагом $P < 0,8$ мм используется поле 8h6h.

4. В обоснованных случаях разрешается применять поля допусков резьбы, образованные иными сочетаниями указанных в таблице полей допусков среднего и других (наружного – у наружной резьбы, внутреннего – у внутренней резьбы) диаметров; например, 4h6h, 8h6h, 5H6H.

5. Поля допусков, приведенные в таблице, являются ограниченным отбором из всей совокупности полей допусков, которые могут быть получены различными сочетаниями степеней точности и основных отклонений. Поля допусков, не предусмотренные в данной таблице, являются специальными.

6. При длинах свинчивания *S* и *L* допускается применять поля допусков, установленные для длин свинчивания *N*.

Допускаются любые сочетания полей допусков в соответствии с таблицей 1.30. Предпочтительно использовать в посадках поля допусков одного класса.

Сочетания полей допусков с основными отклонениями H и h (H/h) образует посадку с минимальным зазором, равным нулю. Использование полей допусков с основными отклонениями g, G, f, e, d обеспечивает в соединениях гарантированные зазоры (наименьшие для полей допусков с основными отклонениями g, G , наибольшие – с основным отклонением d). Зазоры в соединениях необходимы для достижения легкой свинчиваемости, компенсации температурных деформаций деталей при эксплуатации, при нанесении защитных покрытий и др. Следует учитывать, что зазоры по диаметрам резьбы способствуют более равномерному распределению нагрузки между витками и повышению циклической прочности соединения. Наиболее часто используется посадка $6H/6g$.

Посадки с большими гарантированными зазорами применяют, если резьбовые детали эксплуатируются при высокой температуре (для компенсации температурных деформаций), если необходима легкая свинчиваемость даже при небольшом загрязнении или повреждении резьбы, если на детали наносят антикоррозионные покрытия значительной толщины. В последнем случае можно также использовать поля допусков со специальными основными отклонениями F, E .

1.5.4.5 Резьбы с натягами и переходными посадками

Такие резьбы применяются для обеспечения неподвижности резьбовых соединений, работающих в условиях вибрации и ударных нагрузок, переменного температурного режима.

Метрические резьбы с натягом и переходными посадками предназначены для резьбовых соединений при следующих длинах свинчивания:

- сталь – $(1 \dots 1,25)d$;
- чугун – $(1,25 \dots 1,5)d$;
- алюминиевые и магниевые сплавы – $(1,5 \dots 2)d$.

Переходные посадки более технологичны, так как в случае их применения при сборке не требуется производить сортировку резьбовых деталей на группы, что обязательно для основных посадок с натягом. Однако в резьбовых соединениях с переходными посадками необходимо использовать дополнительные конструктивные элементы для

заклинивания, например, конический сбег резьбы, плоский борт, цилиндрическую цапфу.

В резьбовом сопряжении натяг образуется по боковым поверхностям. По наружному и внутреннему диаметрам в резьбовом сопряжении имеется зазор (рис. 1.61). Форма впадин наружной резьбы выполняется закругленной. Для резьб с шагом $P \leq 1$ мм возможна плоскосрезанная форма впадин.

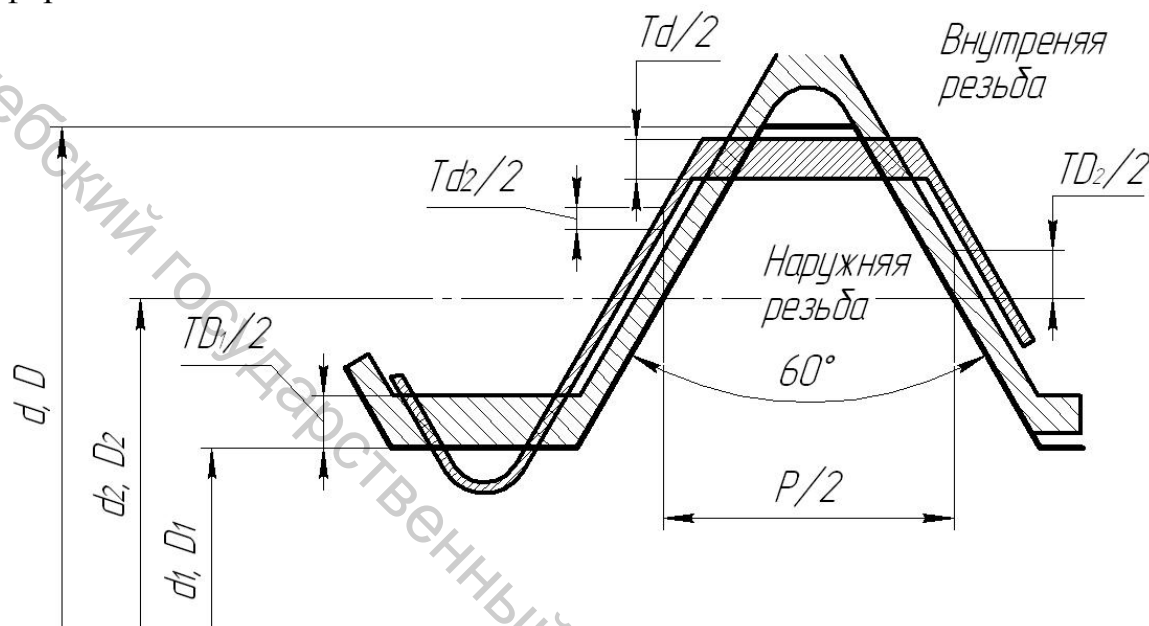


Рисунок 1.61 – Схема расположения предельных контуров резьбы с натягом

Поля допусков посадок с натягом и переходных приведены в таблице 1.31–1.32. Отклонения формы наружной и внутренней резьб определяются разностью между наибольшим и наименьшим действительными значениями среднего диаметра на длине свинчивания и не должны превышать 25 % от допуска среднего диаметра. Обратная конусность не допускается.

Таблица 1.31 – Поля допусков и посадки с натягом метрической резьбы (ГОСТ 4608-81)

Материал детали с внутренней резьбой	Шаг резьбы P, мм	Поля допусков		Посадка	Дополнительные условия обработки
		Внутренней резьбы	Наружной резьбы		
Чугун и алюминиевые сплавы	До 1,25	2H5D	2r	$\frac{2H5D}{2r}$	—
	Св. 1,25	2H5C		$\frac{2H5C}{2r}$	

Окончание таблицы 1.31

Материал детали с внутренней резьбой	Шаг резьбы Р, мм	Поля допусков		Посадка	Дополнительные условия обработки
		Внутренней резьбы	Наружной резьбы		
Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	До 1,25	2H5D(2)	3p(2)	$\frac{2H5D(2)}{3p(2)}$	Сортировка на две группы
	Св. 1,25	2H5D(2)		$\frac{2H5C(2)}{3p(2)}$	
Сталь, высокопрочные и титановые сплавы	До 1,25	2H4D(3)	3n(3)	$\frac{2H4D(3)}{3n(3)}$	Сортировка на три группы
	Св. 1,25	2H4C(3)		$\frac{2H4C(3)}{3n(3)}$	

Допуски среднего диаметра деталей, не сортируемых на группы, являются суммарными. Допуски среднего диаметра деталей, сортируемых на группы, не включают диаметральной компенсации отклонений шага и угла профиля резьбы. Сборка должна осуществляться из резьбовых деталей одноименных сортировочных групп.

Таблица 1.32 – Поля допусков и переходные посадки метрической резьбы (ГОСТ 24834-81)

Материал детали с внутренней резьбой	Номинальный диаметр резьбы, d, мм	Поля допусков		Посадки
		Внутренней резьбы	Наружной резьбы	
Сталь	5-10	4H6H; 3H6H	4jk; 2m	$\frac{4H6H}{4jk}; \frac{3H6H}{2m}$
	18-30	4H6H; 3H6H	4j; 2m	$\frac{4H6H}{4j}; \frac{3H6H}{2m}$
	33-45	5H6H	4jh	$\frac{5H6H}{4jh}$
Чугун, алюминиевые и магниевые сплавы	5-16	5H6H; 3H6H	4jk; 2m	$\frac{4H6H}{4jk}; \frac{3H6H}{2m}$
	18-30	5H6H; 3H6H	4j; 2m	$\frac{4H6H}{4j}; \frac{3H6H}{2m}$
	33-45	5H6H	4jh	$\frac{5H6H}{4jh}$

1.5.4.6 Обозначение резьбовых сопряжений на чертежах

Резьбовые сопряжения на чертежах в развернутом виде обозначают в следующей последовательности: тип резьбы, номинальное значение наружного диаметра, шаг, направление витков, поле допуска, длина свинчивания.

В случае применения полей допусков с сортировкой на группы рядом с основным отклонением в круглых скобках указывается количество групп.

Обозначение полей допусков резьбы состоит из обозначения поля допуска среднего диаметра (всегда на первом месте) и обозначения поля допуска наружного диаметра (для болта) или внутреннего диаметра (для гайки).

На сборочных чертежах резьбовые сопряжения обозначаются дробью, в числителе которой указывают обозначение полей допусков гайки, а в знаменателе – полей допусков болта (табл. 1.33).

Таблица 1.33 – Примеры обозначения резьб на чертеже

Резьба	Обозначение резьбы на чертеже	
	болт	гайка
Метрическая резьба для диаметров от 1 до 600 мм с крупным шагом	M12 – 6g	M12 – 6H
Метрическая резьба для диаметров от 1 до 600 мм с мелким шагом	M24x2 – 6h	M24x2 – 6H
Метрическая резьба для диаметров от 1 до 600 мм левая с крупным шагом	M12LH – 6h	M12LH – 6H
Метрическая резьба для диаметров 0,25–0,9 мм	M0,5 – 5h5	M0,5 – 5H5
Метрическая резьба с натягами	M16 – 3p	M16 – 2H5C
Метрические резьбы с натягами и сортировкой полей допусков на две группы	M-16-3p(2)	M16 – 2H5C(2)
Метрическая резьба с переходной посадкой	M-16-4j	M16 – 4H6H

1.5.5 Нормирование точности размеров и посадки подшипников качения

1.5.5.1 Точность подшипников качения

Соединения с подшипниками качения являются частным случаем гладких цилиндрических сопряжений, но имеют свои особенности, связанные с конструкцией подшипников. В подавляющем большинстве случаев подшипники качения изготавливаются в виде отдельного узла, состоящего из наружного и внутреннего колец и расположенных между ними тел качения.

По направлению воспринимаемой нагрузки подшипники разделяются на *радиальные, радиально-упорные и упорные*.

По форме тел качения и рабочих поверхностей колец подшипники разделяют на *шариковые, роликовые, роликовые конические, роликовые сферические* и др.

По числу рядов тел качения подшипники разделяются на *однорядные, двухрядные и многорядные*.

Критерием точности подшипников качения являются классы точности, которые характеризуются значениями предельных отклонений размеров, формы и взаимного положения поверхностей подшипников. Установлены следующие классы в порядке повышения точности (ГОСТ 520-2011): для шариковых, роликовых радиальных и шариковых радиально-упорных подшипников – 8, 7, нормальный, 6, 5, 4, Т, 2; для роликовых конических подшипников – 8, 7, 0, нормальный, 6Х, 6, 5, 4, 2.

Допуски подшипников 8-го и 7-го классов точности устанавливаются в нормативных документах. Такие подшипники изготавливают по заказам потребителей.

Между классами точности подшипников качения и качествами точности присоединительных поверхностей существуют ориентировочные соотношения (табл. 1.34).

Таблица 1.34 – Соотношения между классами точности подшипников качения и качествами сопрягаемых поверхностей

Класс точности	2	2, 4, 5	4, 5	6, 0
Посадочная поверхность	Вал			
Квалитет	3	4	5	6
Посадочная поверхность	Отверстие			
Квалитет	4	5	6	7–9

В таблицах за номинальные диаметры подшипников качения D и d принимают диаметры его посадочных поверхностей – наружный и внутренний соответственно. Средний диаметр наружной D_m и внутренней d_m цилиндрических поверхностей подшипника определяется как среднее арифметическое наибольшего и наименьшего значения диаметра, определенных двухточечным измерением в одной радиальной плоскости (перпендикулярной оси):

$$\begin{aligned} d_m &= \frac{d_{max} + d_{min}}{2}; \\ D_m &= \frac{D_{max} + D_{min}}{2}. \end{aligned} \quad (1.34)$$

Основные отклонения диаметров посадочных мест подшипников обозначаются буквой L для отверстия (для размера d) и l – для наружного диаметра наружного кольца (размер D). Класс допуска образуется основным отклонением и классом точности подшипника. Для среднего диаметра отверстия установлены классы допусков $L0, L6, L5, L4, L2$; для среднего диаметра вала (наружного кольца подшипника) установлены классы допусков $l0, l6, l5, l4, l2$ (рис. 1.62).

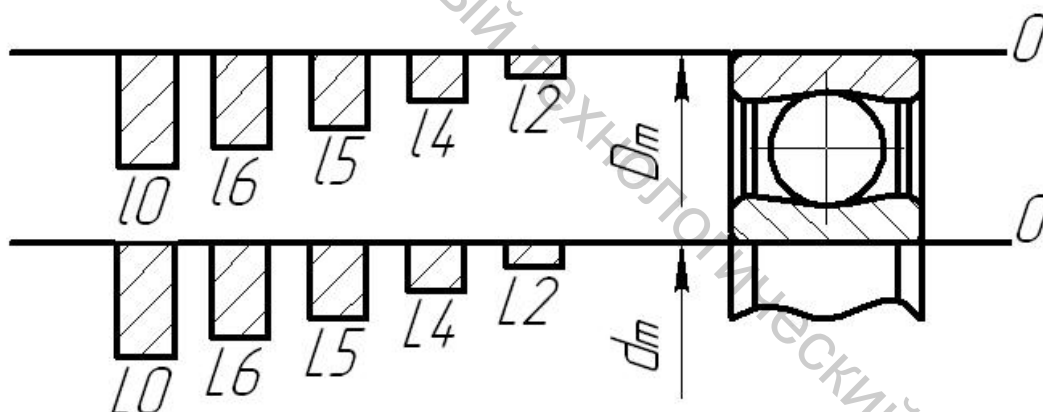


Рисунок 1.62 – Схемы расположения интервалов допусков колец подшипников качения

Расположение интервалов допусков по внутреннему кольцу отличается от расположения интервалов допусков основного отверстия. В силу тонкостенности колец подшипника стандартные посадки с натягом по внутреннему кольцу применять не представляется возможным. Поэтому интервалы допусков подшипников качения расположены не выше нулевой линии, как у основного отверстия, а ниже. При таком перевернутом расположении интервалов допусков не нужно прибегать к стандартным посадкам для создания небольших натягов. Небольшие натяги

можно получать, используя классы допуска вала по 4, 5, 6 квалитетам с основными отклонениями n, m, k, j .

Кроме классов точности для подшипников качения установлены три категории для нормирования других показателей, являющихся дополнительными требованиями точности:

A – подшипники классов точности 5, 4, 2, Т, к которым предъявляются дополнительные повышенные требования по уровню вибрации, отклонениям формы или другим параметрам;

B – подшипники классов 0, 6Х, 6, 5, для которых дополнительно нормируется одно требование, например, радиальное биение или уровень вибраций;

C – подшипники классов точности 8, 7, 0, 6, к которым не предъявляются требования по ограничению уровня вибрация, моменту трения и другим параметрам.

1.5.5.2 Назначение посадок в сопряжениях с подшипниками качения

Классы допусков, предусмотренные на посадочные размеры внутренних и наружных колец подшипников, отличаются от стандартных классов допусков основного отверстия и основного вала значением и расположением (рис. 1.63).

Классы допусков для посадочного размера внутреннего кольца подшипника расположены ниже нулевой линии (для стандартного основного отверстия интервалы допусков расположены выше нулевой линии). Это изменяет характер посадки по сравнению с посадками в обычной системе отверстия. Классы допусков вала $r6, p6, n6, m6, k6, n5, m5, k5, n4, m4, k4$ обеспечивают посадку с натягом.

В таблицах 1.35 и 1.36 приведены наиболее употребляемые классы допусков для вала и отверстия.

Из приведенных данных в таблицах 1.35 и 1.36 следует, что допуски присоединительных поверхностей отверстий на один квалитет больше, чем для валов.

Выбор посадок колец подшипников определяется характером их нагружения. Различают три вида нагружения: циркуляционное, местное и колебательное.

Циркуляционный тип нагружения создается на кольце при постоянно направленной радиальной нагрузке, когда место нагружения последовательно перемещается по окружности кольца со скоростью его вращения. Посадка вращающегося циркуляционно нагруженного кольца должна обеспечивать гарантированный натяг, исключаящий воз-

возможность относительных смещений и проскальзываний этого кольца и детали, так как это приведет к развальцовке поверхностей сопряжения, потере точности, перегреву и быстрому выходу узла из строя.

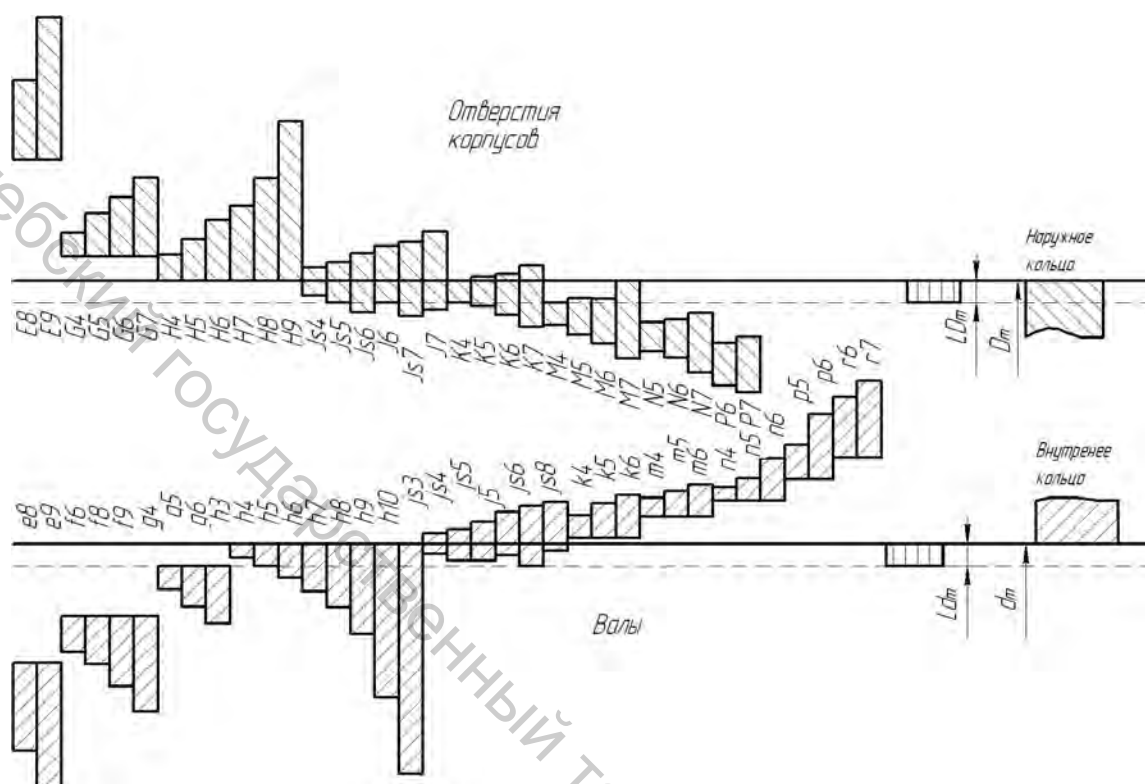


Рисунок 1.63 – Схема расположения интервалов допусков при посадках подшипников на валы и отверстия корпусов

Таблица 1.35 – Классы допусков валов для сопряжений по внутреннему кольцу подшипника

Класс точности подшипника	Классы допусков вала
0 и 6	$f6, g6, h6, k6, m6, js6, f7$
5 и 4	$g5, h5, js5, k5, m5, n5$
2	$g4, h4, js4, k4, m4, n4$

Таблица 1.36 – Классы допусков отверстия для сопряжений по наружному кольцу подшипника

Класс точности подшипника	Классы допусков отверстия
0 и 6	$G7, H7, JS7, K7, M7, N7, P7$
5 и 4	$G6, H6, JS6, K6, M6, N6$
2	$G5, H5, JS5, K5, M5, N5$

При местном нагружении постоянная по величине радиальная нагрузка воздействует на один и тот же ограниченный участок дорожки качения (преимущественно наблюдается на неподвижном кольце подшипника) и вызывает местный износ. Поэтому смысл присоединения таких колец к соответствующей детали в изделии заключается в получении посадки с небольшим средневероятным зазором, вследствие чего в процессе работы кольцо под воздействием отдельных толчков, сотрясений и других факторов периодически проворачивается, износ дорожек становится более равномерным и долговечность кольца значительно возрастает.

Колебательное нагружение возникает при одновременном действии на кольцо двух радиальных нагрузок: постоянной по направлению и вращающейся вокруг оси. В результате на одном участке дорожки качения они усиливают друг друга, а на другом ослабляют. Если одна из нагрузок значительно превышает другую, то действием меньшей можно пренебречь и считать схему нагружения местной или циркуляционной.

В зависимости от характера нагружения колец подшипников для вала и отверстия могут быть рекомендованы классы допусков, представленные в таблице 1.37.

Таблица 1.37 – Рекомендуемые посадки и классы допусков для установки подшипников качения на вал и в корпус (ГОСТ 3325-85)

Вид нагружения кольца	Режим работы	Разновидности и размеры радиальных и радиально-упорных подшипников	Классы допусков	Рекомендуемые посадки	Примеры применения подшипниковых узлов
Циркуляционное	Легкий или нормальный: $0,07 < P \leq 0,15C$	Шариковые и роликовые $d \leq 50 \text{ мм}$.	$h3; js3$	$L2/h3;$ $L2/js3$	Гидромоторы и малогабаритные электромашины, внутришлифовальные шпиндели, турбохолодильники
			$h4; js4$	$L2/h4;$ $L2/js4$	
			$h5; js5$	$L2/h5;$ $L2/js5$	

Продолжение таблицы 1.37

Вид нагружения кольца	Режим работы	Разновидности и размеры радиальных и радиально-упорных подшипников	Классы допусков	Рекомендуемые посадки	Примеры применения подшипниковых узлов
Циркуляционное		Радиальные $d \leq 40$ мм, радиально-упорные шариковые $d \leq 100$ мм, роликовые $d \leq 40$ мм	$js4; js5; js6; k36$	L2/js4; L4/js5; L5/js5; L6/js6; L6/k6; L0/js6; L0/k6	Сельскохозяйственные машины, центрифуги, турбокомпрессоры, газотурбинные насосы, вентиляторы, электромоторы, коробки скоростей станков, коробки скоростей машин и тракторов
		Шариковые и роликовые $d \leq 100$ мм	$k4; k5$	L2/k4; L4/k5	
			$js6; k6$	L5/k5; L6/js6; L6/k6; L0/js6; L0/k6	
		$d \leq 250$ мм	$m6$	L6/m6; L0/m6	
	Нормальный или тяжелый: $0,07 < P \leq 0,15$ C	Радиально-упорные и шариковые радиальные $d \leq 100$ мм	$k4$	L2/k4	Электродвигатели мощностью до 100 кВт, турбины, кривошипно-шатунные механизмы, шпиндели металлорежущих станков, крупные редукторы
		Роликовые радиальные $d \leq 40$ мм.	$k5$	L4/k5; L5/k5	
	Тяжелый с ударной нагрузкой	Роликовые радиальные $50 \text{ мм} > d \leq 140$	$m6; n6$	L6/js6; L6/k6; L0/js6; L0/k6	Железнодорожные и трамвайные буксы, коленчатые валы двигателей, электродвигатели мощностью свыше 100 кВт, ходовые колеса мостовых кранов, Экскаваторы, манипуляторы прокатных станков, шаровые дробилки, вибраторы, грохоты
		Роликовые радиальные $140 \text{ мм} < d \leq 200$	$p6$	L6/m6; L6/n6; L0/m6; L0/n6	
		Роликовые радиальные $200 \text{ мм} < d \leq 250$	$r6; r7$	L6/p6; L0/p6	
		Подшипники на крепительных втулках всех диаметров	$r6; r7$	L6/r6; L0/r6; L6/r7; L0/r7	
			$h8; h9$	—	

Продолжение таблицы 1.37

Вид нагружения кольца	Режим работы	Разновидности и размеры радиальных и радиально-упорных подшипников	Классы допусков	Рекомендуемые посадки	Примеры применения подшипниковых узлов
Местное	Легкий или нормальный $P \leq 0,07C$	Подшипники всех диаметров	$g6$	$L6/g6; L0/g6$	Ролики ленточных транспортеров, конвейеров, барабаны самописцев.
	Нормальный или тяжелый $0,07C < P \leq 0,15C$		$g6; h6; f7$	$L6/g6; L6/h6; L6/f7; L0/g6; L0/h6; L0/f7$	Передние и задние колеса автомобилей, валки малых прокатных станов
			$h6$	$L6/h6; L0/h6$	Блоки грузоподъемных машин, валки станов для прокатки труб
Колебательное	Нормальный или тяжелый $0,07C < P \leq 0,15C$		$JS5; K5; JS6; K6$	$JS5/12; K5/12; JS6/14; K6/14; JS6/15; K6/15$	Шпиндели шлифовальных станков, коленвалы двигателей
Посадки подшипников в корпусе (под наружное кольцо)					
Циркуляционное	Нормальный: $0,07 < P \leq 0,15C$	Для всех разновидностей	$JS7; K7$	$JS7/16; K7/16; JS7/10; K7/10$	Ролики ленточных транспортеров, барабанов комбайнов
	Нормальный или тяжелый: $0,07 < P \leq 0,15C$		$M7; n7$	$M7/16; N7/16; M7/10; N7/10$	Передние колеса машин и тягачей, ходовые колеса козловых и мостовых кранов
	Тяжелый при тонкостенных корпусах: $P > 0,15C$		$P6; P7$	$P6/15; P7/16; P7/10$	Колеса автомобилей, тракторов, ведущие барабаны гусеничных машин

Окончание таблицы 1.37

Вид нагружения кольца	Режим работы	Разновидности и размеры радиальных и радиально-упорных подшипников	Классы допусков	Рекомендуемые посадки	Примеры применения подшипниковых узлов
Местное	Легкий или нормальный $0,07C < P \leq 0,15C$		$H7; JS7$	$K7/16;$ $JS7/16;$ $H7/10; JS7/10$	Трансмиссионные валы, молотилки, машины бумажной промышленности
Колебательное	Нормальный или тяжелый: $0,07 < P \leq 0,15C$		$JS5; K5;$ $JS6; K6$	$JS5/12;$ $K5/12;$ $JS6/14;$ $K6/14;$ $JS6/15; K6/15$	Шпиндели шлифовальных станков, коленвалы двигателей

Примечание. Режим работы определяется в зависимости от интенсивности нагружения, основным критерием которой является динамическая эквивалентная нагрузка P , выраженная в долях динамической грузоподъемности C или P/C .

1.5.5.3 Условное обозначение посадок на чертежах

Обозначение посадок подшипников качения выполняется по аналогии с обычными посадками гладких цилиндрических сопряжений, т.е. в виде дроби. В соединении внутреннего кольца подшипника с валом в числителе указывают интервал допуска кольца подшипника $L0 \dots L2$, а в знаменателе класс допуска вала. Например, $L0/p6$, $L5/k5$, $L2/n4$ (рис. 1.64 а).

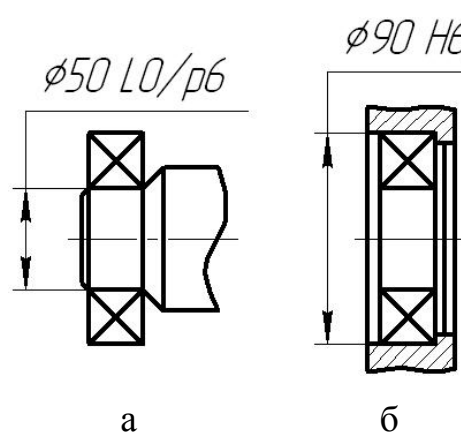


Рисунок 1.64 – Обозначения посадок с кольцами подшипников качения: а – посадка внутреннего кольца на вал, б – посадка наружного кольца в корпус

В соединении наружного кольца подшипника с отверстием в числителе указывают класс допуска отверстия, а в знаменателе – интервал допуска кольца подшипника $l_0 \dots l_2$. Например: $H6/l_0$, $H4/l_2$ (рис. 1.64 б).

1.5.6 Нормирование точности зубчатых колес и передач

1.5.6.1 Общие сведения, термины, определения и обозначения

Большинство зубчатых передач машин и механизмов в зависимости от назначения можно разделить на следующие группы: отсчётные, скоростные, силовые и передачи общего назначения.

Отсчётные передачи входят в состав точных кинематических цепей измерительных приборов (часы, индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые измерительные головки), счетно-решающих механизмов, следящих систем, делительных механизмов приспособлений, станков и т.п. Обычно эти передачи работают при малых нагрузках и низких скоростях. Основное эксплуатационное требование – высокая точность и согласованность углов поворота ведомого и ведущего колес, т.е. высокая кинематическая точность. Чаще всего это небольшие зубчатые колеса малого модуля с небольшой длиной зуба.

Скоростные передачи входят в состав кинематических цепей различных коробок передач, редукторов турбин, двигателей и т.п. Работают при высоких скоростях (свыше 150 м/с) и довольно больших мощностях. В этих условиях главное требование к зубчатой передаче – плавность работы, т.е. бесшумность и отсутствие вибраций. Безусловно, важна также полнота контакта зубьев. В основном это передачи с зубчатыми колесами средних размеров.

Силовые передачи работают в передаточных механизмах грузоподъемных, землеройных, строительных и дорожных машин, конвейеров, эскалаторов, механических валцов и т.п. Они передают большие усилия при небольших скоростях. Основное требование – полнота контакта зубьев, особенно по длине зуба. Обычно это колеса большого модуля, часто с большой длиной зуба.

Отдельную группу образуют *передачи общего назначения*, к которым не предъявляют повышенные эксплуатационные требования ни по одному из трех рассмотренных направлений.

В ГОСТе 1643-81 требования к точности цилиндрических зубчатых колес и передач разделены на четыре группы и названы нормами точности. Нормы точности на зубчатые колеса и передачи представляют собой комплекс требований к геометрическим и функциональным характеристикам зубчатого колеса и передачи для оценки их точности в

отношении определенного эксплуатационного признака. Нормами точности являются: нормы кинематической точности; нормы плавности работы; нормы контакта зубьев; нормы бокового зазора.

Нормы кинематической точности устанавливают требования к таким параметрам колеса и передачи, которые вызывают неточности передачи за полный оборот колеса, т.е. характеризуют погрешности угла поворота колеса по сравнению с расчетным.

Нормы плавности относятся к таким параметрам колес и передач, которые также влияют на кинематическую точность, но проявляются многократно за один оборот колеса, т. е. один или несколько раз на каждом зубе. Эти требования имеют наибольшее значение для передач, работающих на больших скоростях, поскольку такие погрешности являются источником ударов, приводящих к появлению шума и вибрации.

Нормы контакта устанавливают требования к таким параметрам колес и передач, которые определяют величину поверхности касания зубьев сопрягаемых колес. Требования к контакту имеют особо важное значение для передач, передающих большие нагрузки.

Нормы бокового зазора устанавливают требования к таким параметрам колес и передач, которые влияют на зазор по нерабочим профилям зубьев при соприкосновении по рабочим профилям зубьев. Эти нормы важны для передач, работающих в тяжелых температурных условиях, при большой загрязненности и для реверсивных передач.

Все геометрические показатели подразделяются на исходные показатели, которые назначаются, и основные параметры, которые рассчитываются на основе исходных параметров. К исходным параметрам относятся: модуль, число зубьев, угол наклона зубьев, коэффициент смещения, исходный контур.

К основным геометрическим параметрам зубчатых передач относятся межосевое расстояние, угол профиля, угол зацепления, делительный диаметр, передаточное число, диаметр вершин зубьев, диаметр впадин.

1.5.6.2 Показатели кинематической точности колес и передач

Кинематическая погрешность передачи $F_{к.п.п}$ – это разность между действительным φ_2 и номинальным (расчетным) φ_3 углами поворота ведомого зубчатого колеса передачи. Выражается в линейных единицах длиной дуги его делительной окружности (рис. 1.65).

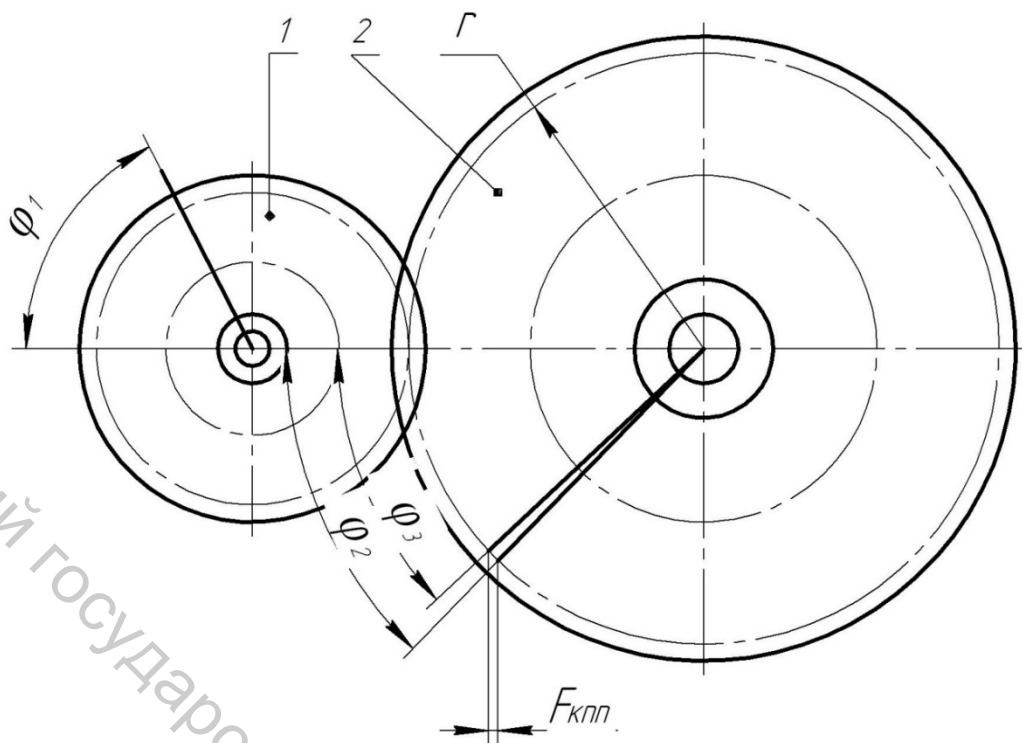


Рисунок 1.65 – Определение кинематической погрешности передачи:
 1, 2 – ведущее и ведомое зубчатые колеса соответственно; φ_1 , φ_2 – действительный угол поворота ведущего и ведомого зубчатых колес; φ_3 – номинальный угол поворота ведомого колеса

Кинематическая погрешность передачи определяется по формуле

$$F_{к.п.п} = (\varphi_2 - \varphi_3)r, \quad (1.35)$$

где r – радиус делительной окружности.

Кинематическая погрешность колеса $F_{к.п.к}$ – разность между действительным и номинальным (расчётным) углами поворота зубчатого колеса, ведомого измерительным зубчатым колесом при номинальном взаимном положении осей вращения этих колес. Под измерительным зубчатым колесом понимается зубчатое колесо повышенной точности, применяемое в качестве измерительного элемента для однопрофильного и двупрофильного методов контроля зубчатых колес.

Наибольшая кинематическая погрешность передачи F'_{ior} – это наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности передачи за полный цикл изменения относительного положения зубчатых колес (рис. 1.66 а). Полный цикл совершается в пределах числа оборотов большего зубчатого колеса, равного частному от деления числа зубьев меньшего зубчатого колеса на общий наибольший делитель числа зубьев обоих зубчатых колес передачи, т.е. на угол

$$\varphi_2 = 2\pi \frac{z}{x}. \quad (1.36)$$

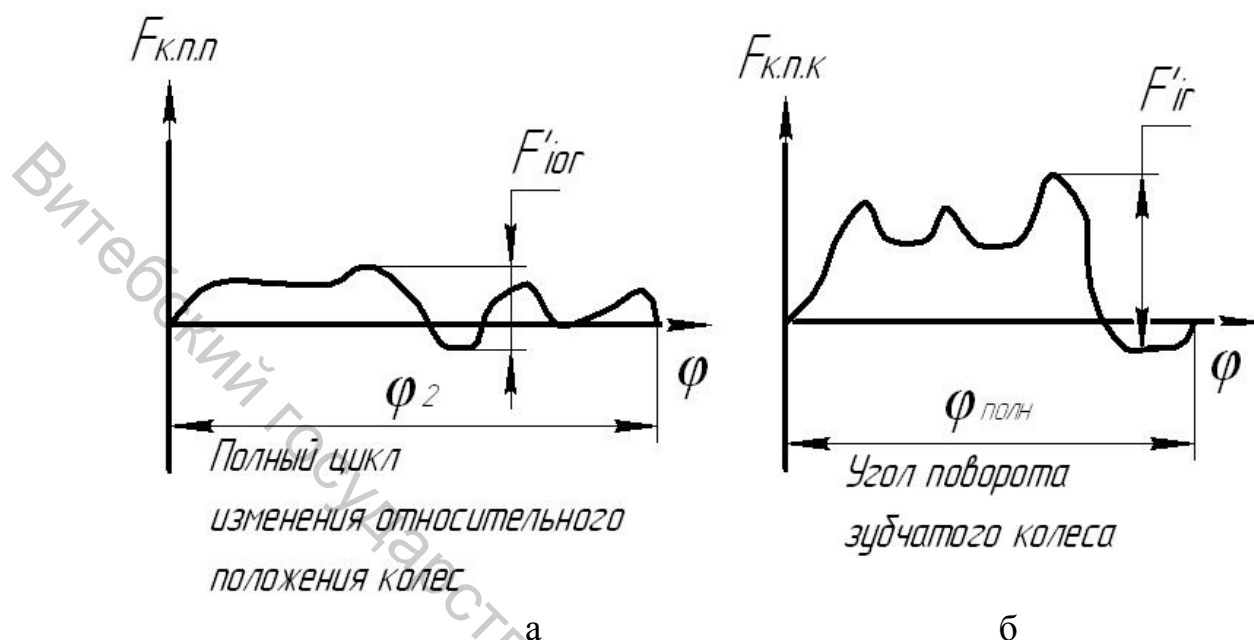


Рисунок 1.66 – Графические зависимости изменения кинематических погрешностей в зависимости от угла поворота: *а* – кинематической погрешности передачи, *б* – кинематической погрешности колеса

Наибольшая кинематическая погрешность колеса F'_{ir} – это наибольшая алгебраическая разность значений кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его полного оборота (рис. 1.66 б).

Накопленная погрешность шага зубчатого колеса F_{pr} – наибольшая алгебраическая разность значений накопленных погрешностей в пределах зубчатого колеса (рис. 1.67).

Накопленная погрешность k шагов F_{pk} – наибольшая разность дискретных значений кинематической погрешности зубчатого колеса при номинальном повороте на k целых угловых шагов (рис. 1.67):

$$F_{pkr} = \left(\varphi - \frac{2\pi}{z} k \right) r, \quad (1.37)$$

где φ – действительный угол поворота зубчатого колеса; $2\pi k/z$ – номинальный угол поворота ($k \geq 2$ – число целых шагов); r – радиус делительной окружности.

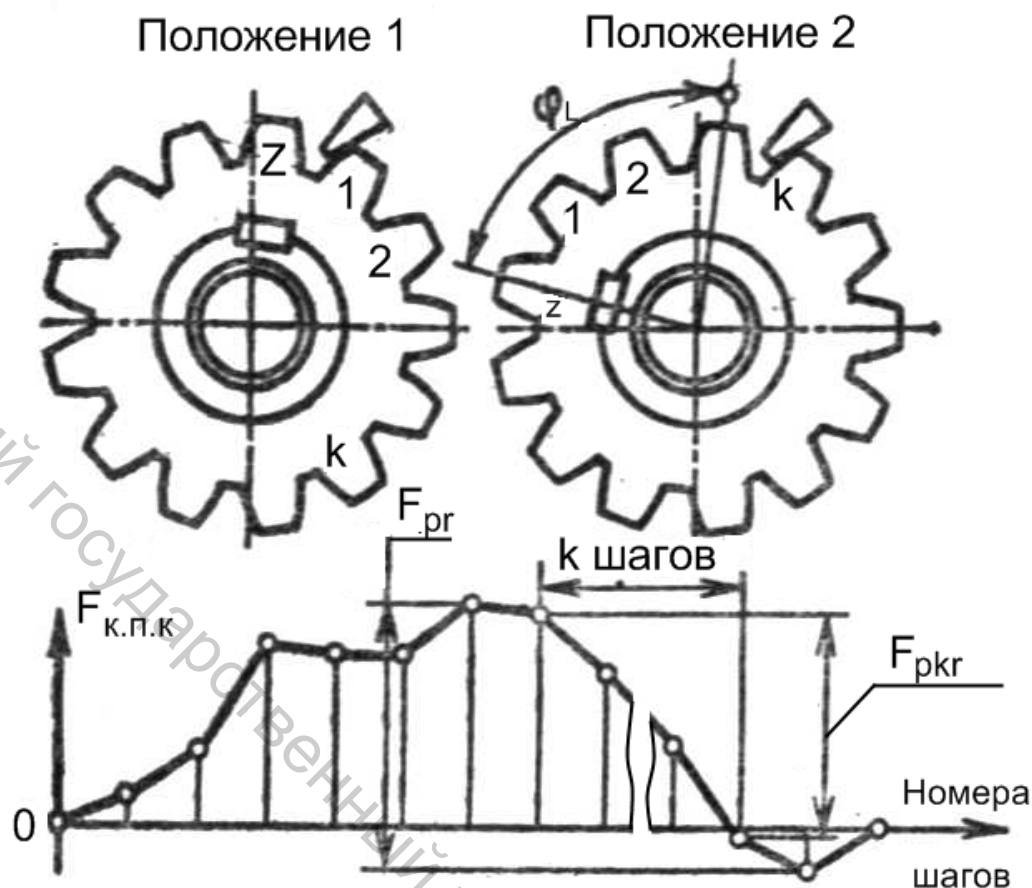


Рисунок 1.67 – Схемы для определения накопленной погрешности шага F_{pr} и накопленной погрешности k шагов F_{pkr}

Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} – разность действительных предельных положений исходного контура в пределах зубчатого колеса (от его рабочей оси). Практически F_{rr} определяется разностью расстояний от рабочей оси колеса до постоянных хорд S_c зубьев (рис. 1.68 а).

Длина общей нормали зубчатого колеса W – расстояние между двумя параллельными плоскостями, касательными к двум разноименным активным боковым поверхностям A и B зубьев колеса (рис. 1.68 б).

$$W = AB = CD \quad (1.38)$$

Колебания длины общей нормали F_{vwr} – это разность между наибольшим и наименьшим действительными значениями общей нормали, измеренными по всему колесу.

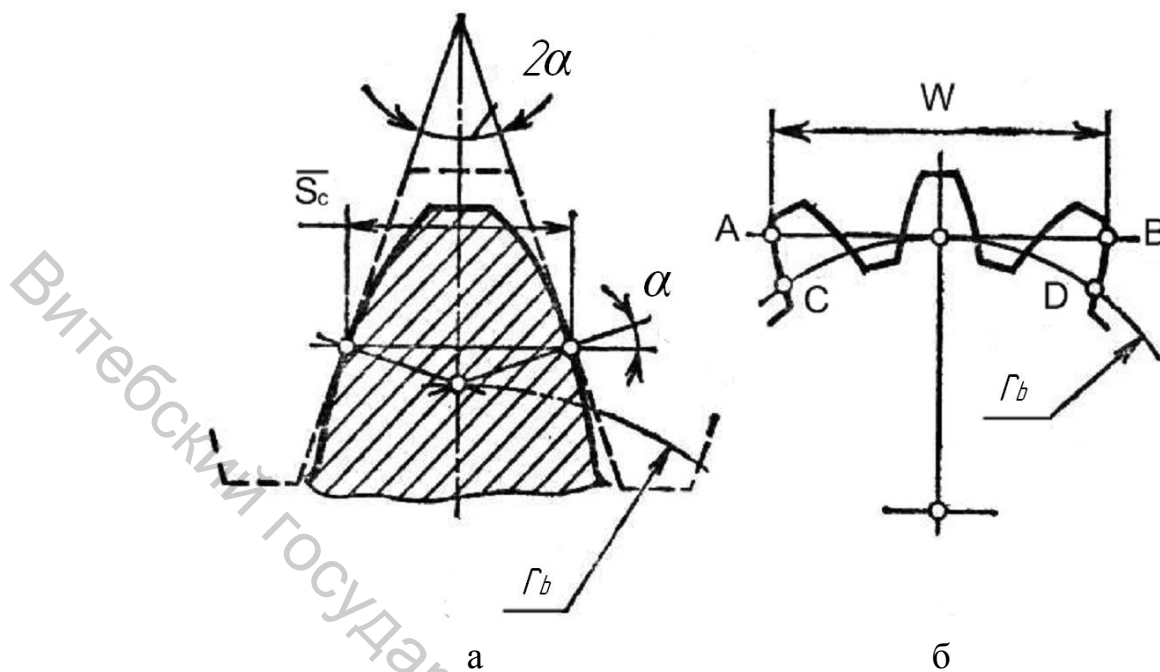


Рисунок 1.68 – Схемы для определения:
 a – постоянной хорды S_c ; b – длины общей нормали W

1.5.6.3 Показатели плавности работы колес и передач

Циклическая погрешность передачи f_{zkor} (колеса f_{zkr}) – это удвоенные амплитуды гармонических составляющих соответствующей погрешности передачи (рис. 1.69 а), колеса (рис. 1.69 б).

Местная кинематическая погрешность зубчатого колеса f'_{ir} – наибольшая разность между местными соседними экстремальными (минимальными и максимальными) значениями кинематической погрешности зубчатого колеса в пределах его оборота (рис. 1.70).

Отклонение шага f_{ptr} – дискретные значения кинематической погрешности зубчатого колеса при его повороте на один номинальный угловой шаг:

$$f_{ptr} = \left(\varphi - \frac{2\pi}{z} \right) r. \quad (1.39)$$

Отклонение шага зацепления f_{pbr} – разность между действительным и номинальным шагами зацепления (рис. 1.71).

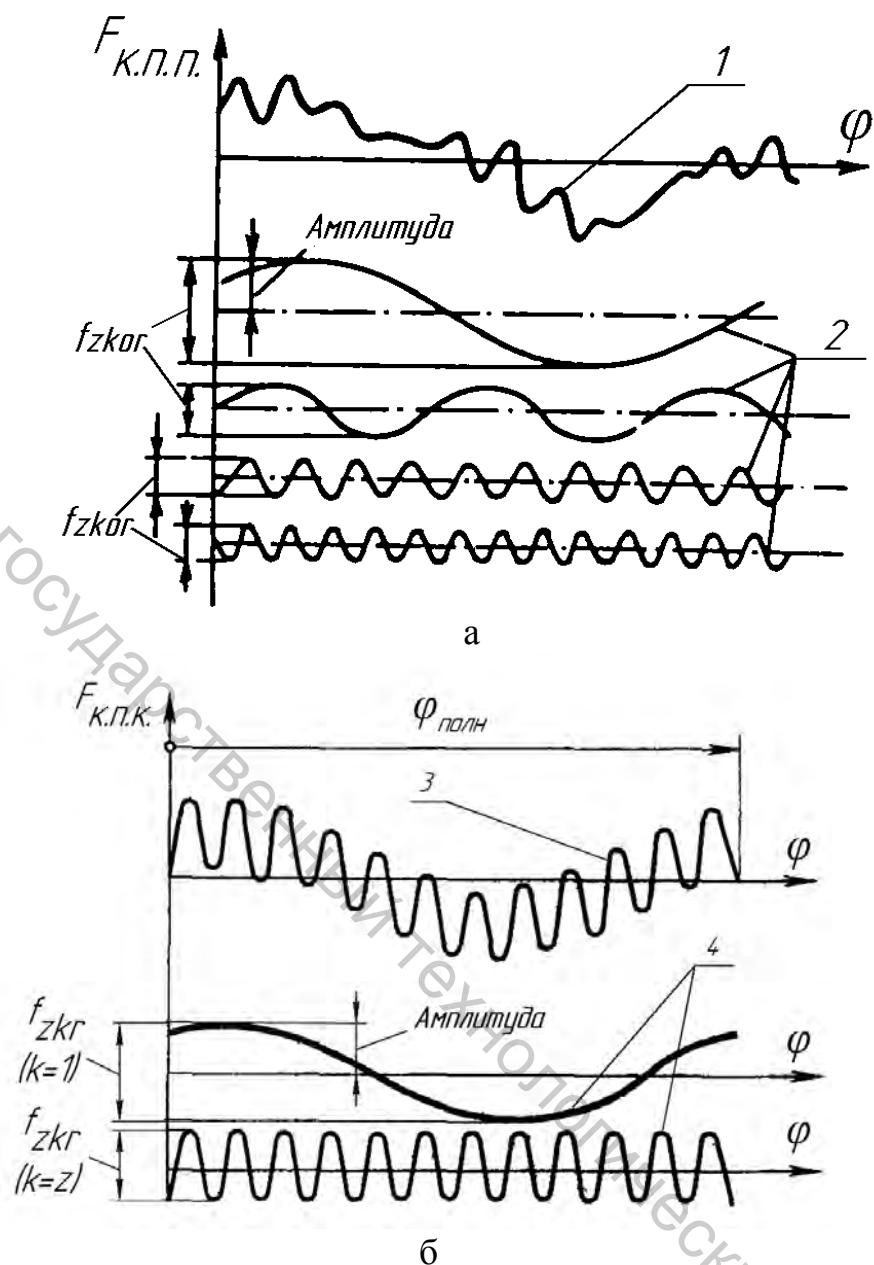


Рисунок 1.69 – Схемы для определения циклической погрешности:
 а – передачи, б – зубчатого колеса; 1 – кривая кинематической погрешности передачи; 2 – гармонические составляющие кинематической погрешности передачи при разных значениях частоты k ; 3 – кривая кинематической погрешности зубчатого колеса; 4 – гармонические составляющие кинематической погрешности зубчатого колеса при разных значениях частоты k

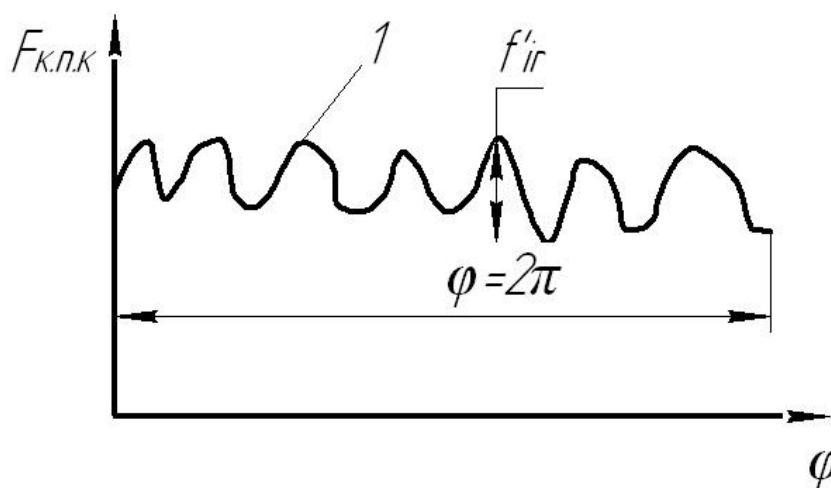


Рисунок 1.70 – Схема для определения местной кинематической погрешности колеса

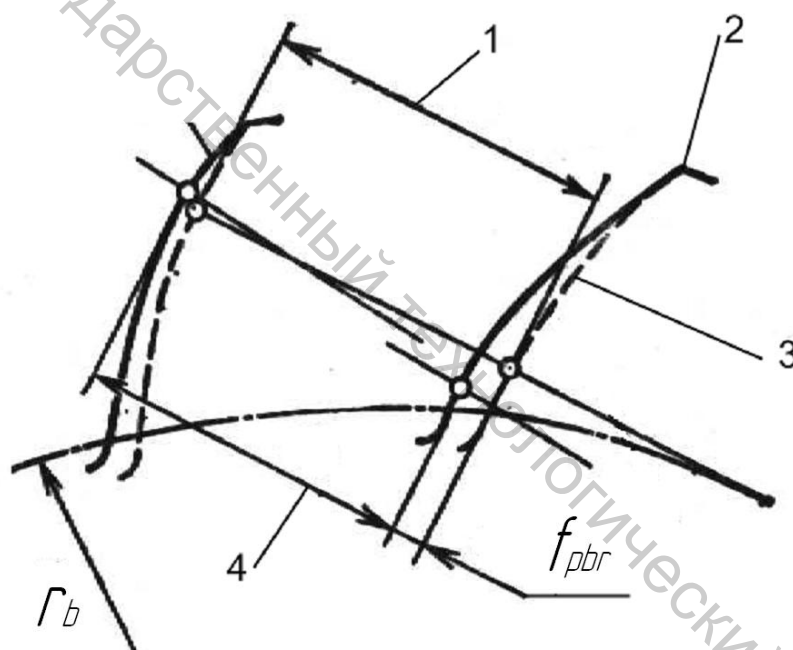


Рисунок 1.71 – Схемы для определения шага зацепления:
 1 – номинальный шаг зацепления; 2 – действительный профиль зуба;
 3 – номинальный профиль зуба; 4 – действительный шаг зацепления

Погрешность профиля зуба f_{fr} – расстояние по нормали между двумя ближайшими друг к другу номинальными торцовыми профилями зуба, между которыми размещается действительный торцовый активный профиль зуба зубчатого колеса (рис. 1.72).

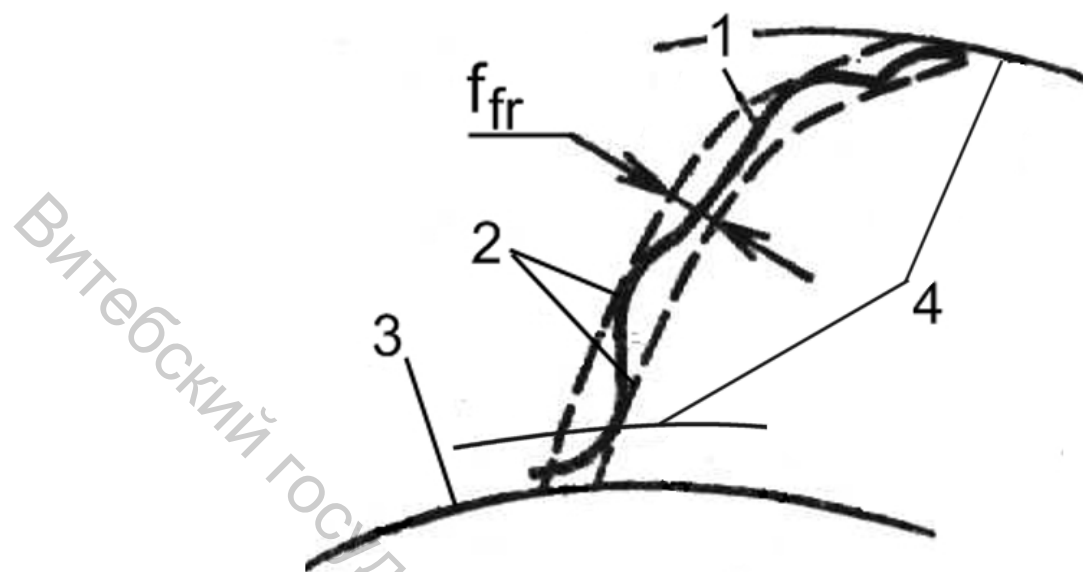


Рисунок 1.72 – Схема для определения погрешности профиля зуба
 1 – действительный торцовый профиль; 2 – номинальные торцовые
 профили; 3 – основная окружность; 4 – границы
 активного профиля зуба

1.5.6.4 Показатели контакта зубьев

Суммарное пятно контакта – это часть боковой поверхности зуба, на которой располагаются следы прилегания зубьев парного зубчатого колеса в собранной передаче после вращения под нагрузкой, устанавливаемой конструктором (рис. 1.73). Относительные размеры пятна контакта определяются в процентах по длине и высоте зуба:

по длине зуба

$$\frac{a - c}{b} \times 100\%; \quad (1.40)$$

по высоте зуба

$$\frac{h_m}{h_p} \times 100\%. \quad (1.41)$$

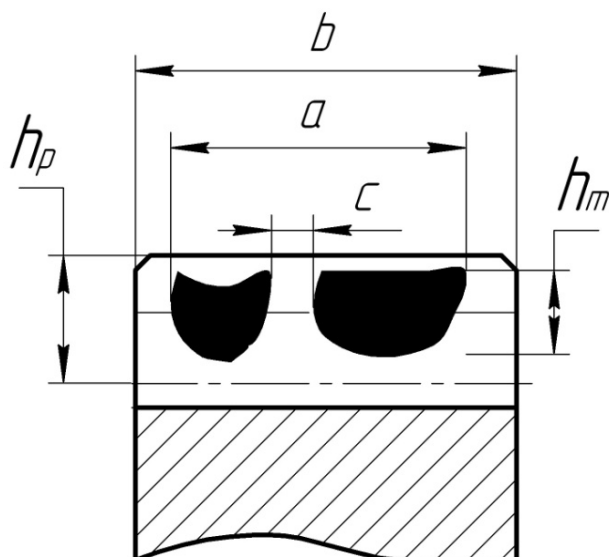


Рисунок 1.73 – Схема для определения относительных размеров пятна контакта: a – расстояние между крайними точками следов прилегания; c – суммарная величина разрывов; h_m – средняя по всей высоте зуба высота прилегания; h_p – высота зуба

Погрешность направления зуба F_{br} – расстояние между двумя ближайшими друг к другу делительными линиями зуба в торцевом сечении, между которыми размещается действительная делительная линия зуба, соответствующая рабочей ширине зубчатого венца (рис. 1.74).

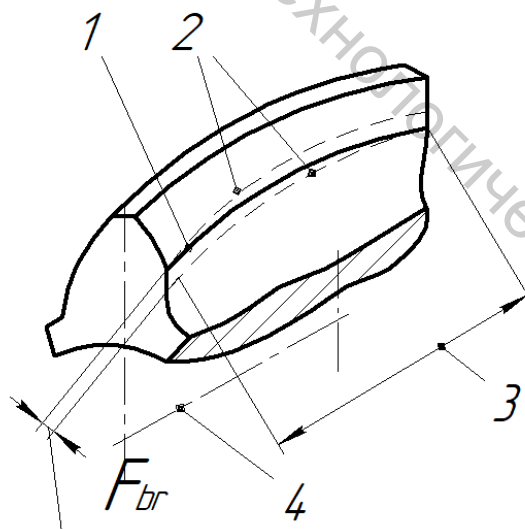


Рисунок 1.74 – Схема для определения погрешности направления зуба: 1 – действительная делительная линия (линия пересечения действительной боковой поверхности зуба с делительным цилиндром, ось которого совпадает с рабочей осью); 2 – номинальные делительные линии зуба, 3 – ширина рабочего венца; 4 – рабочая ось зубчатого колеса

1.5.6.5 Степени точности

Установлено 12 степеней точности зубчатых колес и передач, обозначаемых в порядке убывания точности числами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 (ГОСТ 1643-81). Для степеней точности 1 и 2 допуски и предельные отклонения не даны. Эти степени точности зарезервированы для будущего.

Для каждой степени точности зубчатых колес и передач установлены нормы кинематической точности, плавности работы и контакта зубьев (допускается комбинирование норм разных степеней точности). Поскольку между элементами зубчатых колес существуют зависимости, то при комбинировании нормы плавности работы зубчатых колес и передач могут быть не более чем на две степени точнее или на одну степень грубее норм кинематической точности, нормы контакта зубьев могут назначаться на любую степень более точными, чем нормы плавности работы зубчатых колес и передач, а также на одну степень грубее норм плавности.

В стандартах предусмотрено значительное число степеней точности, которые могут обеспечить точностные требования к разнообразным зубчатым колесам, от самых точных до грубых. Так, степени точности 3, 4 и 5, содержащие малые по значению допуски, уже нашли применение при изготовлении измерительных колес. При этом измерительные колеса 3-й степени служат для контроля колес 5-й и 6-й степеней точности, измерительные колеса 4-й степени точности – для контроля колес 7-й степени точности, измерительные колеса 5-й степени точности – для контроля колес 8-й и 9-й степеней точности.

Выбор степени точности зубчатого колеса зависит от окружной скорости, передаваемой мощности, требований к кинематической точности, плавности, бесшумности, долговечности и т.п.

Выбор степени точности изготовления параметров колеса можно выполнить следующими способами.

1. Расчетом:

а) степень точности кинематических параметров колеса можно определить кинематическим расчетом погрешностей всей передачи;

б) степень точности параметров плавности можно определить расчетом динамики передачи, вибраций и шумовых явлений;

в) степень точности параметров, характеризующих полноту контакта зубьев, можно найти расчетом на прочность и долговечность.

Соответствие полученных расчетом степеней точности условиям эксплуатации необходимо проверить на опытной партии зубчатых колес.

2. На зубчатые колеса можно перенести степень точности, установленную ранее для аналогичных зубчатых колес, работающих в каких-либо других действующих приборных устройствах и удовлетворяющих предъявляемым к ним эксплуатационным требованиям, аналогичным требованиям, предъявляемым к рассматриваемым зубчатым колесам. В этом случае проверка зубчатых колес не требуется (табл. 1.38).

Таблица 1.38 – Рекомендации по применению степеней точности

Степень точности	Окружная скорость, м/с	
	Прямозубые колеса	Непрямозубые колеса
3-я (особо прецизионные)	Св. 40	Св. 75
Зубчатые колеса для передач с особо прецизионной согласованностью вращения или работающих при особо высокой скорости и наибольшей плавностью: зубчатые колеса особо прецизионных механизмов, особо высокоскоростных турбинных передач, измерительные колеса для контроля колес 5-, 6-й степеней точности		
4-я (особо прецизионные)	Св. 35	Св. 70
Зубчатые колеса для особо прецизионных делительных механизмов или передач работающих при весьма высоких скоростях и требующие наибольшей плавности и бесшумности, зубчатые колеса особо прецизионных делительных механизмов, высокоскоростные передачи, измерительные колеса для контроля колес 7-й степени точности		
5-я (прецизионные)	Св. 20	Св. 40
Зубчатые колеса для прецизионных делительных механизмов, работающих при высоких скоростях, требующие высокой плавности и бесшумности: зубчатые колеса прецизионных механизмов, турбинных передач, измерительные колеса для контроля колес 8-, 9-й степеней точности		
6-я (высокоточные)	До 15	До 30
Зубчатые колеса для плавной работы на высоких скоростях, требующие наибольшего КПД и бесшумности, зубчатые колеса делительных механизмов, особо ответственные зубчатые колеса авиа- и машиностроения		
7-я (точные)	До 10	До 15
Зубчатые колеса при повышенных скоростях и умеренной мощности или наоборот: зубчатые колеса передач, где требуется согласованность движений, колеса скоростных редукторов авиа- и автостроения, передачи на устройства с отсчетом		
8-я (средней точности)	До 6	До 10
Зубчатые колеса общего машиностроения, не требующие особой точности, колеса передач станков, не входящие в делительные цепи, колеса грузоподъемных механизмов, зубчатые колеса сельскохозяйственных машин, зубчатые колеса нормальных редукторов		
9-я (пониженной точности)	До 2	До 4
Зубчатые колеса для плавной работы на высоких скоростях, требующие наиболее высокого КПД и бесшумности, зубчатые колеса для авиа- и автостроения		

1.5.6.6 Виды сопряжений зубьев в передаче

Для устранения возможного заклинивания при нагреве передачи, обеспечения условий протекания смазочного материала и ограничения мертвого хода при реверсировании отсчетных и делительных передач они должны иметь боковой зазор j_n (между нерабочими профилями зубьев сопряженных колес). Этот зазор необходим также для компенсации погрешностей изготовления и монтажа передачи и для устранения удара по нерабочим профилям, который может быть вызван разрывом контакта рабочих профилей вследствие динамических явлений.

Боковой зазор определяют в сечении, перпендикулярном к направлению зубьев, в плоскости, касательной к основным цилиндрам (рис. 1.75 а).

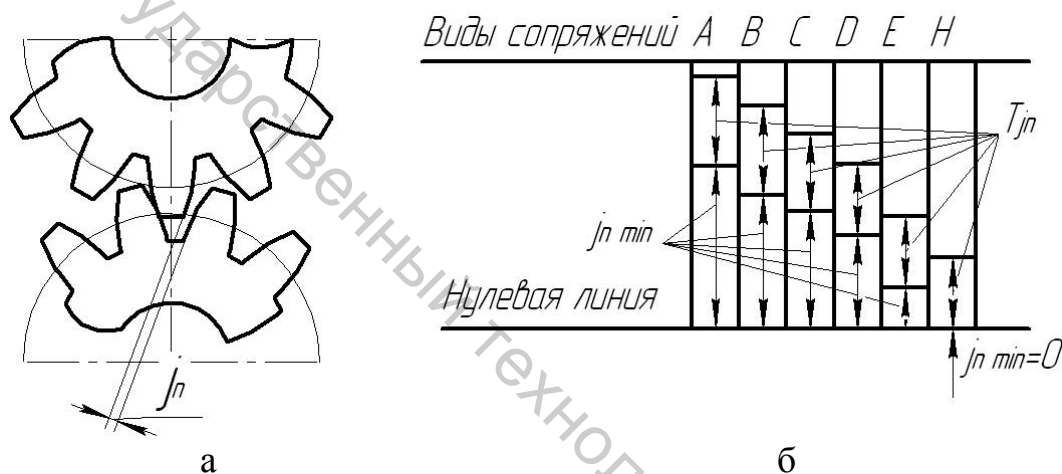


Рисунок 1.75 – Боковой зазор:

а – схема для определения,

б – виды расположения интервалов допусков T_{jn}

На боковой зазор установлен допуск T_{jn} , определяемый разностью между наибольшим и наименьшим зазором. По мере увеличения бокового зазора увеличивается допуск T_{jn} . Допуски на боковой зазор обозначаются буквами h, d, c, b, a, z, y, x в порядке возрастания допуска. ГОСТом 1643-81 предусмотрены виды сопряжений и соответствующие им виды допусков бокового зазора (табл. 1.39).

Установлены шесть классов отклонений межосевого расстояния, обозначаемые в порядке убывания точности I, II, III, IV, V, VI.

Гарантированный боковой зазор в каждом сопряжении обеспечивается при соблюдении предусмотренных классов отклонений межосевого расстояния: для сопряжений H и E – II класс; для сопряжений D, C, B и A – классы III, IV, V и VI соответственно.

Таблица 1.39 – Допуски бокового зазора

Модуль m , мм	Виды сопряжения	Вид допуска бокового зазора	Диапазон степеней точности по нормам плавности
$m < 1$	D	e	3–10 при $m \leq 0,5$ мм
	E	e	3–12 при $m > 0,5$ мм
	F	f	3–10
	G	g	3–8
	H	h	3–7
$m \geq 1$	A	a	3–12
	B	b	3–11
	C	c	3–9
	D	d	3–8
	E, H	h	3–7

1.5.6.7 Обозначение параметров зубчатых колес на чертежах

На поле чертежа в правом верхнем углу располагается таблица, содержащая необходимые данные для изготовления зубчатого колеса. В таблице указывается модуль, число зубьев, исходный контур, коэффициент смещения, условное обозначение норм точности, длина общей нормали, делительный диаметр. Примеры условного обозначения норм точности:

7– C , ГОСТ 1643-81– цилиндрическая передача со степенью точности 7 по всем трем нормам с видом сопряжения зубчатых колес C и видом допуска на боковой зазор c ;

8–7–6– Ba , ГОСТ 1643-81– цилиндрическая передача со степенью точности 8 по нормам кинематической точности, степенью 7 по нормам плавности, степенью 6 по нормам контакта зубьев, видом сопряжения B и видом допуска на боковой зазор a .

Допускается не назначать, а значит, и не контролировать степень точности на норму, не имеющую эксплуатационного значения. Если на одну из норм не задана степень точности, то на соответствующем месте обозначения точности вместо цифры ставится буква N , например 7 – N – 6 – Ba ;

7 – Ca/V , ГОСТ 1643-81 – цилиндрическая передача со степенью точности 7 по всем трем нормам с видом сопряжения C и видом допуска на боковой зазор a и классом отклонения межосевого расстояния V .

1.6 Размерные цепи

1.6.1 Общие сведения, термины и определения

При конструировании механизмов, машин, приборов и других изделий, проектировании технологических процессов, выборе средств и методов измерений возникает необходимость в проведении размерного анализа, с помощью которого достигается правильное соотношение взаимосвязанных размеров и определяются их допуски. Подобные геометрические расчеты выполняются с использованием теории размерных цепей.

Размерной цепью называется совокупность взаимосвязанных размеров, образующих замкнутый контур и определяющих взаимное положение поверхностей (или осей) одной или нескольких деталей. Замкнутость размерной цепи приводит к тому, что размеры, входящие в размерную цепь, не могут назначаться независимо, т.е. значение и точность, по крайней мере, одного из размеров определяются остальными. Размерная цепь состоит из отдельных звеньев.

Звеном называется каждый из размеров, образующих размерную цепь. Звеньями размерной цепи могут быть любые линейные или угловые параметры: диаметральные размеры, расстояния между поверхностями или осями, зазоры, натяги, перекрытия, мертвые ходы, отклонения формы и расположения поверхностей (осей) и т.д.

Любая размерная цепь имеет одно исходное (замыкающее) звено и два или более составляющих звеньев.

Исходным называется звено, к которому предъявляется основное требование точности, определяющее качество изделия в соответствии с техническими условиями. Понятие исходного звена используется при проектном расчете размерной цепи.

В процессе обработки или при сборке изделия исходное звено получается обычно последним, замыкая размерную цепь. В этом случае такое звено именуется *замыкающим*. Понятие замыкающего звена используется при проверочном расчете размерной цепи. Таким образом, замыкающее звено непосредственно не выполняется, а представляет собой результат выполнения (изготовления) всех остальных звеньев цепи.

Составляющими называются все остальные звенья, с изменением которых изменяется и замыкающее звено. Составляющие звенья размерной цепи разделяются на две группы. К первой группе относятся звенья, с увеличением которых (при прочих постоянных) увеличивается и замыкающее звено. Такие звенья называются *увеличивающими*. Ко второй группе относятся звенья, с увеличением которых замыкающее звено уменьшается. Такие звенья называются *уменьшающими*.

Размерные цепи классифицируются по ряду признаков (табл. 1.40). Один и тот же механизм и даже одна деталь могут иметь несколько размерных цепей, например, размерные цепи, определяющие зазор между полумуфтами или соосность валов привода (рис. 1.76). Звенья размерных цепей обозначают прописными буквами латинского алфавита A, B, C и т.д., с порядковыми цифровыми индексами.

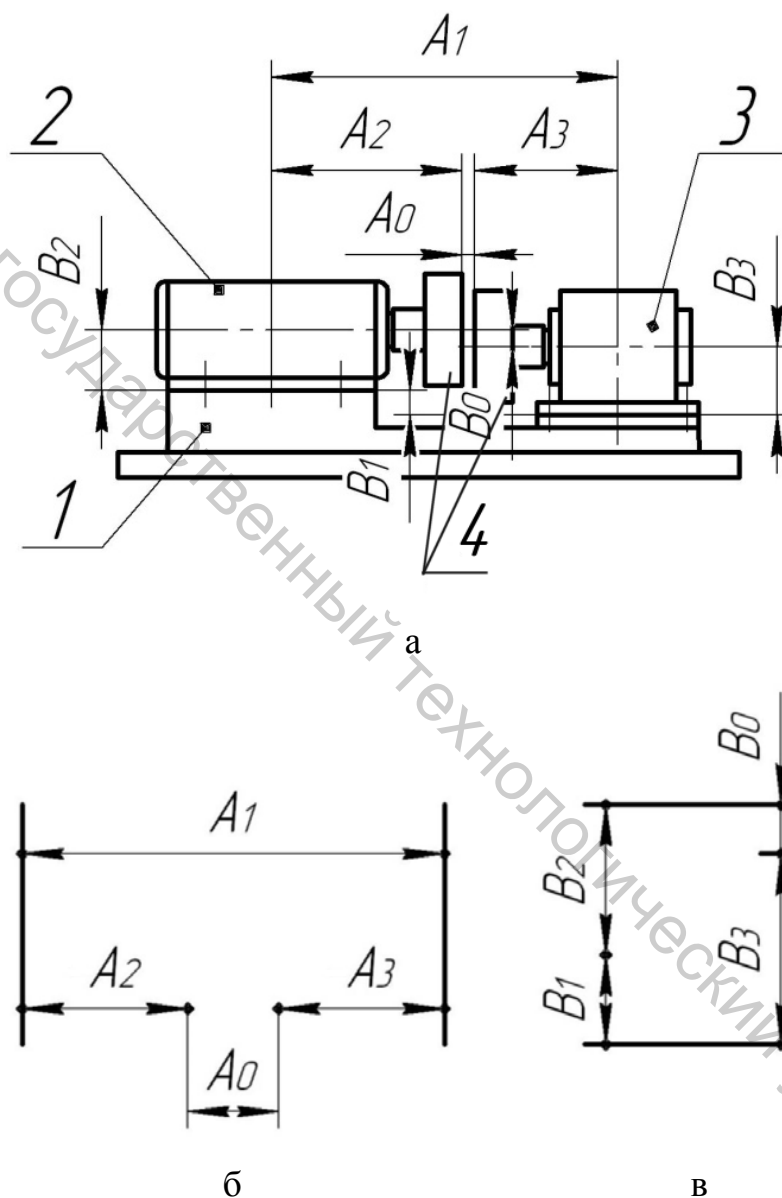


Рисунок 1.76 – Схемы размерных цепей:
 a – сборочный узел, $б, в$ – схемы; 1 – плита;
 2 – электродвигатель; 3 – редуктор; 4 – полумуфты

При проектировании и сборке данного привода возникают две основные конструкторские и технологические задачи.

1. Определение зазора A_0 (рис. 1.76 а, б) между полумуфтами электродвигателя 2 и редуктора 3, необходимого для компенсации осевых погрешностей расположения и тепловых деформаций валов этих механизмов.

2. Определение отклонения от соосности валов B_0 (рис. 1.76 в).

Горизонтальный зазор между полумуфтами A_0 , получающийся после установки на плите 1 механизмов 2 и 3, зависит от монтажных размеров A_1 , A_2 и A_3 ; с увеличением размера A_1 зазор увеличивается; с увеличением размеров A_2 и A_3 зазор уменьшается. Перечисленные размеры образуют замкнутый контур и величины их взаимосвязаны. Размеры A_1 , A_2 , A_3 и A_0 образуют размерную цепь; зазор A_0 в этой цепи является замыкающим, а остальные размеры составляющими (размер A_1 – увеличивающий, размеры A_2 и A_3 – уменьшающие).

Отклонение валов от соосности определяется замыкающим размером B_0 , последним в размерной цепи и зависящим от соотношения увеличивающих размеров B_1 и B_2 и уменьшающего размера B_3 (при условии $B_1 + B_2 > B_3$).

Таблица 1.40 – Классификация размерных цепей

Классификационный признак	Название размерной цепи	Назначение, характеристика
Область применения	Конструкторская	Решается задача обеспечения точности при конструировании изделий
	Технологическая	Решается задача обеспечения точности при изготовлении изделий
	Измерительная	Решается задача измерения величин, характеризующих точность изделий
Место в изделии	Детальная	Определяет точность относительного положения поверхностей или осей одной детали
	Сборочная	Определяет точность относительного положения поверхностей или осей деталей, входящих в сборочную единицу
Расположение звеньев и вид размера (линейный, угловой)	Линейная	Звенья цепи являются линейными размерами
	Угловая	Звенья цепи представляют собой угловые размеры, отклонения которых могут быть заданы в линейных величинах, отнесенных к условной длине, или в градусах
	Плоская	Звеньями цепи являются линейные и угловые размеры, расположенные в одной или нескольких параллельных плоскостях
	Пространственная	Звенья цепи расположены в непараллельных плоскостях

1.6.2 Цели расчета размерных цепей

Расчет размерных цепей является необходимым этапом конструирования, анализа точности производства и надежности эксплуатации широкого класса изделий (машин, механизмов, приборов, аппаратов и т.п.). С помощью теории размерных цепей могут быть решены следующие конструкторские, технологические и метрологические задачи.

1. Установление геометрических и кинематических связей между размерами деталей, расчет номинальных значений, отклонений и допусков размеров звеньев.

2. Расчет норм точности и разработка технических условий на машины и их составные части.

3. Анализ правильности простановки размеров и отклонений на рабочих чертежах деталей.

4. Расчет межоперационных размеров, припусков и допусков, пересчет конструктивных размеров в технологические (при несовпадении конструкторских и технологических баз).

5. Обоснование последовательности технологических операций при изготовлении и сборке изделий.

6. Обоснование и расчет необходимой точности приспособлений.

7. Выбор средств и методов измерений, расчет достижимой точности измерений.

Полный расчет размерных цепей выполняется в процессе разработки рабочего проекта машины, предварительные расчеты следует производить еще при конструктивной проработке технического проекта.

1.6.3 Методы расчета размерных цепей при обеспечении полной взаимозаменяемости (расчет на «максимум-минимум»)

При *полной взаимозаменяемости* требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается во всех случаях ее реализации без выбора, подбора или изменения значений замыкающих звеньев.

При расчете размерных цепей решаются две основные задачи.

1. По установленным размерам и допускам составляющих звеньев определяют номинальный и предельные размеры исходного звена, его допуск и предельные отклонения.

2. По установленным размерам, отклонениям и допуску исходного размера определяют предельные размеры, отклонения и допуски составляющих размеров.

Размерную цепь можно представить в виде замкнутого контура

(рис. 1.77). Номинальный размер замыкающего звена по условию замкнутости контура равен:

$$A_0 = \sum_{j=1}^n A_j^{yB} - \sum_{j=n+1}^{n+p} A_j^{yM}, \quad (1.42)$$

где n – число увеличивающих звеньев; p – число уменьшающих звеньев, $A_1 \dots A_n$ – увеличивающие звенья, $A_{n+1} \dots A_{n+p}$ – уменьшающие звенья.

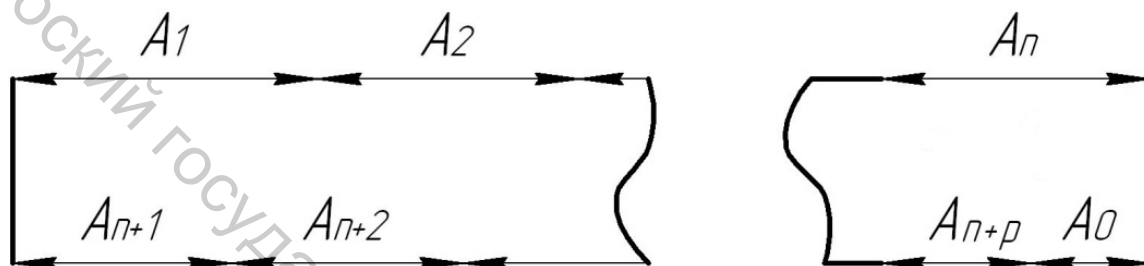


Рисунок 1.77 – Схема размерной цепи

Рассмотрим решение *первой задачи*. Предельные размеры замыкающего звена $A_{0 \max}$, $A_{0 \min}$ соответственно равны:

$$A_{0 \max} = \sum_{j=1}^n A_{j \max}^{yB} - \sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j \min}^{yM}, \quad (1.43)$$

$$A_{0 \min} = \sum_{j=1}^n A_{j \min}^{yB} - \sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j \max}^{yM}, \quad (1.44)$$

где $A_{j \max}^{yB}$, $A_{j \min}^{yB}$, $A_{j \max}^{yM}$, $A_{j \min}^{yM}$ – предельные размеры соответственно увеличивающих и уменьшающих звеньев.

Почленно вычитая из равенства (1.43) выражение (1.44), получим

$$A_{0 \max} - A_{0 \min} = \left(\sum_{j=1}^n A_{j \max}^{yB} - \sum_{j=1}^n A_{j \min}^{yB} \right) + \left(\sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j \max}^{yM} - \sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j \min}^{yM} \right),$$

при этом

$$A_{0 \max} - A_{0 \min} = TA_0;$$

$$\sum_{j=1}^n A_{j \max}^{yB} - \sum_{j=1}^n A_{j \min}^{yB} = \sum_{j=1}^n TA_j^{yB};$$

$$\sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j \max}^{yM} - \sum_{j=n+1}^{n+p} A_{j \min}^{yM} = \sum_{j=n+1}^{n+p} TA_j^{yM}.$$

Тогда

$$TA_0 = \sum_{j=1}^n TA_j^{yB} + \sum_{j=n+1}^{n+p} TA_j^{yM}. \quad (1.45)$$

Пусть m – общее число всех звеньев, включая и исходное. Тогда

$$m - 1 = n + p. \quad (1.46)$$

С учетом (1.46) выражение (1.45) примет вид:

$$TA_0 = \sum_{j=1}^{m-1} TA_j, \quad (1.47)$$

где TA_j – допуск j -го составляющего звена размерной цепи.

Таким образом, допуск исходного звена в линейных размерных цепях равен сумме допусков всех (увеличивающих и уменьшающих) звеньев.

Анализируя формулу (1.47), можно наметить основные пути повышения точности замыкающего звена:

- уменьшение допусков каждого из составляющих звеньев;
- сокращение числа звеньев размерной цепи.

Теперь рассмотрим *вторую задачу*. При решении второй задачи допуски составляющих размеров определяют по заданному допуску исходного размера TA_0 одним из следующих способов.

Способ равных допусков предполагает, что на составляющие размеры назначают примерно равные допуски, руководствуясь средним допуском:

$$TA_j = \frac{TA_0}{m - 1}. \quad (1.48)$$

По найденному значению TA_j устанавливают допуски на составляющие размеры, учитывая величину и ответственность каждого размера. При этом должны быть выполнены следующие условия:

- принятые допуски должны выбираться из таблицы стандартных допусков;
- сумма допусков составляющих размеров не должна превышать допуск исходного размера.

Способ равных допусков прост и дает хорошие результаты, если номинальные размеры составляющих звеньев размерной цепи находятся в одном интервале.

При *способе одного качества* на размеры всех составляющих звеньев назначают допуски по одному качеству с учетом номинальных размеров звеньев. Качество определяют по числу единиц допуска:

$$a = TA_0 / \sum_{j=1}^{m-1} i_j, \quad (1.49)$$

где i_j – единица допуска каждого составляющего звена.

По найденному числу единиц допуска a подбирают ближайший стандартный допуск (табл. 1.1), по которому назначают допуски составляющих звеньев. При этом сумма допусков составляющих звеньев по выбранному стандартному допуску не должна превышать допуск исходного звена.

1.6.4 Методы обеспечения точности замыкающих звеньев размерных цепей

Точность замыкающих звеньев размерных цепей может быть обеспечена следующими методами:

- методом полной взаимозаменяемости (рассмотрен в п. 1.6.3);
- методом неполной взаимозаменяемости (вероятностным методом расчета);
- методом групповой взаимозаменяемости (селективной сборки);
- методом пригонки и совместной обработки (технологическим);
- методом регулирования (конструкторским).

Вероятностный метод расчета (метод неполной взаимозаменяемости) позволяет решать те же задачи, что и расчет на максимум-минимум. При вероятностном методе расчета размерных цепей используются данные о законах распределения отклонений размеров в размерной цепи (закон нормального распределения, закон равной вероятности, закон треугольника), что позволяет расширить допуски составляющих

звеньев при небольшом риске нарушения размера замыкающего звена.

Основная трудность использования вероятностного метода заключается в невысокой достоверности сведений о законах распределения размеров цепи, которые не остаются постоянными в процессе работы.

Метод групповой взаимозаменяемости (селективная сборка) применяется для получения посадок с малыми допусками из числа деталей, сопрягаемые элементы которых изготовлены по относительно большому допуску.

Принцип групповой взаимозаменяемости заключается:

- в разделении изготовленных деталей на размерные группы по более узким допускам, чем допуск на изготовление;
- в использовании при сборке сочетания только определенной группы сопрягаемых деталей.

К достоинствам групповой взаимозаменяемости следует отнести возможность использовать увеличенные допуски на изготовление соединяемых деталей и получать сопряжения высокой точности (подшипники качения).

Основными недостатками групповой взаимозаменяемости являются необходимость контроля всех деталей, а также ограниченная заменяемость деталей.

Метод пригонки и совместной обработки (технологический). При единичном и мелкосерийном производстве крупных машин и механизмов осуществляется метод пригонки. Так, в станкостроении установка узлов на станину станка сопровождается дополнительной обработкой (шабрением) поверхности и проверкой степени прилегания сопрягаемых поверхностей «по краске». После изготовления перестановка узлов с одного станка на другой невозможна.

Совместная обработка предполагает обработку валов под размер заранее обработанного отверстия. После такой обработки на сборку поступает пара: вал и деталь с отверстием для образования определенного вида сопряжения (плунжерные пары).

Метод регулирования (конструкторский) предполагает достижение требуемой точности изменением (регулировкой) одного из звеньев, которое называется *компенсационным*. Оно предварительно изготавливается в соответствии с требуемыми размерами и легко подбирается после сборки остальных звеньев. Изменение размера компенсатора происходит без съема металла. Недостаток метода – необходимость дополнительных работ по подбору, установке и регулировке посредством компенсационных звеньев.

2 СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ РАЗМЕРОВ

2.1 Калибры для контроля цилиндрических отверстий и валов

2.1.1 Общие сведения

Контроль калибрами применяется в крупносерийном и массовом производстве для оценки годности деталей. В процессе контроля устанавливается нахождение контролируемого параметра в пределах или за пределами допуска. В соответствии с ГОСТом 24853-81 контроль калибрами распространяется на валы и отверстия с номинальными размерами до 500 мм с полями допусков качеств точности 6–17.

По условиям оценки годности деталей калибры делят на *нормальные* (шаблоны) и *предельные*. Нормальный калибр должен быть проходящим без приложения усилия, но и без зазора. При контроле нормальными калибрами годность проверяемых элементов оценивается на основании субъективных ощущений контролера.

Предельные калибры распределяют детали на три группы: годные, брак вследствие перехода за верхнюю границу допуска и брак вследствие перехода за нижнюю границу допуска.

По назначению предельные калибры подразделяются на рабочие, приемные и контрольные. *Рабочие* калибры предназначены для контроля деталей в процессе их изготовления, *приемные* калибры применяют при контроле готовых деталей, *контрольные* калибры (К-ПР, К-НЕ) предназначены для контроля новых гладких калибров, калибров-скоб или настройки регулируемых калибров-скоб, а так же для изъятия из эксплуатации рабочих калибров вследствие их износа (К-И).

Предельные калибры изготавливают попарно, один из них называют проходным (ПР), а другой непроходным (НЕ). Для внутренних измерений номинальный размер проходного калибра выполняют по нижнему, а непроходного – по верхнему предельным размерам. Для наружных измерений, наоборот, номинальный размер проходного калибра выполняют по верхнему, а непроходного – по нижнему предельным размерам (рис. 2.1).

Калибры-скобы могут быть нерегулируемыми и регулируемыми. Нерегулируемые (рис. 2.3, а–в) изготавливают на определенный номинальный размер и допуск. Регулируемые калибры-скобы (рис. 2.3, г) настраиваются на размер в пределах определенного интервала и по мере износа подстраиваются.

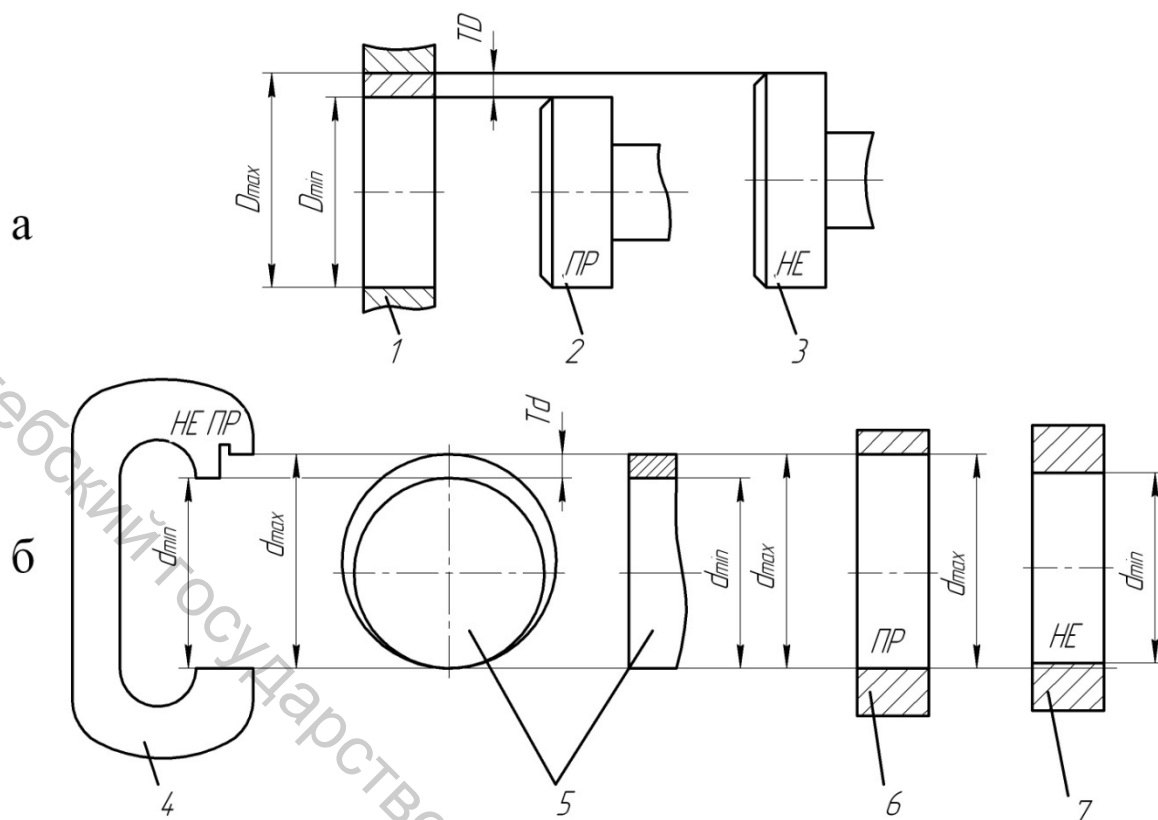


Рисунок 2.1 – Схемы расположения номинальных размеров рабочих предельных калибров для контроля: *а* – отверстия, *б* – вала; 1 – контролируемое отверстие; 2 и 3 – калибры-пробки, соответственно проходная и непроходная; 4 – калибр-скоба; 5 – контролируемый вал; 6 и 7 – проходной и непроходной калибры-кольца

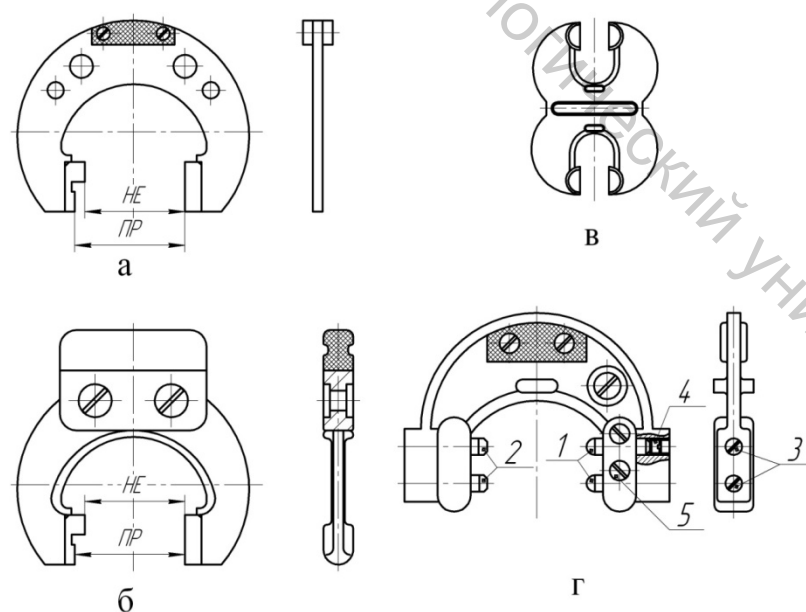


Рисунок 2.2 – Схемы конструкций калибров-скоб: *а, б* – односторонние, *в* – двухсторонняя, *г* – регулируемая; 1 – вставка; 2 – пятка; 3, 4, 5 – винты

Регулируемые калибры-скобы имеют две подвижные вставки 1 со сферическими поверхностями и две неподвижные пятки 2 с плоскими торцевыми поверхностями. Подвижные вставки закрепляются в корпусе винтами 5, а неподвижные пятки – винтами 3. Настройка на размер осуществляется перемещением винтов 4. По сравнению с нерегулируемыми калибрами они менее точны, а в процессе эксплуатации возможно смещение подвижных вставок. Поэтому рекомендуются для контроля размеров с допусками грубее качества точности 8.

На рисунке 2.3 представлены наиболее распространенные виды стандартных калибров-пробок (ГОСТ 24851-81): двухсторонние (а, б), односторонние (в–е), полные (а–г), неполные (д, е).

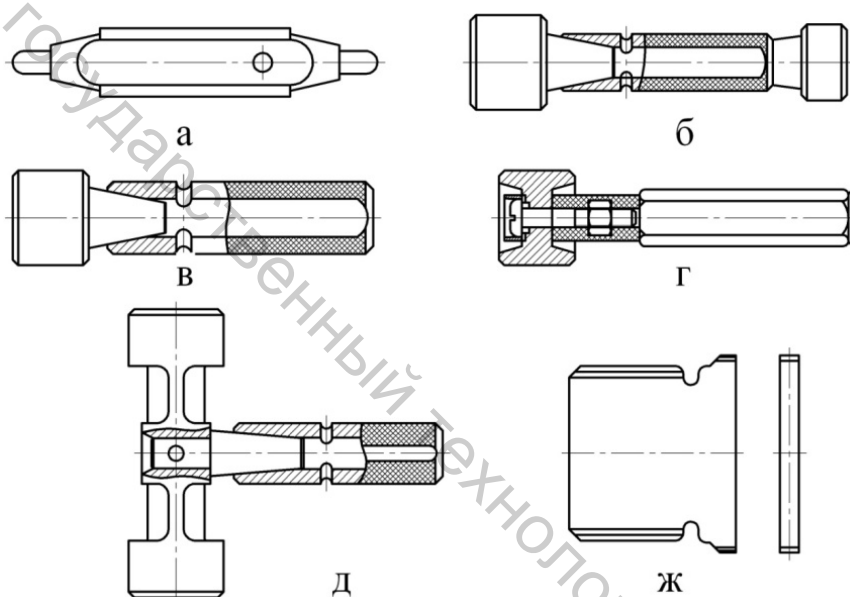


Рисунок 2.3 – Схемы конструкций калибров-пробок:
а – с цилиндрическими вставками; б, в – с коническими вставками; г – с цилиндрической насадкой; д – штампованная;
ж – листовая

Двухсторонние калибры-пробки предназначены для контроля отверстий по двум предельным размерам. Однако с увеличением номинальных размеров отверстий увеличиваются размеры и масса калибров-пробок, что приводит к погрешностям контроля и физической усталости оператора. Поэтому контроль отверстий увеличенных размеров производится двумя калибрами-пробками. При этом возрастает продолжительность контроля и общее количество калибров-пробок.

С целью снижения до минимума массы инструмента односторонние калибры-пробки выполняются неполными. Контакт неполных калибров-пробок с контролируемыми отверстиями осуществляется по двум диаметрально расположенным частям поверхности. В процессе

контроля односторонние неполные калибры-пробки поворачиваются вокруг оси отверстия на полный оборот. Это позволяет оценивать годность отверстия по всей поверхности.

2.1.2 Расчёт предельных калибров для контроля отверстий и валов

На рисунке 2.4 в соответствии с ГОСТом 24853-81 представлены схемы расположения интервалов допусков гладких предельных калибров для контроля отверстий и валов квалитетов 6–8 диаметром до 180 мм и свыше 180 мм до 500 мм.

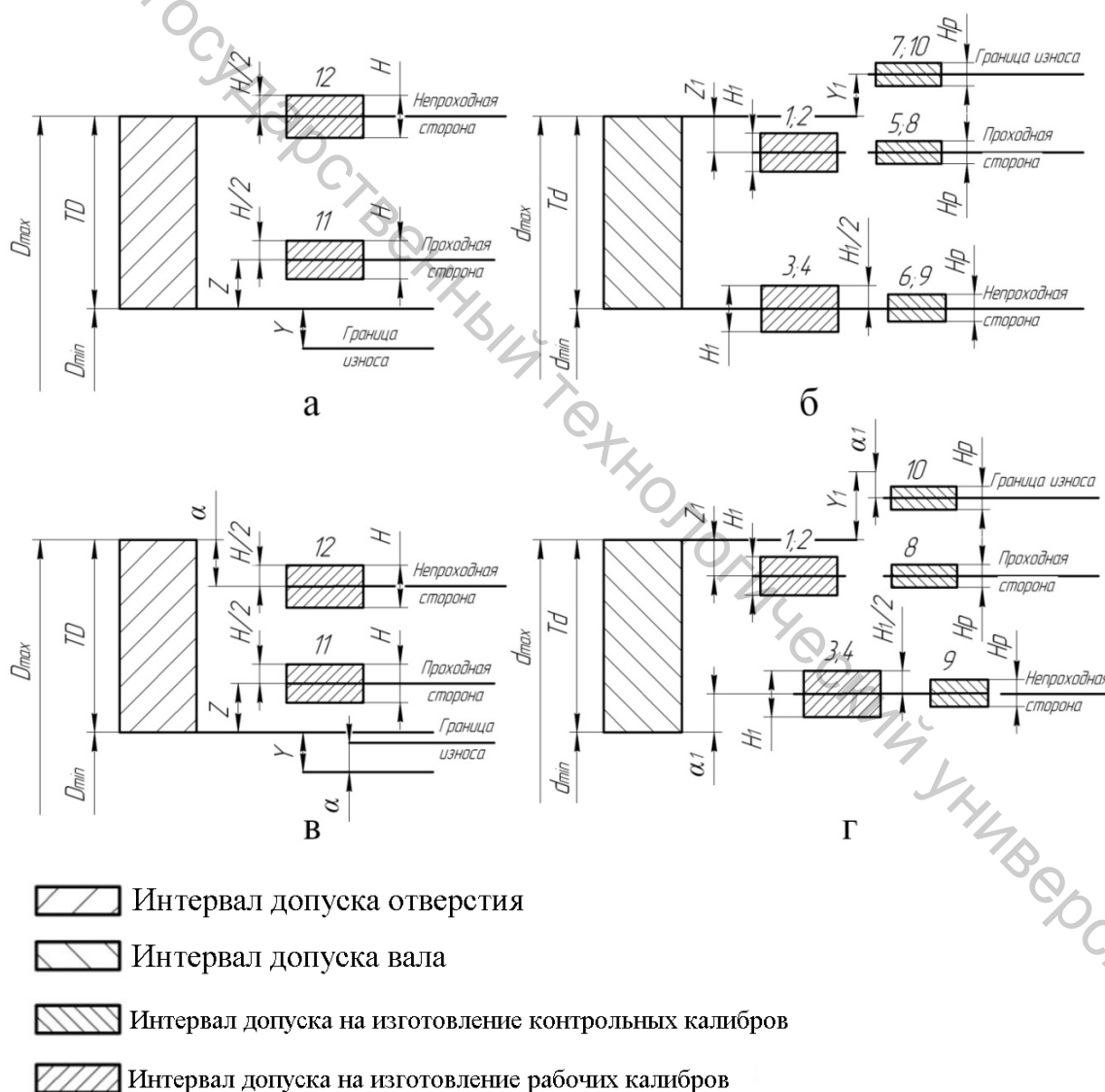


Рисунок 2.4 – Схемы расположения интервалов допусков калибров для контроля отверстий: а – $D \leq 180$ мм, в – $180 < D \leq 500$ мм; для контроля валов: б – $d \leq 180$ мм, г – $180 < d \leq 500$ мм

Здесь обозначены: D_{min} , D_{max} , d_{min} , d_{max} – предельные размеры отверстий и валов; T_D , T_d – допуски отверстий и валов; H – допуск на изготовление калибров (за исключением калибров со сферическими измерительными поверхностями) для отверстия; H_1 – допуск на изготовление калибров для вала; H_p – допуск на изготовление контрольного калибра для скобы; Z – отклонение середины интервала допуска на изготовление проходного калибра для отверстия относительно нижнего предельного размера изделия; Z_1 – отклонение середины интервала допуска на изготовление проходного калибра для вала относительно верхнего предельного размера изделия; Y – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для отверстия за границу интервала допуска изделия; Y_1 – допустимый выход размера изношенного проходного калибра для вала за границу интервала допуска изделия; α – величина для компенсации погрешности контроля калибрами отверстий с размерами свыше 180 мм; α_1 – величина для компенсации погрешности контроля калибрами валов с размерами свыше 180 мм.

Расположения интервалов допусков калибров задаются относительно предельных размеров контролируемых элементов. Для отверстий и валов $D \leq 180$ мм ($d \leq 180$ мм) интервалы допусков непроходных калибров располагаются симметрично относительно D_{max} и d_{min} .

Интервалы допусков проходных калибров располагаются внутри интервалов допусков контролируемых изделий; их положение определяется координатой Z (калибры ПР для контроля отверстий) и Z_1 (калибры ПР для контроля валов). Для отверстий и валов $180 < D \leq 500$ мм ($180 < d \leq 500$ мм) интервалы допусков непроходных калибров смещаются внутри интервалов допусков контролируемых изделий; их положение определяется координатой α (калибр НЕ для контролируемого отверстия) и α_1 (калибр НЕ для контролируемых валов).

Проходные калибры в процессе эксплуатации изнашиваются, поэтому для них предусмотрена граница износа, по достижению которой калибр должен изыматься из применения. Граница износа располагается на расстоянии Y от проходного предела отверстия и на расстоянии Y_1 от проходного предела вала.

Исполнительные размеры гладких калибров рассчитывают по формулам, приведенным в таблице 2.1.

На чертеже скобы проставляют нижний предельный размер с положительными отклонениями. На чертеже пробки и контрольного калибра проставляют верхний предельный размер с отрицательными отклонениями.

Применение контрольных калибров вносит искажение в установленные интервалы допусков рабочих калибров. Поэтому целесообразно контрольные калибры заменять концевыми мерами или использовать универсальные измерительные приборы.

Таблица 2.1 – Формулы для определения исполнительных размеров калибров (ГОСТ 24853-81)

Калибр		Номинальный размер изделия, мм							
		До 180				От 180 до 500			
		Рабочий калибр		Контрольный калибр		Рабочий калибр		Контрольный калибр	
		Размер	Допуск	Размер	Допуск	Размер	Допуск	Размер	Допуск
Для отверстия	Проходная сторона новая	$D_{min} + Z$	$\pm H/2$	-	-	$D_{min} + Z$	$\pm H/2$ или $\pm H_1/2$	-	-
	Проходная сторона изношенная	$D_{min} - Y$	-	-	-	$D_{min} - Y + \alpha$	-	-	-
	Непроходная сторона	D_{min}	$\pm H/2$ или $\pm H_1/2$	-	-	$D_{max} - \alpha$	$\pm H/2$ или $\pm H_1/2$	-	-
Для вала	Проходная сторона новая	$D_{min} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{min} - Z_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$	$D_{max} - Z_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{max} - Z_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
	Проходная сторона изношенная	$D_{max} + Y_1$	-	$D_{max} + Y_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$	$D_{max} + Y_1 - \alpha_1$	-	$D_{max} + Y_1 - \alpha_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$
	Непроходная сторона	D_{min}	$\pm \frac{H_1}{2}$	D_{min}	$\pm \frac{H_p}{2}$	$D_{max} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_1}{2}$	$D_{max} + \alpha_1$	$\pm \frac{H_p}{2}$

Таблица 2.2 – Допуски гладких рабочих калибров для отверстий и валов размерами до 500 мм (ГОСТ 24853-81),

МКМ

Квалитет	Обозначения	Интервалы размеров, мм													Допуск на форму калибра
		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500	
6	Z	1	1,5	1,5	2	2	2,5	2,5	3	4	5	6	7	8	IT1 IT2
	Y	1	1	1	1,5	1,5	2	2	3	3	4	5	6	7	
	$\alpha; \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	3	4	5	
	Z_1	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11	
	Y_1	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	5	6	6	7	
	$H; H_3$	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10	
	H_1	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	
7	$Z; Z_1$	1,5	2	2	2,5	3	3,5	4	5	6	7	8	10	11	
	$Y; Y_1$	1,5	1,5	1,5	2	3	3	3	4	4	6	7	8	9	
	$\alpha; \alpha_1$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	4	6	7	
	$H; H_1$	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15	
	H_3	-	-	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10	

В соответствии с требованиями ГОСТа 2015-84 на каждом калибре должны быть указаны (рис. 2.5) контролируемый номинальный размер, класс допуска, числовые значения и знаки верхнего и нижнего отклонений, назначение калибра (ПР, НЕ, К-НЕ, К-ПР, и К-И) и товарный знак предприятия-изготовителя.

Допуски и отклонения калибров должны соответствовать указанным в таблице 2.2.

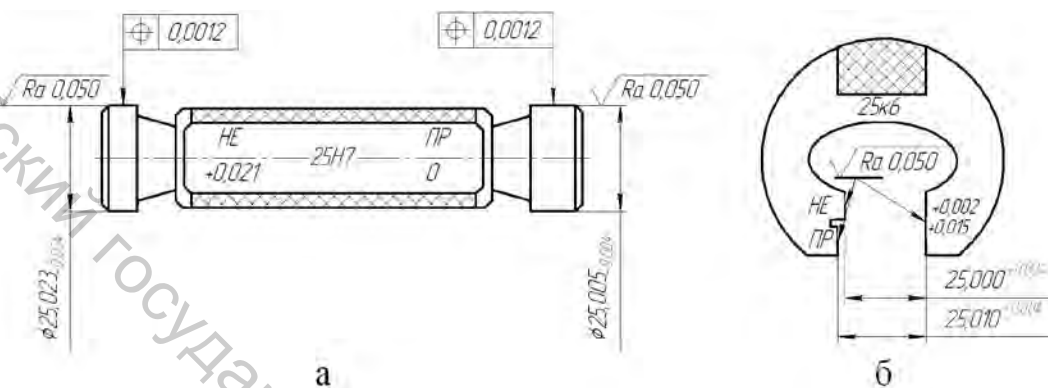


Рисунок 2.5 – Размеры, шероховатость и маркировка:

a – калибра-пробки 25H7, *б* – калибра-скобы 25k6

2.2 Калибры для контроля конических отверстий и валов

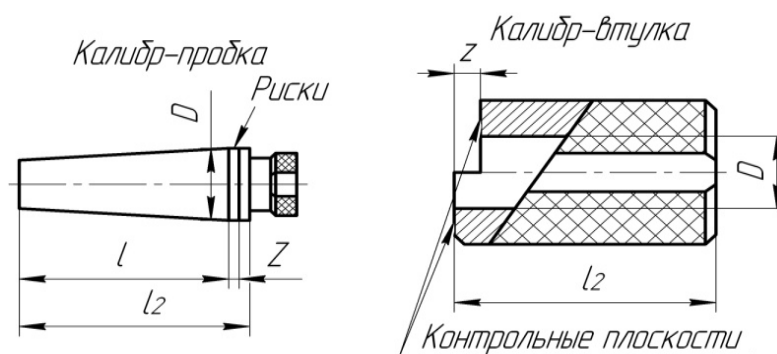
Комплект калибров для контроля конических отверстий и валов состоит из рабочих калибров (пробки и втулки) и калибров, применяемых для контроля рабочих калибров. Рабочие калибры изготавливают двух типов (рис. 2.6): 1 – без лапок; 2 – с лапками. Калибры типа 1 предназначены для контроля конусов инструментов без лапок, а калибры типа 2 – конусов с лапками.

Калибры-пробки представляют наружные конусы с рукояткой. На конической части калибра имеются две риски. Риска, обращена к малому диаметру конуса, нанесена по базовому диаметру D . Вторая риска соответствует предельному значению этого диаметра. Расстояние между двумя рисками Z должно соответствовать допускаемому изменению базового расстояния.

Калибры-втулки являются втулками с внутренними конусами, на наружной цилиндрической поверхности которых имеется накатка. Калибр-втулка типа 1 имеет уступ размером Z . При контроле конус инструмента своим торцом должен располагаться между торцом калибра и торцом уступа. Калибр-втулка типа 2 отличается от калибра-втулки типа 1 наличием лапки, на срезанной части которой нанесены две риски. При контроле лапка

конуса инструмента должна располагаться между рисками, нанесенными на лапке калибра.

Тип 1



Тип 2

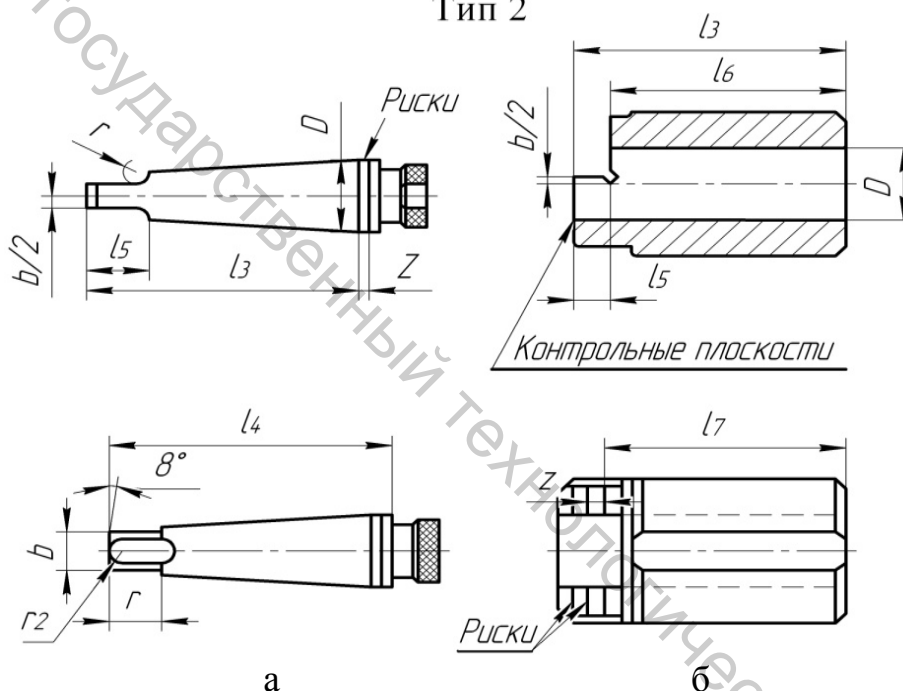


Рисунок 2.6 – Конусные калибры:

а – калибры-пробки, *б* – калибры-втулки

Комплект калибров для конусов 4-й и 5-й степеней точности (с допусками АТ4 и АТ5) должен состоять из калибра-пробки и калибра-втулки; для конусов 6, 7 и 8-й степеней (с допусками АТ6, АТ7, АТ8) – из калибра-пробки, калибра-втулки и контрольного калибра-пробки. Характеристики калибров типов 1 и 2 приведены в таблицах 2.3 и 2.4.

Допуски формы конических поверхностей калибров должны соответствовать указанным в таблице 2.5.

Таблица 2.3 – Рабочие калибры-пробки типа 1 для внутренних конусов (ГОСТ 2849-94), мм

Обозначение конусов		Длина измерения угла конуса	Предельные отклонения угла конуса, мкм, на длине конуса для конусов степеней точности				D		l h_{12}	l_2
			4; 5	6	7	8	Номинальный	Предельное отклонение		
Метрические	4	25	±1	-3	-5	-8	4	+0,005	24	26
	6	35		-4	-6	-10	6		33	36
Морзе	0	49	±1,2	-4	-6	-10	9,045	+0,006	51	54
	1	52					12,065	+0,008	54,5	58
	2	64					17,780		65	70
	3	79	±1,5	-5	-8	-12	23,825	+0,009	82,1	87,1
	4	100	±2	-6	-10	-16	31,267	+0,011	103,8	110,3
	5	126					44,399		130,9	137,4
	6	174					63,348	+0,013	183,5	191,5

Примечание. Таблица приведена в сокращенном варианте.

Таблица 2.4 – Рабочие калибры-втулки типов 1 и 2 для наружных конусов (ГОСТ 2849-94), мм

Обозначение конусов		Длина измерения угла конуса	Предельные отклонения угла конуса мкм, на длине конуса для конусов степеней точности				D	l ±0,05	l ₁ h10	h/2		l ₂ h10	l ₅ , не более	l ₆	l ₇ h10
			4; 5	6	7	8				Номин.	Пред. откл.				
Морзе	0	49	±1,2	+4	+6	+10	9,045	1,2	50	2	±0,012	56,5	10,5	46	50
	1	52					12,065	1,4	53,5	2,65		62	13,5	48,5	53,5
	2	64					17,780		64	3,2	±0,015	75	16	59	65
	3	79	±1,5	+5	+8	+12	23,825	1,6	81	4		94	20	74	81
	4	100					31,825	2,0	102,5	6	117,5	24	93,5	101	
	5	126	±2	+6	+10	+16	44,399		129,5	8	±0,018	149,5	29	120,5	130
	6	174					63,348	2,4	182	9,55	210	40	170	183	
Метрические	80	180	±2	+6	+10	+16	80	2,4	196	13,05	±0,021	220	48	172	196
	100	212	±2,5	+8	+12	+20	100	2,8	232	16,05		260	58	202	232
	120	244	±3	+10	+16	+25	120		268	19,05	±0,026	300	68	232	268
	160	308					160	3,2	340	25,05		380	88	292	340
	200	372	±4	+12	+20	+30	180	3,6	412	31,05	±0,031	460	108	352	412

Примечание. Таблица приведена в сокращенном варианте.

Таблица 2.5 – Допуски формы (ГОСТ 2849-94)

Обозначение конусов		Допуск прямолинейности образующей, мкм				Допуск круглости, мкм			
		Для конусов степеней точности							
		4; 5	6	7	8	4; 5	6	7	8
Метрические	4	0,5	0,6	1,0	1,6	0,6	1,0	1,6	2,5
	6	0,6	0,8	1,2	2,0	0,6	1,0	1,6	2,5
Морзе	0; 1	0,6	1,0	1,6	2,5	0,8	1,2	2,0	3,0
	2	0,8	1,2	2,0	3,0	0,8	1,2	2,0	3,0
	3; 4	0,8	1,2	2,0	3,0	1,0	1,6	2,5	4,0
	5	1,0	1,6	2,5	4,0	1,0	1,6	2,5	4,0
	6	1,2	2,0	3,0	5,0	1,2	2,0	3,0	5,0
Примечание. Таблица приведена в сокращенном варианте.									

Примечание. Таблица приведена в сокращенном варианте.

При проверке рабочих калибров контрольными калибрами калибр-втулка должен припасовываться к парному с ним контрольному калибру-пробке по краске (ГОСТ 20305-94). Толщина слоя краски при контроле припасовки калибров не должна превышать 2–3 мкм (для изделий степеней точности АТ6, АТ7) или 3–5 мкм (для изделий степени точности АТ8). Рекомендуется применять типографскую краску, которая помещается в тампон из четырех слоев марли. Краску равномерно наносят на поверхность контрольного калибра-пробки.

Калибр сопрягают с проверяемым конусом. Поворотом калибра не более чем на 1/4 оборота при нажатии вдоль оси добиваются того, что краска растирается в местах плотного прилегания сопрягаемых поверхностей, образуя пятно контакта. Величина пятна контакта припасованных поверхностей должна быть не менее 90 %.

Калибр-втулка считается предельно изношенным, если расстояние между его торцом и передним краем первой риски на контрольном калибре-пробке достигает 20 % расстояния Z между рисками на пробке.

Маркировка калибров. На каждом калибре указывают: обозначение конуса (например, Морзе 4, Метр. 80), степень точности изделия (например АТ6), для контрольного калибра дополнительно указывают букву К, порядковый номер калибра, товарный знак изготовителя и дату выпуска.

Пример условного обозначения конуса Морзе 3 степени точности АТ8: *Морзе 3 АТ8 ГОСТ 25557-82.*

То же для метрического конуса 60 степени точности АТ7: *Метр. 60 АТ7 ГОСТ 25557-82.*

То же для контрольного калибра конуса 60 степени точности 6: *Метр. 60 – КАТ6 – ГОСТ 20305-94.*

2.3 Калибры для контроля цилиндрических резьб

Основным методом контроля параметров наружной и внутренней резьбы в производственных условиях является контроль с помощью комплекта калибров. Для наружной резьбы в комплект входят предельный гладкий калибр-скоба (или калибр-кольцо), контролирующей наружный диаметр резьбы, и комплексные резьбовые калибры-кольца, контролирующей допуск на средний диаметр (рис. 2.7). Комплект калибров для контроля внутренней резьбы включает гладкие предельные калибры-пробки для контроля внутреннего диаметра и комплексные резьбовые калибры-пробки для контроля допуска среднего диаметра (рис. 2.8).

В соответствии с ГОСТом 24929-81, в комплект резьбовых калибров дополнительно входят: контрольные калибры-пробки для новых резьбовых калибров-колец (КПР-ПР, КПР-НЕ), калибры-пробки контрольные проходные и непроходные для нового нерегулируемого резьбового калибра-кольца (КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ), калибры-пробки для контроля износа проходных резьбовых калибров-колец (К-И), калибры-пробки установочные для проходного и непроходного калибров-скоб (У-ПР, У-НЕ).

Схемы видов резьбовых калибров приведены на рисунке 2.9 (ГОСТ 24939-81).

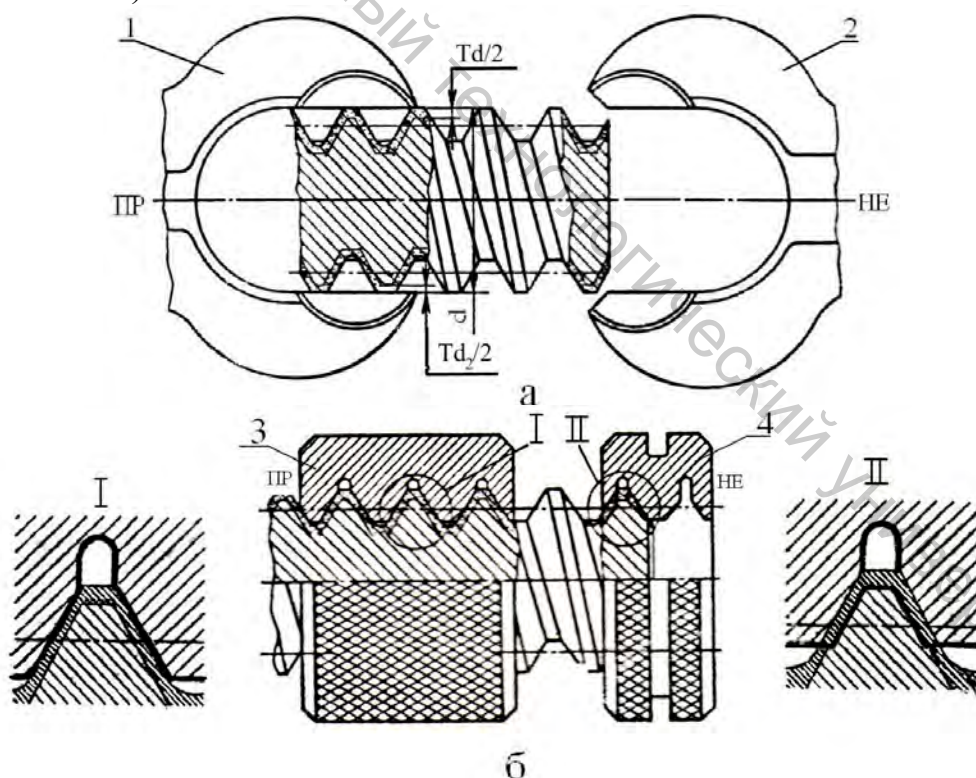


Рисунок 2.7 – Схемы контроля калибрами допусков наружной резьбы:

а – по наружному диаметру, *б* – по среднему диаметру;

1, 2 – предельные гладкие калибры-скобы;

3, 4 – комплексные резьбовые калибры-кольца

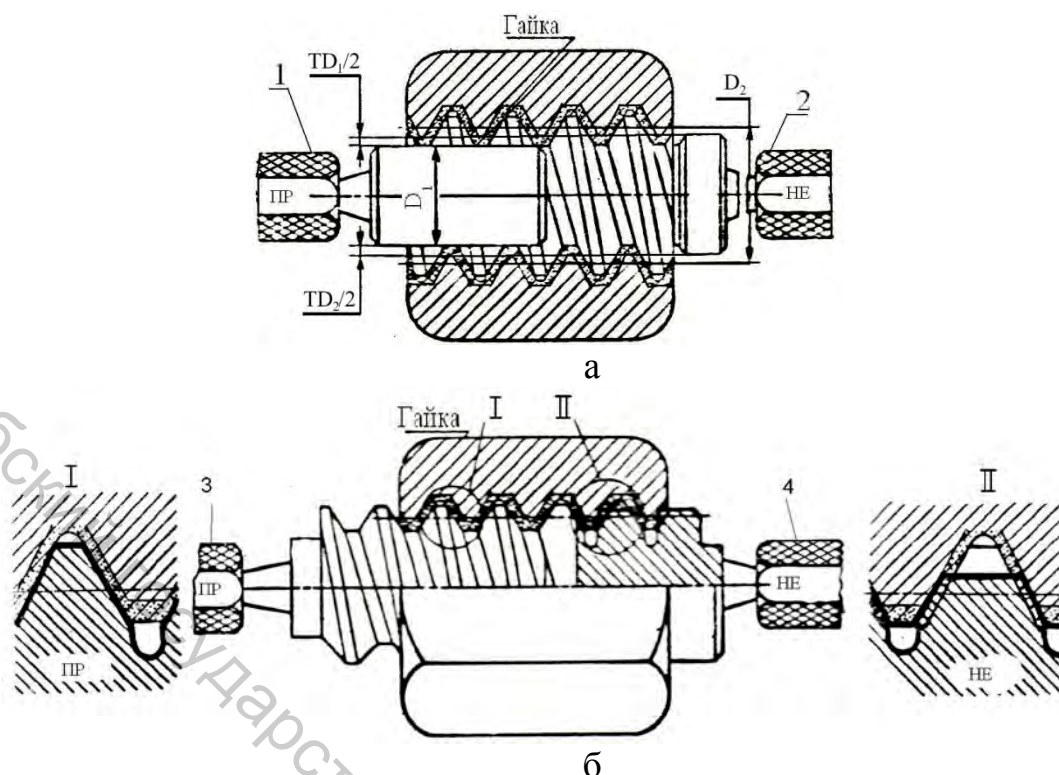


Рисунок 2.8 – Схемы контроля допусков внутренней резьбы:

а – по внутреннему диаметру, *б* – по среднему диаметру;

1, 2 – предельные калибры-пробки;

3, 4 – комплексные резьбовые калибры-пробки

Резьбовой проходной калибр-пробка должен свободно ввинчиваться в контролируемую резьбу. Свинчиваемость означает, что приведенный средний диаметр резьбы не меньше минимального предельного размера, а наружный диаметр внутренней резьбы не превышает максимальный наружный диаметр резьбы.

Резьбовой непроходной калибр-пробка, как правило, не должен ввинчиваться в контролируемую резьбу. Допускается ввинчивание калибра до двух оборотов (у сквозной резьбы – с каждой стороны).

Резьбовой проходной калибр-кольцо должен свободно навинчиваться на контролируемую резьбу. Свинчиваемость калибра с резьбой означает, что приведенный средний диаметр резьбы не больше установленного наибольшего предельного размера, а внутренний диаметр – не больше наименьшего внутреннего диаметра внутренней резьбы.

Резьбовой проходной калибр-скоба должен скользить по резьбе под действием силы тяжести. Резьбовой двухпредельный калибр-скоба не должен проходить по резьбе под действием силы тяжести. Допускается прохождение на первых двух витках наружной резьбы.

Схемы расположения полей допусков для всех видов калибров, формулы для расчета исполнительных размеров и необходимые таблич-

ные данные определяет ГОСТ 24997-2004. Маркировка резьбовых калибров аналогична маркировке гладких калибров.

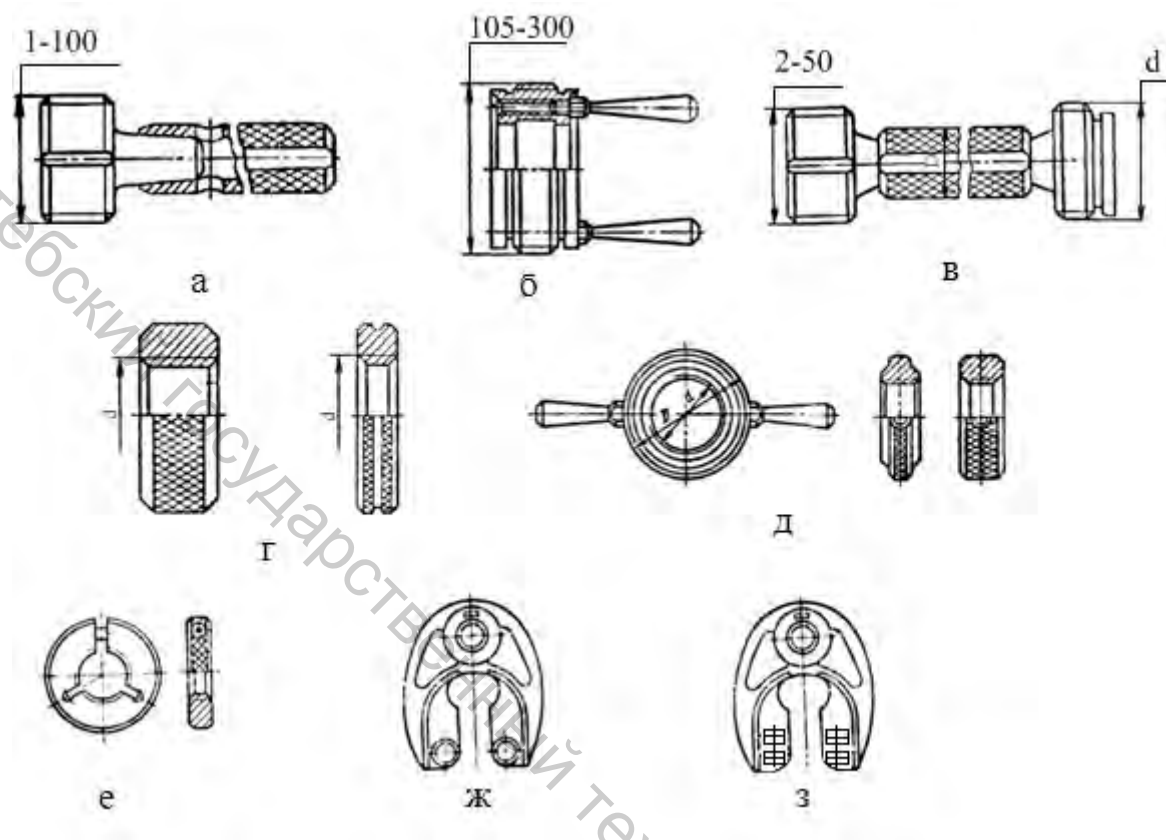


Рисунок 2.9 – Конструкции резьбовых калибров:
калибры-пробки: *а* – односторонний, *б* – односторонний с ручками,
в – двухсторонний, калибры-кольца: *г* – регулируемый,
д – цельные с ручками, *е* – регулируемый, *ж* – калибр-скоба проход-
ной однопредельный, *з* – калибр-скоба двухпредельный

3 УНИВЕРСАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

3.1 Термины и определения

Термины и определения основных понятий метрологии изложены в рекомендациях РМГ 29-2013.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Величина – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.

Измерение – процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть обоснованно приписаны величине.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Косвенное измерение – измерение, при котором искомое значение величины находят на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной.

Абсолютное измерение – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

Относительное измерение – измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения.

Принцип измерений – явление материального мира, положенное в основу измерения.

Метод измерений – прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесение со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений.

Метод сравнения (с мерой) – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Нулевой метод измерений – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на средство сравнения доводят до нуля.

Метод измерений замещением – метод сравнения с мерой, при котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

Метод измерений дополнением – метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

Дифференциальный метод измерений – метод измерений, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

Средство измерения – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия. Сигнал измерительной информации может быть представлен в визуальной, звуковой или другой заданной форме.

Шкала измерительного прибора – часть средства измерений, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со значениями соответствующей величины.

Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений.

Погрешность измерения – разность между измеренным значением величины и опорным значением величины. Опорное значение величины может быть истинным или принятым значением величины.

Случайная погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях.

Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

3.2 Штангенинструменты

Штангенинструменты являются наиболее массовыми и широко распространенными средствами измерений. К штангенинструментам относятся: штангенциркули, штангенглубиномеры, штангенрейсмасы.

Штангенциркули. Основными типами штангенциркулей являются (ГОСТ 166-89):

ШЦ-1 – с двусторонним расположением губок для измерения наружных и внутренних размеров и с линейкой для измерения глубины (рис. 3.1 а).

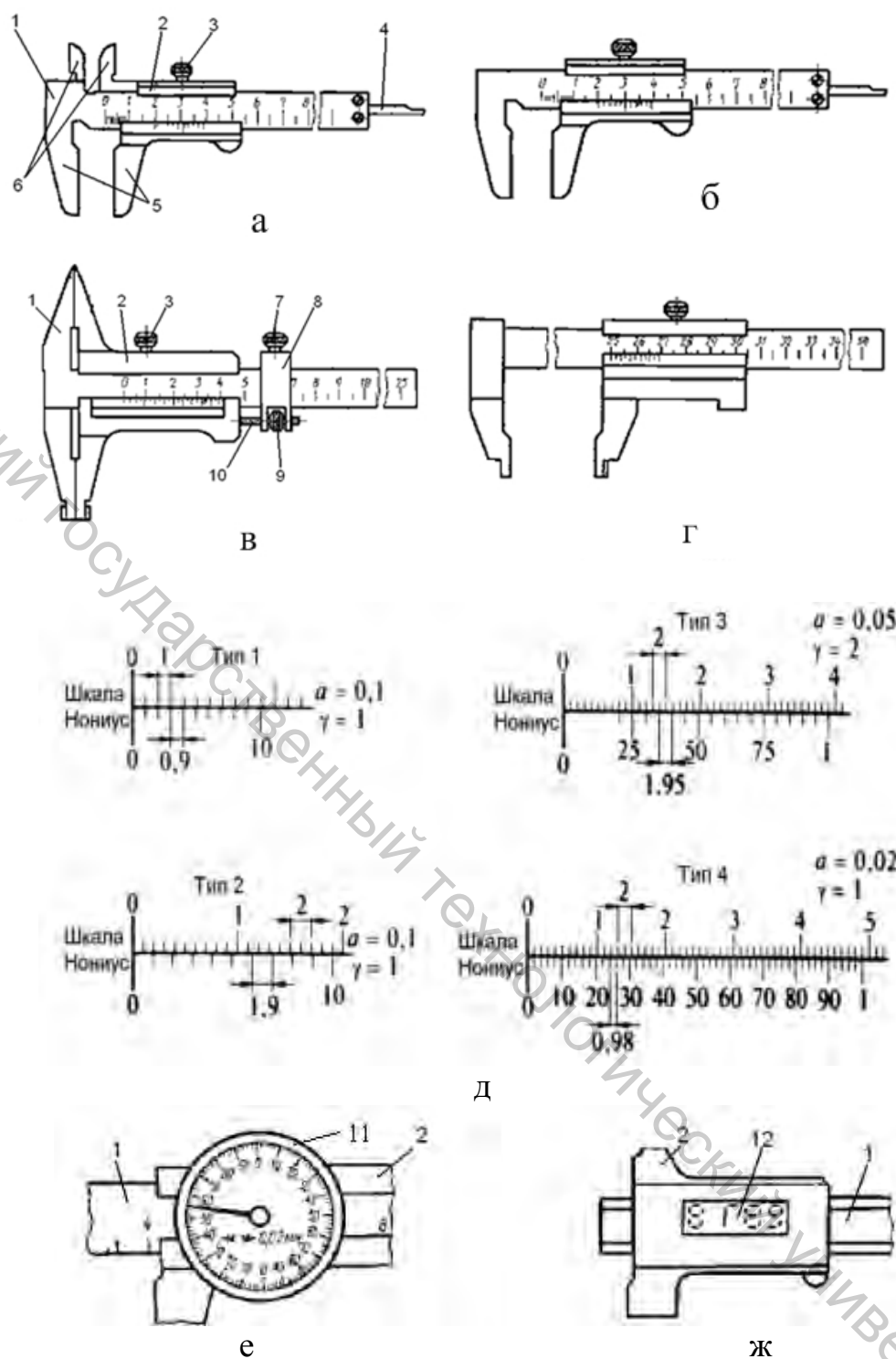


Рисунок 3.1 – Конструкции штангенциркулей:

а – тип ШЦ-1, б – тип ШЦТ-1, в – тип ШЦ-2, г – тип ШЦ-3,

д – типы нониусов, е – устройство с круговой шкалой,

ж – цифровое отсчетное устройство; 1 – штанга-линейка; 2 – рамка с нониусом; 3 – винт зажима; 4 – линейка глубиномера;

5 – нижние губки; 6 – верхние губки; 7 – винт зажима;

8 – рамка; 9 – гайка; 10 – винт; 11 – круговая шкала отсчетного устройства; 12 – цифровое отсчетное устройство

ШЦТ-1 – с односторонним расположением губок из твердого сплава для измерения наружных размеров и глубины в условиях повышенного абразивного изнашивания (рис. 3.1 б).

ШЦ-2 – с двусторонним расположением губок для измерения наружных и внутренних размеров и для разметки (рис. 3.1 в).

ШЦ-3 – с односторонним расположением губок для измерения наружных и внутренних размеров (рис. 3.1 г).

С целью расширения технологических возможностей штангенциркули могут дополнительно оснащаться приспособлениями или видоизмененными измерительными поверхностями, например, круглыми губками.

К основным частям штангенциркуля (рис. 3.1 а) относятся штанга-линейка 1, по которой перемещается рамка 2 с размещенной на ней шкалой нониуса. На подвижной рамке установлен винт зажима рамки 3. Для измерения глубины отверстий, пазов и других внутренних элементов используется линейка глубиномера 4. Контакт с измеряемыми поверхностями осуществляется с помощью нижних 5 или верхних 6 губок. Нижние губки предназначены для измерения наружных размеров, а верхние – внутренних.

Штангенциркули ШЦ-2 (рис. 3.1 в) снабжены микрометрической подачей, предназначенной для точного перемещения рамки 2 по штанге 1. В вырезе рамки 8 микрометрической подачи расположена гайка 9, накрученная на винт 10, закрепленный в нижней части рамки 1. При освобождении винта 3 и зажима винта 7 рамка будет перемещаться по штанге путем вращения гайки 9.

Штангенциркули изготавливают с отсчетом по нониусу (рис. 3.1 д), по круговой шкале (рис. 3.1 е) или с цифровым отсчетным устройством (рис. 3.1 ж).

Нониусом называют вспомогательную шкалу штангенинструмента, предназначенную для более точного определения количества долей делений основной шкалы. Для отсчета с помощью нониуса сначала определяют по основной шкале целое число в миллиметрах перед нулевым делением нониуса. Затем добавляют к нему число долей по нониусу в соответствии с тем, какой штрих нониуса ближе к штриху основной шкалы.

Основные типы нониусов представлены на рисунке 3.1 д. Характеристиками нониусов являются величина отсчета по нониусу (цена деления нониуса) α и модуль нониуса γ , которые определяются по формулам:

$$\alpha = i/n; \quad (3.1)$$

$$\gamma = (l + i)/ni, \quad (3.2)$$

где i – цена деления основной шкалы, мм; n – число делений нониуса; l – длина шкалы нониуса, мм.

Наибольшее распространение получили нониусы со шкалой с точностью отсчета 0,1; 0,05; 0,02 мм.

Для отсчета с помощью нониуса сначала определяют по основной шкале целое число в миллиметрах перед нулевым делением нониуса, затем добавляют к нему число долей по нониусу (десятые или сотые доли миллиметра) в соответствии с тем, какой штрих нониуса ближе к штриху основной шкалы.

Штангенциркули, оснащенные круговой шкалой или цифровым отсчётным устройством, позволяют автоматизировать процесс отсчета, облегчить работу контролера и сократить цикл измерения.

Диапазон измерений штангенциркуля с отсчетом по нониусу составляет 0...2000 мм. В диапазоне измерений до 1000 мм может использоваться нониус со шкалой 0,05; 0,1 мм; в диапазоне 500...2000 мм применяется нониус со шкалой отсчета 0,1 мм. Отсчет по круговой шкале производится в диапазоне до 300 мм. Цена деления круговой шкалы отсчетного устройства составляет 0,02; 0,05; 0,1 мм.

Отсчет по цифровой шкале производится в диапазоне до 1000 мм, шаг дискретности цифрового отсчетного устройства составляет 0,01 мм.

Метрологические характеристики штангенциркулей приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Предельные погрешности измерений линейных размеров штангенциркулями (ГОСТ 8.051-81), мкм

Штангенциркули	Диапазон размеров, мм						
	до 10	св. 10 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250	св. 250 до 500
ШЦ-1, ШЦТ-1, ШЦ-2, ШЦ-3 с отсчетом по нониусу 0,1 мм	150	150	200	200	200	200	250
ШЦ-2, ШЦ-3 с отсчетом по нониусу 0,05 мм	100	100	100	100	100	100	-

Пример условного обозначения штангенциркуля типа 2 с диапазоном измерения 0...250 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм: штангенциркуль ШЦ-2-250-0,05, ГОСТ 166-89.

Штангенглубиномеры (ГОСТ 162-90) предназначены для измерения глубин пазов и отверстий, высот выступов. Штангенглубиномеры изготавливаются следующих типов:

- ШГ с отсчетом по нониусу;
- ШГК с отсчетным устройством с круговой шкалой;
- ШГЦ с электронным цифровым отсчетным устройством.

Диапазон измерений штангенглубиномеров составляет 0...1000 мм.

Штангенглубиномер (рис. 3.2 а) включает следующие составные части: основание 1 с плоской измерительной поверхностью. За одно целое с основанием выполнена рамка 2 со шкалой нониуса 3. Штанга 4 с миллиметровой шкалой перемещается в рамке перпендикулярно основанию. Глубиномер снабжен механизмом микрометрической подачи 5.

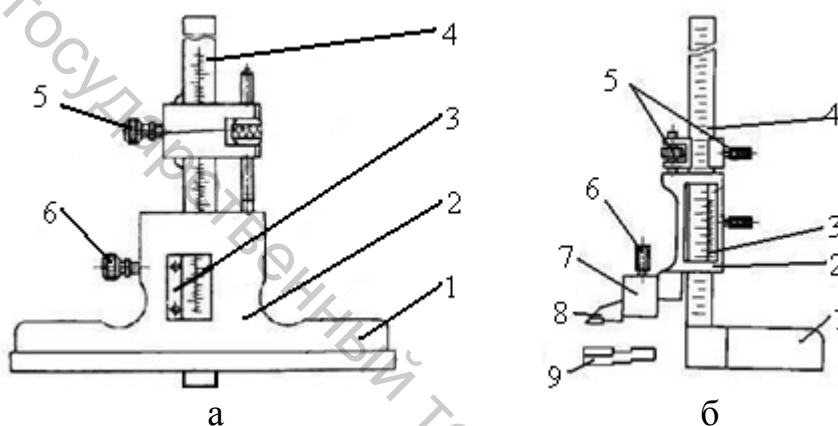


Рисунок 3.2 – Конструкции:

а – штангенглубиномера, *б* – штангенрейсмаса:

- 1 – основание; 2 – рамка; 3 – шкала нониуса; 4 – штанга; 5 – механизм микрометрической подачи; 6 – винт зажима; 7 – хомутик; 8, 9 – разметочная и измерительная ножки

Пример условного обозначения штангенглубиномера ШГ с диапазоном измерения 0...630 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм: штангенглубиномер ШГ-630-0,05 ГОСТ 162-90.

Штангенрейсмасы (ГОСТ 164-90) предназначены для измерения высот и разметочных работ. Штангенрейсмасы изготавливаются следующих типов:

- ШР с отсчетом по нониусу;
- ШРК с отсчетным устройством с круговой шкалой;
- ШРЦ с электронным цифровым отсчетным устройством.

Диапазон измерений штангенрейсмасов составляет 0...2500 мм.

Конструкции и принцип действия штангенрейсмасов принципиально не отличаются от конструкции и принципа действия штангенглубиномеров.

биномеров. Штангенрейсмасы дополнительно оснащают измерительными и разметочными ножками 8, 9, которые крепятся к подвижной рамке с помощью хомутика 7 (рис. 3.2 б).

Пример условного обозначения штангенрейсмаса типа ШРК диапазоном измерения 0...250 мм и ценой деления круговой шкалы 0,02 мм: штангенрейсмас ШРК-250-0,02, ГОСТ 164-90.

3.3 Микрометрические инструменты

Достаточно распространенными в цеховых условиях, но более точными по сравнению с штангенинструментом являются микрометрические инструменты, к которым относят микрометры различных типов, микрометрические глубиномеры и микрометрические нутромеры.

В соответствии с ГОСТом 6507-90 основными типами микрометров являются:

МК – гладкие для измерения наружных размеров изделий;

МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент;

МТ – трубные для измерения толщины стенок труб;

МЗ – зубомерные для измерения длины общей нормали зубчатых колес;

МП – микрометры для измерения толщины проволоки.

Гладкие микрометры типа МК (рис. 3.3 а) являются широко-универсальными инструментами и предназначены для измерения размеров в диапазоне 0...600 мм. Основными частями микрометров являются скоба 1, в которую с одной стороны запрессована неподвижная пятка 2, а с другой стороны установлена микрометрическая головка, включающая микрометрический винт 3, стопор 4, стебель 5, барабан 6, трещотка 7.

Микрометрическая головка преобразует вращательное движение микрометрического винта в его поступательное перемещение. Одному обороту винта соответствует его осевое перемещение на шаг $S = 0,5$ мм, которые отсчитывают по положению торца барабана, являющегося в данном случае указателем. На стебле (рис. 3.3 б) по обе стороны продольного штриха нанесены две шкалы с ценой деления 1 мм каждая, сдвинутые одна относительно другой на шаг микровинта 0,5 мм.

Для отсчета вращательного движения микровинта служит шкала с ценой деления 0,01 мм, нанесенная на конусную часть барабана и продольный штрих указатель, нанесенный на стебель. При повороте микро-

винта с барабаном на одно деление микровинт переместится вдоль своей оси на одно деление шкалы, т.е. на 0,01 мм.

Микрометры изготавливают с ценой деления 0,01 мм при отсчете показаний по шкалам стебля и барабана (рис. 3.3 а); со значением отсчета по нониусу 0,001 мм при отсчете показаний по шкалам стебля и барабана с нониусом (рис. 3.3 в); с шагом дискретности 0,001мм при отсчете показаний по электронному цифровому отсчетному устройству и шкалам стебля и барабана (рис. 3.3 г).

Микрометрические характеристики гладких микрометров приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Предельные погрешности измерений гладких микрометров с величиной отсчета 0,01 мм (ГОСТ 8.051-81)

Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм													
до 25	св.25 до50	св. 50 до 75	св. 75 до 100	св. 100 до 125	св. 125 до 150	св. 150 до 175	св. 175 до 200	св. 200 до 225	св. 225 до 250	св. 250 до 275	св. 275 до 300	св. 300 до 400	св. 400 до 500
5	10	10	15	15	15	20	20	25	25	30	30	40	50

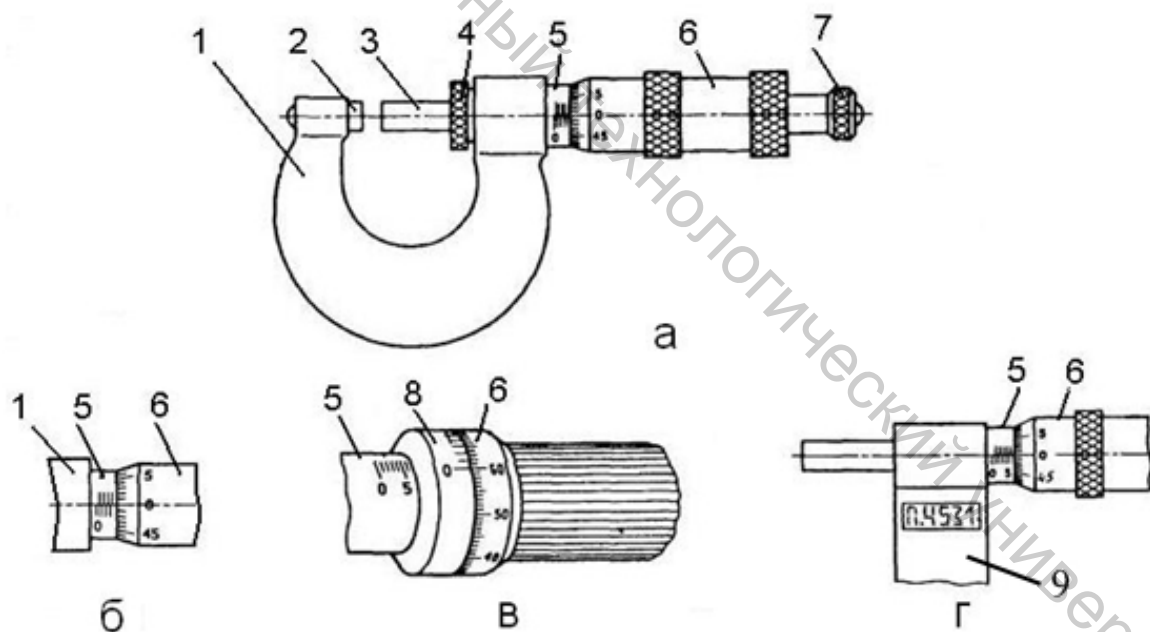


Рисунок 3.3 – Микрометр гладкий:

а – устройство, б-г – схемы отсчетных устройств:

1 – скоба; 2 – пятка; 3 – винт микрометрический; 4 – стопор;

5 – стебель; 6 – барабан; 7 – трещотка; 8 – нониус;

9 – электронное цифровое отсчетное устройство

Листовой микрометр типа МЛ (рис. 3.4 а) предназначен для измерения толщины листов и лент. Он снабжен неподвижным круглым циферблатом 8 и указателем-стрелкой 9, соединенной с барабаном 6. Измерительная поверхность пятки 2 выполнена сферической формы. Микровинт имеет шаг 1 мм. На циферблате нанесено 100 делений с ценой деления 0,01 мм. На стебле 5 имеется миллиметровая шкала.

Диапазон измерений листового микрометра составляет 0...5; 0...10; 0...25 мм.

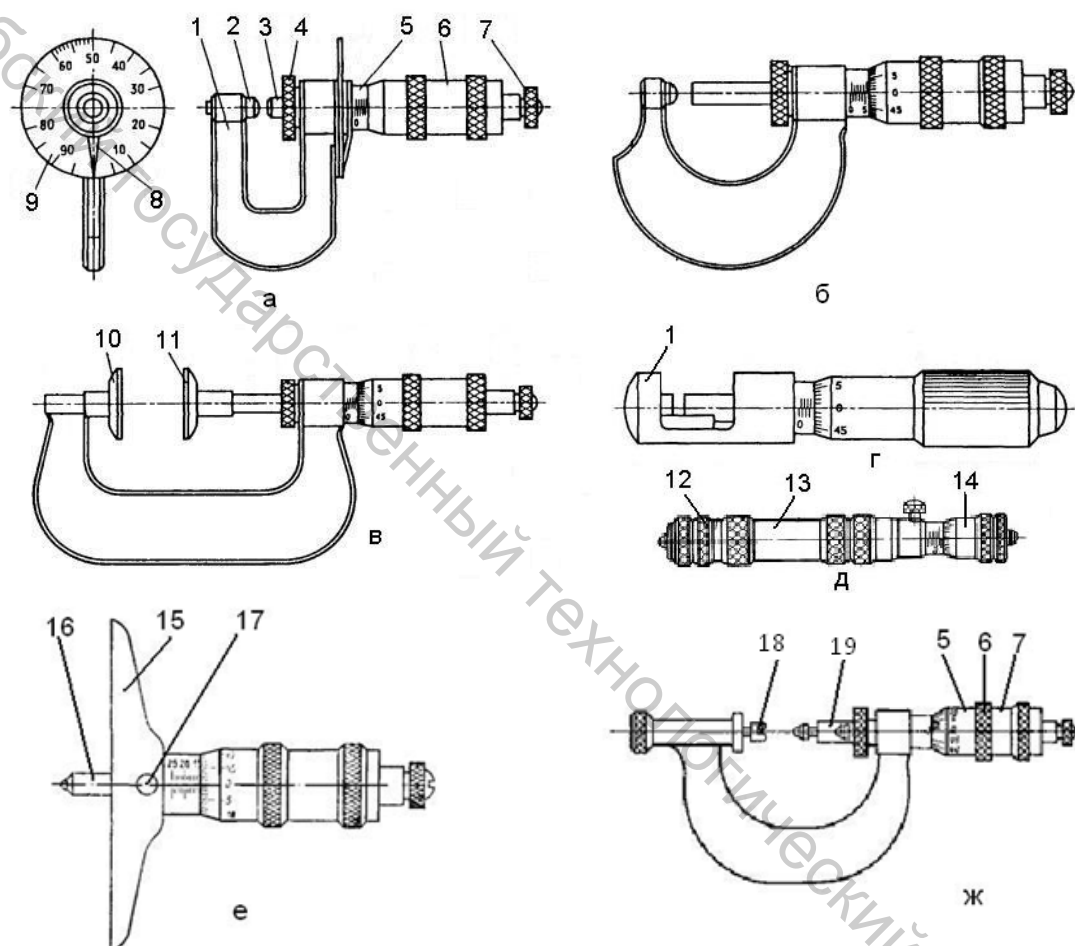


Рисунок 3.4 – Типы микрометров:

- а – листовой, б – трубный, в – зубомерный, г – проволоочный,
 д – микрометрический нутромер, е – микрометрический глубино-
 мер, ж – микрометр резьбовой; 1 – скоба; 2 – пятка; 3 – винт микромет-
 рический; 4 – стопор; 5 – стебель; 6 – барабан; 7 – трещотка; 8 – цифер-
 блат; 9 – стрелка; 10, 11 – губки измерительные; 12 – удлинитель;
 13 – корпус; 14 – головка микрометрическая; 15 – основание;
 16 – стержень сменный; 17 – винт стопорный;
 18, 19 – соответственно призматическая и коническая вставки

Трубный микрометр типа МТ (рис. 3.4 б) предназначен для измерения толщины стенок труб. От гладкого микрометра отличается сферической пяткой и формой скобы, имеющей выемку.

Зубомерный микрометр типа МЗ (рис. 3.4 в) предназначен для измерения длины общей нормали зубчатых колес с модулем свыше 1 мм. Отличительной особенностью зубомерного микрометра является наличие измерительных губок 10, 11, выполненных в форме дисков.

Микрометр типа МП (рис. 3.4 г) служит для измерения диаметра проволоки, поэтому скоба 1 имеет соответствующую форму.

Микрометрический нутромер, ГОСТ 10-88 (рис. 3.4 д) предназначен для абсолютных измерений внутренних размеров. Нутромер состоит из микрометрической головки 14, корпуса 13 и удлинителей 12. По сути, нутромер представляет собой сочетание микрометрической головки и наборов удлинителей на разные размеры. Микрометрические нутромеры типа МН выпускают с пределами измерений 50...75; 75...600; 600...2500; 2500...5000.

Микрометрический глубиномер, ГОСТ 7470-92 (рис. 3.4 е) предназначен для измерения глубины пазов, глухих отверстий, высоты уступов. Он представляет микрометрическую головку, запрессованную в основание 15, перпендикулярно измерительной поверхности основания. В глухое отверстие, выполненное в торце поверхности, могут быть плотно вставлены сменные стержни, обеспечивающие измерение размеров через каждые 25 мм. Фиксирование микрометрического винта осуществляют винтом-стопором 17.

Микрометр резьбовой, ГОСТ 4380-93 (рис. 3.4 ж) предназначен для измерения среднего диаметра резьб. В неподвижной пятке и микрометрическом винте 3 выполнены отверстия, в которые вставляются призматические 18 и конические 19 вставки. Для измерений метрических резьб предусмотрены от трех до десяти вставок. Вставки выбирают в соответствии с шагом контролируемой резьбы.

Пример условного обозначения гладкого микрометра с нониусом с диапазоном измерений 25...50 мм класса точности 1: микрометр МК 50-1, ГОСТ 6507-90.

Обозначение микрометрического нутромера с верхним пределом измерения 600 мм: нутромер НМ 600 ГОСТ 10-88.

Обозначение глубиномера с цифровым устройством при диапазоне измерений от 0 до 150 мм, класса точности 1: глубиномер ГМЦ 150-1, ГОСТ 7470-92.

Обозначение микрометра резьбового со вставками для измерения среднего диаметра метрических резьб с диапазоном измерений 25...50 мм: микрометр резьбовой МВМ 25-50, ГОСТ 4380-78.

3.4 Механические измерительные приборы

3.4.1 Классификация механических измерительных приборов

Механические измерительные приборы основаны на преобразовании перемещения измерительного стержня в перемещение указателя (стрелки, шкалы, светового луча и т.д.). В зависимости от типа механизма преобразования они подразделяются на приборы с зубчатой передачей, рычажно-зубчатой, рычажной, пружинной и пружинно-рычажной.

3.4.2 Приборы с зубчатой передачей

В производственных и лабораторных условиях для абсолютных и относительных измерений нашли широкое применение индикаторные измерительные головки с зубчатой передачей (рис. 3.5).

Индикаторы часового типа ГОСТ 577-68 (рис. 3.5 а) изготавливают в двух исполнениях:

- ИЧ – с перемещением измерительного стержня параллельно шкале;
- ИТ – с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале.

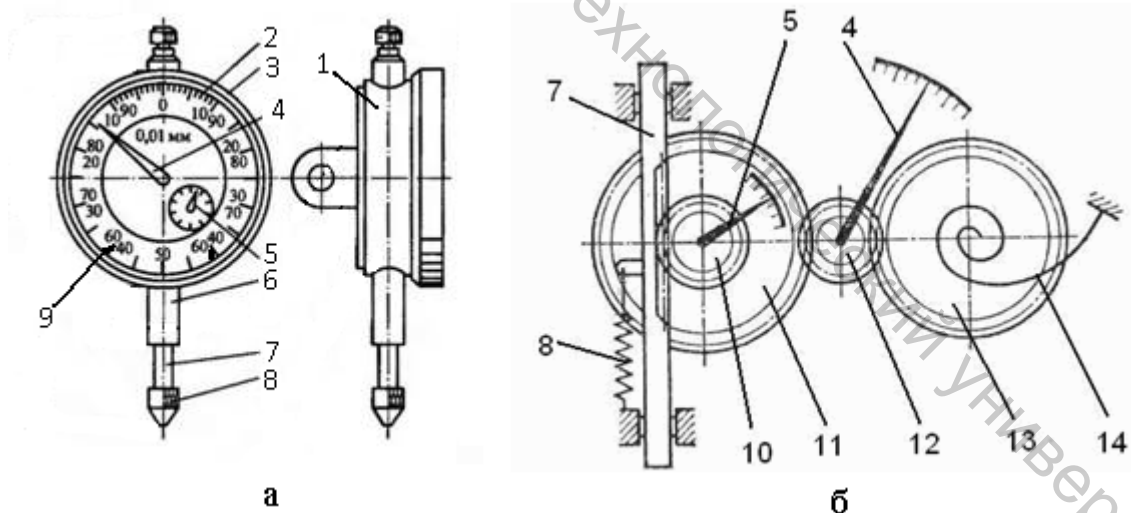


Рисунок 3.5 – Индикатор часового типа:

- а* – общий вид, *б* – схема зубчатой передачи; 1 – корпус;
- 2 – циферблат; 3 – ободок; 4 – стрелка; 5 – указатель; 6 – гильза;
- 7 – измерительный стержень; 8 – измерительный наконечник;
- 9 – указатель поля допуска; 10, 11, 12, 13 – зубчатые колеса;
- 14 – спиральная пружина

По исполнению корпуса индикаторы разделяются на обыкновенные, брызгозащитные и пылезащитные. Обыкновенным считается исполнение, предохраняющее механизм индикатора от загрязнений и механических повреждений. Брызгозащитным считается исполнение, предохраняющее механизм индикатора от попадания брызг во время пребывания в брызгонесущей среде. Пылезащитным считается исполнение, предохраняющее механизм индикатора от попадания пыли во время пребывания в воздухе с повышенной концентрацией пыли.

Индикаторы содержат измерительный стержень 7 с нарезанной зубчатой рейкой, зубчатые колеса 10, 11, 12, 13, спиральную пружину 14, стрелку 4. Возвратно-поступательное движение измерительного стержня 7 преобразуется в круговые движения стрелки 4. Перемещение стержня на один миллиметр соответствует полному обороту стрелки 4. Индикаторы часового типа относятся к многооборотным приборам, поскольку при перемещении измерительного стержня в пределах диапазона измерений стрелка 4 совершает несколько оборотов. Целые миллиметры отсчитываются по шкале стрелкой 5, сотые доли миллиметра – стрелкой 4.

Индикаторы изготавливают с диапазоном измерений 0...2, 0...5, 0...10, 0...25 мм. Цена деления у всех индикаторов часового типа 0,01 мм. Метрологические характеристики индикаторов часового типа приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Предельные погрешности измерений индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм (ГОСТ 8.051-81)

Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм												
1-3	3-6	6-10	10-18	18-30	30-50	50-80	80-120	120-180	180-250	250-315	315-400	400-500
15	15	15	15	16	16	18	20	22	25	35	40	45

Пример условного обозначения индикатора часового типа с диапазоном измерения 0...2 мм, обыкновенного исполнения, класса точности 0: индикатор ИЧ02кл0, ГОСТ 577-68.

3.4.3 Приборы с рычажно-зубчатой передачей

Индикатор рычажно-зубчатый, ГОСТ 5584-75 (рис. 3.6) предназначен для абсолютных и относительных измерений линейных размеров, контроля отклонений от заданной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей.

Рычажно-зубчатые индикаторы изготавливаются двух типов:

ИРБ – боковые со шкалами, параллельными оси измерительного рычага в среднем положении (рис. 3.6 а).

ИРТ – торцевые со шкалами, перпендикулярными к оси измерительного рычага в среднем положении и к плоскости его поворота (рис. 3.6 б).

Индикаторы устроены следующим образом: на конце рычага 3 (рис. 3.6 в) находится зубчатый сектор 8, зацепляющийся с трибом 9, на оси которого располагается торцевое зубчатое колесо 10. Колесо 10 находится в зубчатом зацеплении с трибом 11. На оси триба 11 располагается стрелка 5, с помощью которой производится отсчет по циферблату 4. Одностороннее зубчатое зацепление осуществляется пружиной 12. Для удобства работы предусмотрен переключатель 7, с помощью которого малое плечо рычага 3 может переустанавливаться в горизонтальное положение.

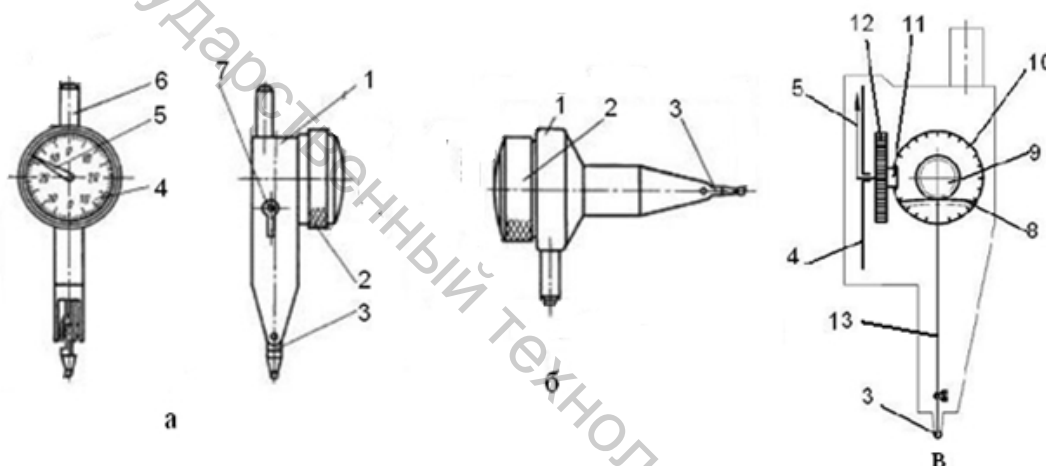


Рисунок 3.6 – Индикаторы рычажно-зубчатые:

- а – ИРБ, б – ИРТ, в – кинематическая схема; 1 – корпус;
2 – ободок; 3 – измерительный рычаг; 4 – циферблат; 5 – стрелка;
6 – соединительный штифт; 7 – переключатель;
8 – зубчатый сектор; 9, 11 – трибы; 10 – зубчатое колесо;
12 – спиральная пружина; 13 – рычаг

Пределы измерений рычажно-зубчатых индикаторов составляют 0,01...0,02; 0,1; 0,8 мм, предельные погрешности измерений – соответственно 5, 10, 15 мкм.

Пример условного обозначения индикатора рычажно-зубчатого бокового типа ИРБ: индикатор ИРБ, ГОСТ 5584-75.

Индикаторы многооборотные с ценой деления 0,001 и 0,002 мм, ГОСТ 9696-82 (рис. 3.7) предназначены для точных измерений линейных размеров. Они применяются как в стойке с измерительным столи-

ком, так и в различных контрольно-измерительных приборах и приспособлениях в качестве отсчетного устройства.

Индикаторы выполняются двух типов: 1 МИГ и 2 МИГ. Диапазон измерений индикатора типа 1 МИГ составляет 1 мм, цена деления 0,001 мм; 2 МИГ – соответственно 2 мм и 0,002 мм.

Измерительный механизм индикаторов состоит из двухрычажного механизма и двухступенчатой зубчатой передачи. Индикаторы снабжены арретиром 4 и винтом 9 установки на нуль.

Метрологические характеристики индикаторов многооборотных приведены в таблице 3.4.

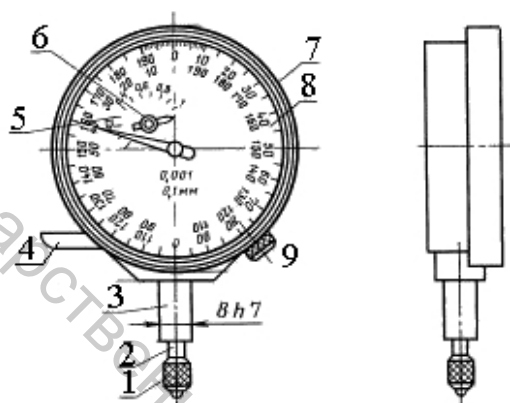


Рисунок 3.7 – Индикатор многооборотный:

- 1 – измерительный наконечник; 2 – измерительный стержень;
3 – соединительная гильза; 4 – арретир нулевого положения;
5 – стрелка; 6 – указатель перемещения измерительного стержня;
7 – корпус; 8 – циферблат; 9 – винт установки на нуль

Таблица 3.4 – Предельные погрешности измерений индикаторами многооборотными (ГОСТ 8.051-81)

Индикаторы многооборотные	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
	до 3	св.3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180	св. 180 до 250
1 МИГ	3	3	3	3	3	3	3	3,5	3,5	4
2 МИГ	5	5	5	6	6	7	8	10	10	12

Пример условного обозначения индикатора типа 1 МИГ, класса точности 1, с ценой деления 0,001мм: индикатор 1 МИГ, ГОСТ 9696-82.

Скобы с отсчетным устройством, ГОСТ 11098-75 предназначены для относительного измерения линейных размеров в диапазоне до 1000 мм с ценой деления 0,001 мм, 0,002 и 0,01 мм. Они изготавливаются трех типов:

– СРП – рычажные повышенной точности, предназначенные для измерений в диапазоне до 50 мм;

– СР – рычажные, со встроенным в корпусе отсчетным устройством предназначенным для измерения в диапазоне до 150 мм;

– СИ – индикаторные, оснащенные измерительными головками, предназначены для измерений в диапазоне до 1000 мм.

Скобы типа СРП и СР (рис. 3.8) имеют рычажно-зубчатое отсчетное устройство, встроенное в корпус. В процессе измерения подвижная пятка 1 перемещаясь, воздействует на измерительный рычаг 10, зубчатый сектор которого поворачивает зубчатое колесо 11 и стрелку 12. Отвод подвижной пятки для установки на измерение нового размера осуществляется с помощью кнопки арретира 2 и рычага 13. Настройка прибора на нуль осуществляется микровинтом 9.

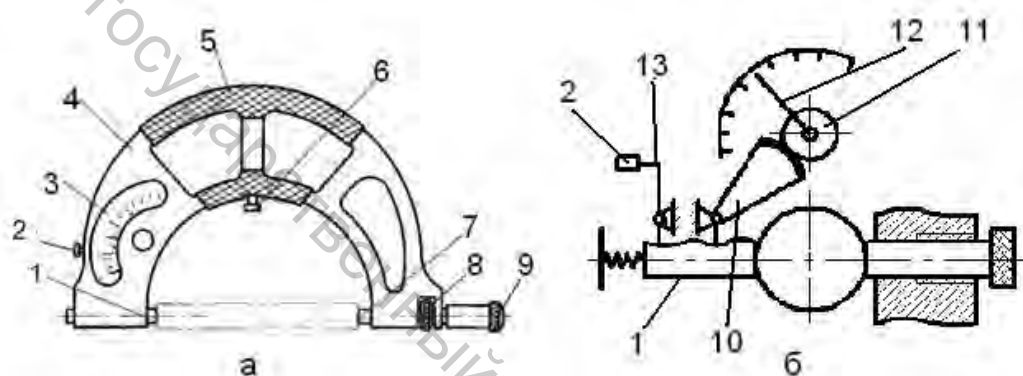


Рисунок 3.8 – Скоба с отсчетным устройством:

а – общий вид, б – кинематическая схема; 1 – пятка подвижная;

2 – кнопка арретира; 3 – отсчетное устройство; 4 – корпус;

5 – теплоизоляционная прокладка; 6 – упор; 7 – неподвижная пятка; 8 – гайка фиксационная; 9 – микровинт настройки;

10 – зубчатый сектор; 11 – зубчатое колесо; 12 – стрелка;

13 – рычаг арретира

Метрологические характеристики скоб с отсчетным устройством приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Предельные погрешности измерений скобами с отсчетным устройством (ГОСТ 8.051-81)

Типы скоб	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм									
	до 10	св.10 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 100	св. 100 до 180	св. 180 до 200	св. 200 до 300	св. 300 до 400	св. 400 до 500
СРП	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
СР	4	4,5	5	6	7	7	7	7	7	7
СЦ	10	12	15	15	20	20	25	40	50	60

Пример условного обозначения рычажной скобы повышенной точности с диапазоном измерений 25...50 мм: скоба СРП 50, ГОСТ 11098-75.

Микрометры рычажные ГОСТ 4381-87 предназначены для измерения линейных размеров методами непосредственной оценки и сравнения. Они изготавливаются двух типов:

МР – с отсчетным устройством, встроенным в скобу;

МРИ – оснащенные отсчетным устройством.

В рычажных микрометрах (рис. 3.9) измерительные поверхности 10, 11 связаны с отсчетными устройствами. Измерительная поверхность 10 связана со встроенным в корпус рычажно-зубчатым отсчетным устройством. Измерительная поверхность 11 находится на конце микровинта 12 и отсчет её перемещения определяется по шкале микропары. При определении размера детали, находящейся между двумя измерительными поверхностями (10 и 11), необходимо алгебраическое суммирование показаний по стрелочному отсчетному устройству и микропаре.

Стрелочное рычажно-зубчатое устройство принципиально не отличается от рассмотренного (см. рис. 3.8). Микрометрическая пара также не отличается от обычных микрометрических головок.

Измерение рычажным микрометром можно осуществлять путем отсчета по микропаре и стрелочному устройству. В этом случае необходимо добиваться такого положения, чтобы деталь находилась между измерительными поверхностями, а на микропаре совпали штрихи на стебле и барабане, что соответствует целому значению размера, а стрелка отсчетного устройства, связанная с измерительной поверхностью 10, находилась в положении, при котором можно отсчитывать значение размера на шкале.

Возможен отсчет только по стрелочному устройству. В этом случае необходима предварительная настройка прибора по концевым мерам. При этом погрешность микропары исключается.

Рычажные микрометры типа МР с отсчетным устройством, встроенным в скобу, охватывают диапазон размеров до 100 мм. Рычажные микрометры типа МРИ, оснащенные отсчетным устройством, охватывают диапазон размеров до 2000 мм.

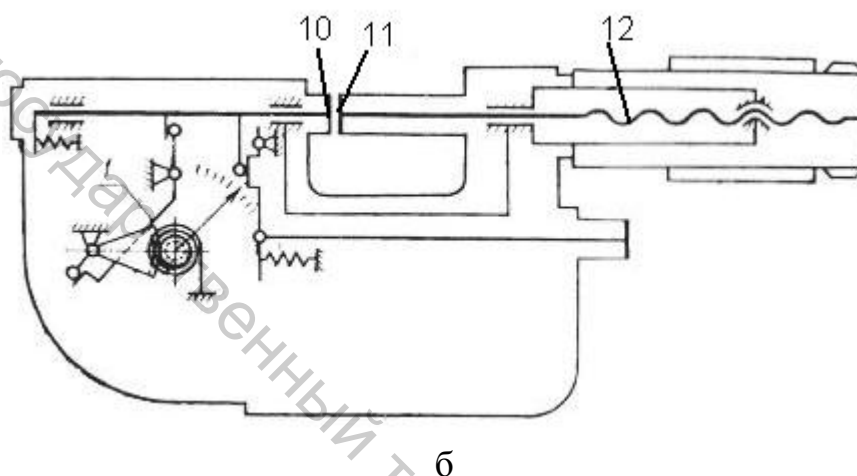
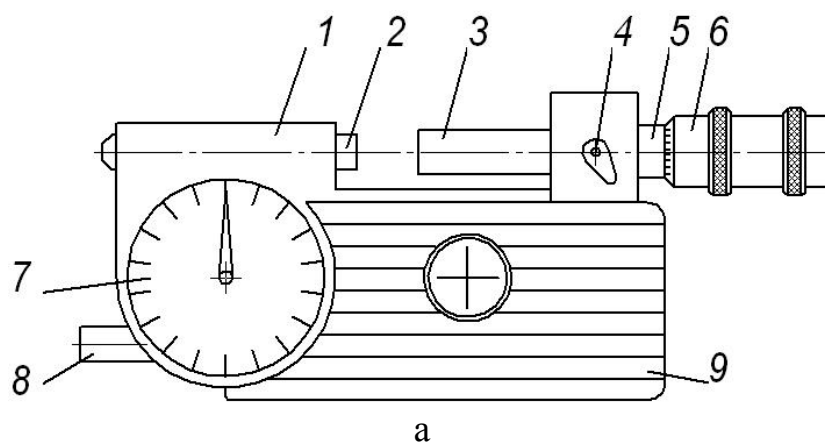


Рисунок 3.9 – Микрометр рычажный:

- а – общий вид, б – кинематическая схема; 1 – скоба;
 2 – подвижная пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стопорное устройство; 5 – стержень; 6 – барабан; 7 – отсчетное устройство;
 8 – арретир; 9 – теплоизоляционная накладка;
 10, 11 – измерительные поверхности;
 12 – микрометрический винт

Метрологические характеристики рычажных микрометров приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Предельные погрешности измерений микрометрами рычажными (ГОСТ 8.051-81)

Предельные погрешности, мкм, для диапазонов размеров, мм											
до	св.	св.	св.	св.	св.	св.	св.	св.	св.	св.	св.
25	25	50	75	100	125	150	175	200	250	300	400
	до	до	до	до	до	до	до	до	до	до	до
	50	75	100	125	150	175	200	250	300	400	500
4	7	9	12	14	16	18	21	26	30	40	50

Пример условного обозначения рычажного микрометра с отсчетным устройством, встроенным в корпус, и диапазоном измерений 20...50 мм: микрометр МР 50 ГОСТ 4381-87.

Нутромеры индикаторные ГОСТ 868-82 (рис. 3.10) предназначены для относительных измерений отверстий от 6 до 1000 мм. Они состоят из корпуса 1, отсчетного устройства 2, подвижного (измерительного) 3 и неподвижного (регулируемого) 4 стержней, равноплечевого (Г-образного) рычага 5, центрирующего мостика 6 и подвижного штока 7. При измерении отверстия стержень 3, перемещаясь в направлении перпендикулярном оси отверстия, поворачивает Г-образный рычаг вокруг оси и перемещает на ту же величину шток 7 и измерительный наконечник отсчетного устройства 2. При этом центрирующий мостик 6 двумя пружинами прижимается к поверхности контролируемого отверстия и обеспечивает совмещение линий измерения с диаметром отверстия. Это обеспечивает контакт прибора с поверхностью детали по четырем точкам: тремя подвижными и одной неподвижной.

Метрологические характеристики нутромеров приведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Предельные погрешности измерений нутромерами индикаторными (ГОСТ 8.051-81)

Наименование приборов	Предельные погрешности измерения, мкм для диапазона размеров, мм				
	св. 3 до 18	св. 18 до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250	св. 250 до 500
Нутромеры индикаторные (НИ) с ценой деления отсчетного устройства 0,01мм	15	20	25	25	30
Нутромеры индикаторные (НИ) с ценой деления 0,001 или 0,002мм	4,5	5,5	6,5	7,5	11

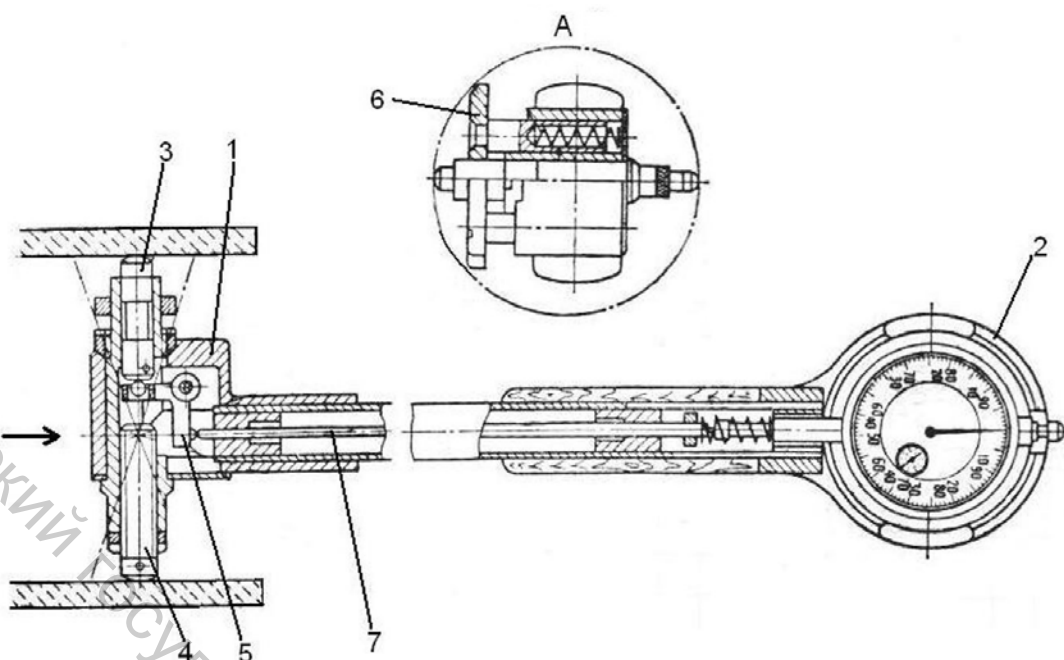


Рисунок 3.10 – Нутромер индикаторный:

1 – корпус; 2 – отсчетное устройство; 3, 4 – подвижный и неподвижный измерительные стержни; 5 – рычаг; 6 – центрирующий мостик; 7 – подвижный шток

Пример условного обозначения нутромера индикаторного с диапазоном измерений 10...18 мм, класса точности 1: нутромер НИ 110-18-1 ГОСТ 868-82.

3.4.4 Приборы пружинного типа

Головки измерительные пружинные ГОСТ 28798-90 (рис. 3.11) применяются для измерений линейных размеров, а также отклонений формы и расположения поверхностей.

Измерительные головки изготавливают следующих типов:

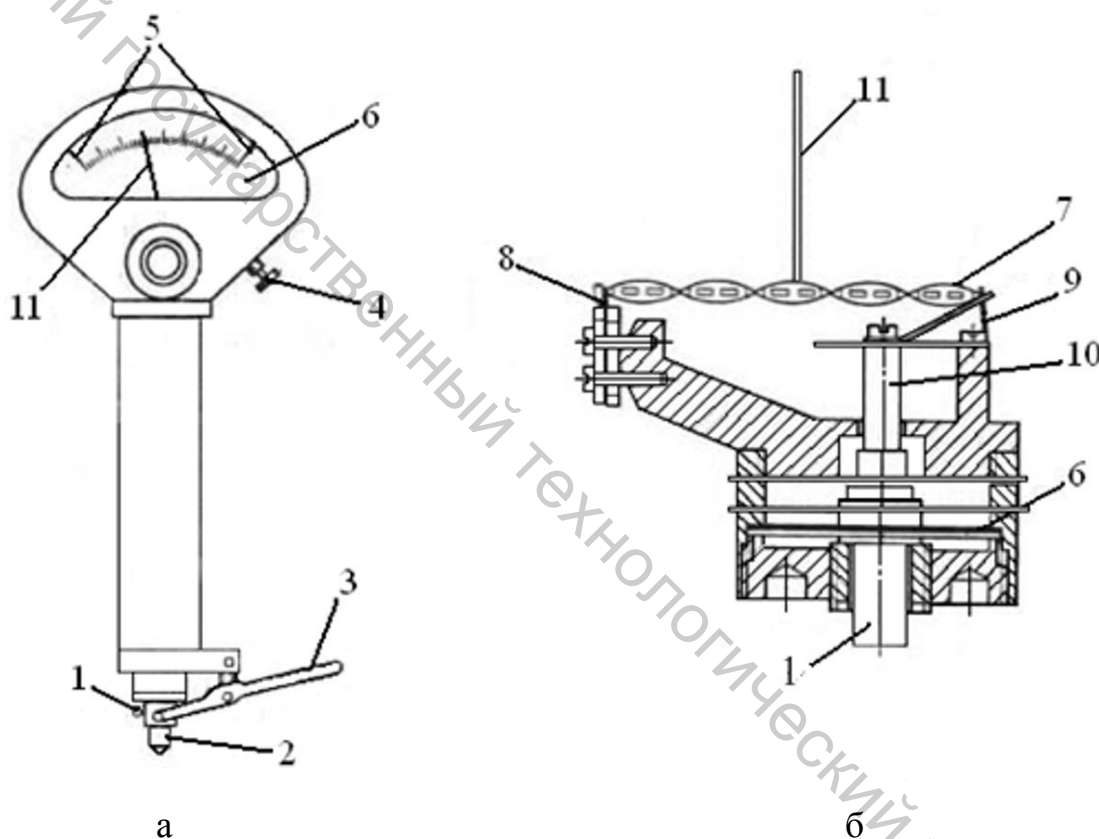
- ИГПВ – пружинные виброустойчивые;
- ИГПВГ – пружинные, виброустойчивые, герметизированные;
- ИПМ – пружинные малогабаритные;
- ПР – пружинно-оптические.

К пружинным измерительным головкам относят: микрометры, микрометры, миниметры, оптикаторы. Основная деталь этих приборов – скрученная пружинка. Принцип работы приборов заключается в следующем. При растяжении скрученной пружинки происходит её поворот, а вместе с ней и закрепленной на ней стрелки. Если вместо стрелки за-

креплено зеркальце, на которое падает луч света, то поворачивается отраженный луч света.

Пружинные измерительные головки не содержат кинематических пар (рычажных, зубчатых, рычажно-зубчатых). Поэтому они отличаются малой погрешностью и применяются для высокоточных измерений.

Конструктивно измерительные головки устроены следующим образом (рис. 3.11 а). Измерительный стержень 1 с наконечником 2 поднимается и опускается рычагом арретиром 3. Установка на нулевую отметку при настройке на размер осуществляется винтом 4. Головка снабжена двумя переставными указателями 5 границ поля допуска размера.



а

б

Рисунок 3.11 – Измерительная пружинная головка:

- а* – общий вид; *б* – механизм действия; 1 – измерительный стержень;
2 – наконечник; 3 – арретир; 4 – винт настройки;
5 – указатели границ поля допуска; 6 – плоская пружина;
7 – бронзовая ленточка; 8 – опора; 9 – угольник;
10 – подвижный стержень; 11 – стрелка

Механизм преобразования поступательного движения измерительного стержня во вращательное движение стрелки представлен на рисунке 3.11 б. Измерительный стержень 1 подвешен на плоской пружине 6. Бронзовая ленточка 7 одним концом закреплена на жесткой

опоре 8, а другим концом прикреплена к поворотному угольнику 9, связанным с подвижным стержнем 10. В средней части бронзовой ленточки приклеена стрелка 11, поворот которой пропорционален перемещению измерительного стержня.

Измерительные пружинные головки выпускаются с ценой деления 10; 5; 1; 0,5; 0,2 мкм. Метрологические характеристики головок приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Предельные погрешности измерений пружинными измерительными головками

Головки измерительные пружинные с ценой деления, мм	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм								
	до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
0,01	6	6	6	7	7	7	8	10	10
0,005	3	3	3	3	3	3	4	5	5
0,001	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8	0,9	1,1	1,0
0,0005	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,7
0,0002	0,3	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35	0,4	0,5	0,5

Пример условного обозначения головки пружинной виброустойчивой с ценой деления шкалы 0,5 мкм: головка 0,5 ИГПВ ГОСТ 28798-90.

Головки пружинно-оптические (ГОСТ 593-74) предназначены для точных измерений линейных размеров, также для измерений отклонений формы.

Отличительная особенность пружинно-оптических головок состоит в замене указательной стрелки световым лучом. Для этого пружинно-оптические головки дополнительно снабжены осветительным устройством (рис. 3.12), которое работает следующим образом. На зеркало 1, закрепленное на ленточной пружине, направляется световой поток от лампы 2 через конденсор 3, прямоугольную диафрагму 4 и объектив 5. В средней части диафрагмы натянута нить, поэтому на зеркало 1 проецируется изображение диафрагмы в виде светлого прямоугольника с темным штрихом посередине, который используется для отсчета при отражении на наклонную поверхность шкалы 6.

Остальные конструктивные элементы пружинно-оптических головок принципиально не отличаются от пружинных головок.

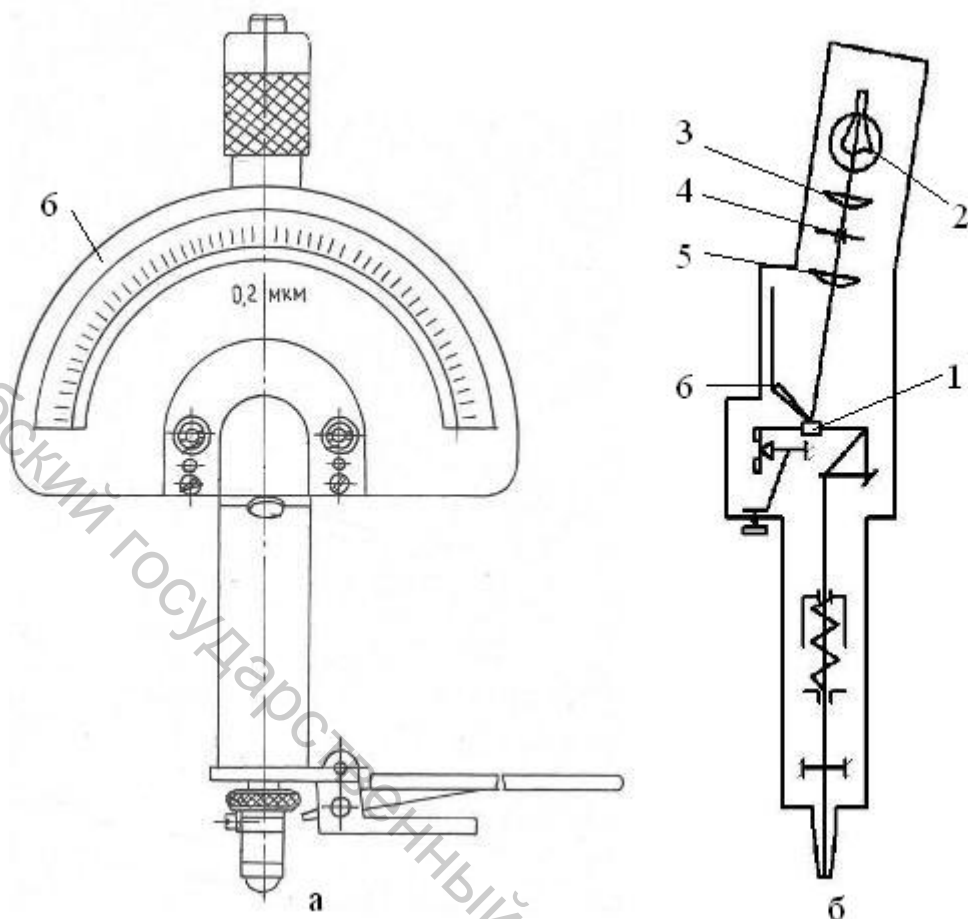


Рисунок 3.12 – Пружинно-оптическая головка:
а – общий вид, *б* – схема; 1 – зеркало; 2 – лампа;
 3 – конденсор; 4 – диафрагма; 5 – объектив; 6 – шкала

Метрологические характеристики измерений пружинно-оптическими головками приведены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Предельные погрешности измерений пружинно-оптическими головками (ГОСТ 8.051-81)

Головки измерительные пружинно-оптические с ценой деления, мм	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазона размеров, мм								
	до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 80	св. 80 до 120	св. 120 до 180
0,001	0,9	0,9	0,9	1	1	1	1,1	1,3	1,3
0,0005	0,35	0,35	0,35	0,4	0,5	0,5	0,6	0,8	0,6
0,0002	0,3	0,3	0,3	0,3	0,35	0,35	0,35	0,45	0,45
0,0001	0,25	0,25	0,25	0,25	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4

3.5 Пневматические измерительные приборы

3.5.1 Классификация и конструкция приборов

Приборы этого типа предназначены для измерения линейных размеров по расходу воздуха, выходящего под давлением из сопла. Деталь, линейный размер которой надо измерить, располагают перед торцом сопла на определенном расстоянии. В зависимости от размера детали изменяется зазор между поверхностью детали и торцом сопла, благодаря чему изменяется объем воздуха, проходящего в единицу времени через калибровочные отверстия. Прибор настраивают по размеру образцовой детали или концевым мерам длины.

По видам отсчетных устройств приборы разделяют на ротаметрические и манометрические (рис. 3.13).

В зависимости от величины рабочего давления различают пневматические приборы низкого (10 кПа) и высокого (150 кПа) давления. Приборы низкого давления расходуют на измерение одного параметра до 10 л/мин воздуха, приборы высокого давления до 20 л/мин (ГОСТ 866-76).

Конструкция ротаметрического прибора представлена на рисунке 3.13 а. Прибор включает коническую трубку 3, расширяющуюся кверху. По ней снизу под рабочим давлением движется воздух, поднимающий поплавков 4. Высота подъема поплавка зависит от скорости движения воздуха, которая увеличивается с увеличением зазора S между торцом измерительного сопла 6 и поверхностью детали 7. Поплавок поднимается до тех пор, пока не уравниются расходы воздуха через кольцевой зазор между стеклянной трубкой и поплавком с одной стороны, и с другой – через зазор S между измерительным стержнем и деталью. В этом случае поплавок зависает в трубке. Каждому положению зазора S , а значит и высоте детали 7 соответствует определенное по высоте положение поплавка.

Конусность внутреннего диаметра трубки составляет 1:1000 или 1:400. Длина рабочей части отсчетной трубки 250 мм. Каждая трубка комплектуется двумя поплавками. Сочетание двух трубок и двух поплавков обеспечивает четыре значения чувствительности. Предусмотрены цены деления 0,2; 0,5; 1; 5; 10 мкм, с диапазоном измерений от 10 до 160 мкм.

Конструкция манометрического прибора (ГОСТ 11198-75) показана на рисунке 3.13 б. Прибор включает цилиндрический баллон 1, сообщающийся с атмосферой и наполненный водой. В баллон погружена трубка 2, к верхней части которой через трубопровод 3 и дроссельное устройство 4 подается компрессором воздух под давлением P . В трубке 2 поддерживается гидростатическое давление, определяемое высотой H

столба воды в баллоне 1. С трубкой 2 соединена камера 6, имеющая входное 5 и выходное 11 сопла, последнее установлено с зазором над поверхностью измеряемой детали 10. Для измерения переменного в камере давления P_k прибор снабжен водяным манометром в виде стеклянной трубки 7 со шкалой 8. Давление P_k определяется разностью уровней столбов воды в баллоне 1 и стеклянной трубке 7, которая соединена одним концом с камерой 6, а другим – с баллоном 1. Из трубки 2 воздух под постоянным давлением проходит через входное сопло 5 в камеру 6 и выходит через выходное (измерительное) сопло 11. От величины зазора S зависит давление P_k , а значит, и разность уровней h , отсчитываемая по шкале 8. Так, при уменьшении размера детали 10 зазор S возрастает, и уровень воды в стеклянной трубке повышается. На шкале 8 устанавливаются указатели допуска 9, между которыми должен находиться уровень воды в стеклянной трубке 7 при контроле годной детали.

Различные значения цены деления обеспечиваются с помощью сменных сопел с отверстиями различного диаметра. Предусмотрены цены деления 0,5; 1; 2; 5; 10 и 20 мкм с диапазоном измерений по шкале соответственно от 20 до 160 мкм.

Измерительные сопла. Рабочая часть измерительного сопла с цилиндрическим каналом представлена на рисунке 3.14 а. Размеры рабочей части стандартизированы. В пневматических приборах низкого давления применяются измерительные сопла с диаметром канала 2 мм (ГОСТ 8.341-79). В пневматических приборах высокого давления применяют измерительные сопла с диаметром канала 1 и 2 мм (ГОСТ 8.224-76).

Пробки пневматические (ГОСТ 14864-78) предназначены для контроля отверстий диаметром от 3 до 160 мм (рис. 3.14 б), с помощью длинномеров низкого и высокого давления.

Диаметральный зазор между минимальным диаметром отверстия и наружным диаметром пробки составляет 5–15 мкм.

Для регулировки и проверки отсчетного устройства прибора служат контрольные (регулируемые) кольца (ГОСТ 14865-78), которые поставляются совместно с пробками.

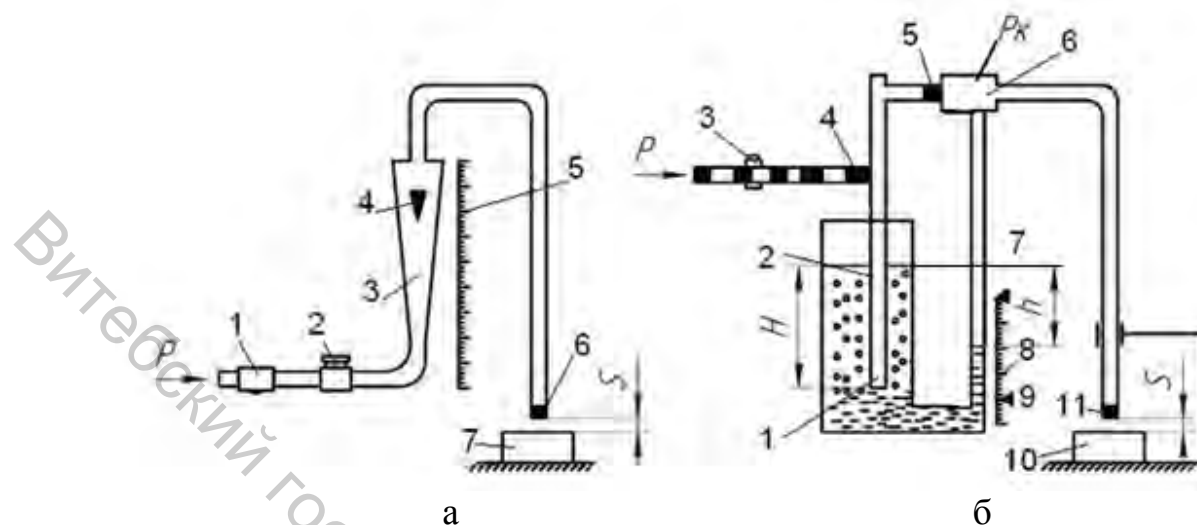


Рисунок 3.13 – Пневматические измерительные приборы:
а – ротаметрического типа: 1 – дроссель; 2 – фильтр; 3 – стеклянная трубка; 4 – поплавков; 5 – шкала; 6 – измерительное сопло; 7 – измеряемая деталь;
б – манометрического типа: 1 – баллон; 2 – трубка; 3 – трубопровод; 4 – дроссельное устройство; 5 – входное сопло; 6 – камера; 7 – трубка; 8 – шкала; 9 – указатель допуска; 10 – измеряемая деталь; 11 – выходное сопло

Контактные головки применяют в тех случаях, когда использование бесконтактных измерительных сопел невозможно (грубая шероховатость измеряемой детали, ограниченный размер этой поверхности или ограниченный доступ к этой поверхности).

К контактным головкам прибегают также в тех случаях, когда необходимо снизить чувствительность прибора и тем самым увеличить диапазон показаний. Изменение чувствительности достигается при использовании конического клапана, например, сопло-конус.

На рисунке 3.14 в представлена конструкция пневматической головки осевого типа с коническим клапаном. В корпусе 5 помещается втулка 6, в которой выполнены четыре продольных паза 11 для выхода воздуха. Внутри втулки перемещаются шток 7, заканчивающийся коническим клапаном 12. Седлом для клапана служит втулка 6. Пружина 9 создает измерительное усилие. Подводящий штуцер 10 ввернут в корпус 5. При перемещении штока 7 внутрь головки проходное сечение клапана и расход воздуха через головку увеличивается.

Контактная головка имеет несколько модификаций, отличающихся углом конуса клапана, что позволяет изменять чувствительность прибора в широком диапазоне.

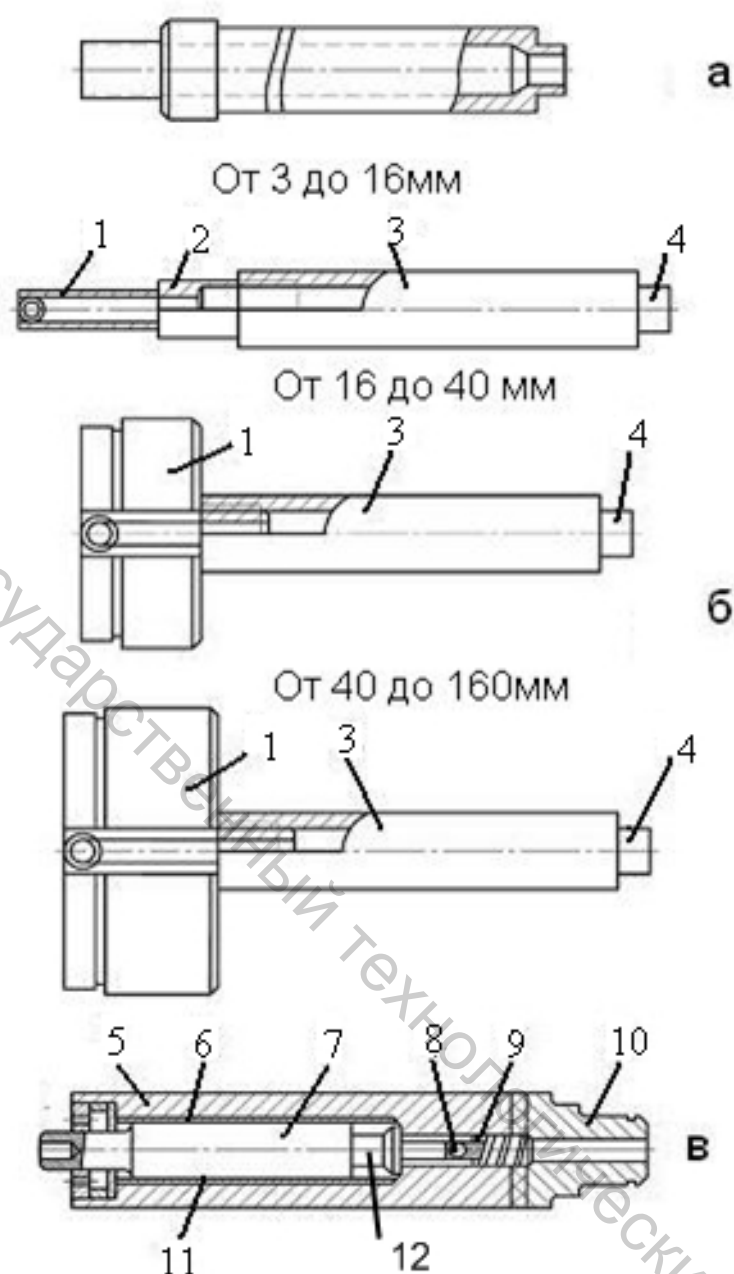


Рисунок 3.14 – Пневматическая измерительная оснастка:
а, б – пробки пневматические, *в* – головка контактная; 1 – вставка;
 2 – переходник; 3 – ручка; 4 – шланг; 5 – корпус; 6 – втулка;
 7 – шток; 8 – армированные элементы; 9 – пружина; 10 – штуцер;
 11 – каналы

Характеристики приборов приведены в таблицах 3.10 и 3.11.

Таблица 3.10 – Характеристики длинномеров ротаметрического типа (ГОСТ 14866-76)

Цена деления шкалы, мкм	Диапазон изме- рений, мм	Длина деления шкалы, мм	Допускаемая погреш- ность измерительной оснастки с диаметром сопла, мм				Размах показа- ний, мкм	Погрешность повторного включения, мкм	Диаметр сопла, мм
			1	2	1	2			
			Сопло		Пробка				
0,2	10	4	-	±0,2	-	-	0,1	0,1	2
0,5	20	5	±0,5	±0,35	-	-	0,2	0,2	1:2
1	35	5	±0,8	±0,6	±1,2	±1,2	0,4	0,4	1:2
2	60	6	±1,5	±1,5	±2,5	±2,5	0,6	0,6	1:2
5	100	9	±2,5	±2,5	±4	±4	1,2	1,2	1:2
10	160	10	-	±6	-	±8	2	2	2

Таблица 3.11 – Характеристики длинномеров манометрического типа (ГОСТ 11198-75)

Цена деле- ния	Предел измерения длинно- мером, оснащенного			Предел основ- ной до- пускае- мой по- грешно- сти	Размах показания длинномера	
	соплом	пневмо- пробкой	голов- кой		с соплом и голов- кой	с пнев- мо- пробкой
0,5	20	-	-	0,5	1/2 де- ления	1/3 де- ления
1	40	20	40	1		
2	80	40	80	2		
5	160	80	160	3		
10	-	160	320	8		
20	-	-	630	15		

3.5.2 Контроль глубоких отверстий пневматическими приборами

Для измерения диаметров глубоких отверстий по всей длине детали применяют звездки, которые должны удовлетворять следующим требованиям: а) обеспечение необходимой точности обмера; б) быстрое и удобное проведение всей контрольной операции; в) невысокая квалификация персонала; г) простота и надежность конструкции. Пневматиче-

ские звездки имеют ряд преимуществ по сравнению с измерительными устройствами, построенным по другим схемам: высокая точность обмеров; относительная независимость точности контроля от температуры; высокая производительность операции обмера.

Малые отверстия диаметром до 3 мм контролируются путем непосредственного пропускания воздуха. При этом определяется не диаметр, а поперечное сечение отверстия. Этот способ обмера особенно удобен для контроля размеров отверстий сопел, карбюраторных жиклеров, форсунок. В этих случаях обычно применяются приборы с водяным манометром.

Для измерения отверстий диаметром больше 3 мм применяются пневматические пробки с соплами. Пробка (рис. 3.15) имеет два одинаковых диаметрально расположенных измерительных сопла 1 и 2, через которые выходит воздух из прибора. Пробка крепится на штанге, которая связана с прибором шлангом. В пробку воздух поступает из прибора через центральное отверстие 3. Расход воздуха из сопел, а, следовательно, и показания прибора, определяются суммарной величиной зазоров между торцами сопел и поверхностью обмеряемого отверстия. Пневматическими пробками можно определить не только диаметр, но и геометрические отклонения, например, овальность, огранку и конусность. Для измерения отверстий малых диаметров (до 12 мм) применяются также цельные пневматические пробки с отверстиями вместо сопел. Для контроля отверстий больших диаметров (свыше 100 мм) применяются пробки составные, контактные, а также пневматические пробки облегченной конструкции в виде крестовин.

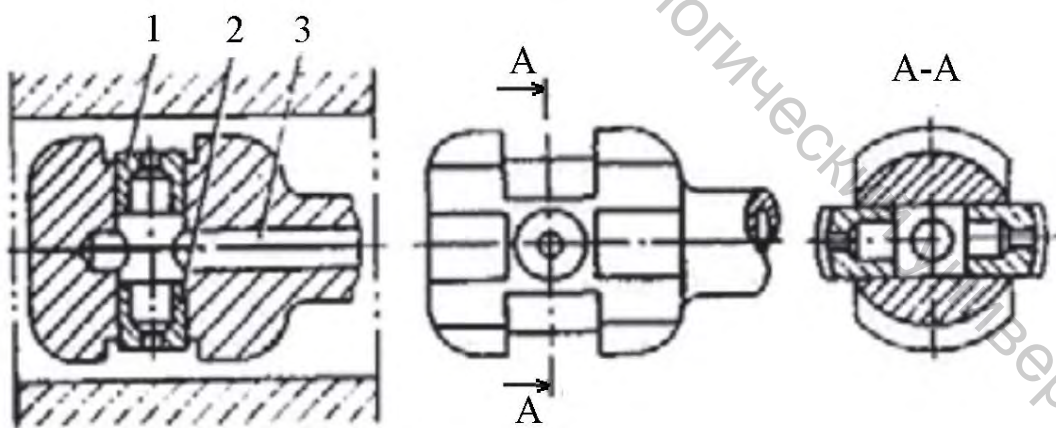


Рисунок 3.15 – Пробка для контроля глубоких отверстий:
1, 2 – измерительные сопла; 3 – центральное отверстие

3.6 Оптико-электронные приборы

3.6.1 Микроскопы инструментальные

Микроскопы предназначены для измерения в прямоугольных и полярных координатах линейных и угловых размеров резьбовых изделий, режущего инструмента, профильных шаблонов, кулачков, расстояний между отверстиями и т.д.

Инструментальные микроскопы (ГОСТ 8074-82) изготавливают типа А – без наклона колонки и типа Б – с наклоном колонки (рис. 3.16):

- с отсчетом по шкалам микрометрических головок;
- с цифровым отсчетом на индикаторном табло;
- с линейными шкалами;
- с полуавтоматической обработкой результатов измерений.

Основными частями микроскопа типа А (рис. 3.16, а) являются: основание 1; двухкоординатный стол 2; микрометрические головки или фотоэлектрические преобразователи 3, предназначенные для отсчета линейных перемещений стола; сменный объектив визирного микроскопа 4; тубус визирного микроскопа 5; отсчетный микроскоп угломерной головки 6; сменный окуляр визирного микроскопа 7; механизм фокусировки 8; винтовая колонка 9; осветитель 10 и цифровое отсчетное устройство.

Отличительной конструктивной особенностью микроскопа типа Б (рис. 3.16, б) является возможность наклона колонки 12 с помощью маховика 13.

К микроскопам прилагаются следующие принадлежности: сменные объективы с увеличением $1^{\times}$, $1,5^{\times}$, $3^{\times}$, $5^{\times}$, $10^{\times}$, $20^{\times}$, $40^{\times}$; окулярная угломерная головка; окулярная головка с набором профилей резьб; контактные приспособления для измерения отверстий; проекционное приспособление; приспособление для фотографирования; блок управления приводом; блок обработки информации; печатающее устройство.

Пример условного обозначения инструментального микроскопа с цифровым отсчетом на индикаторном табло, с линейными шкалами, с электроприводом измерительного стола, пределами измерения в продольном направлении 100 мм, в поперечном направлении 80 мм, с наклоном колонки: микроскоп инструментальный ИМЦЛ-1 100×80, Б, ГОСТ 8074-82.

Основные метрологические характеристики микроскопов приведены в таблице 3.12.

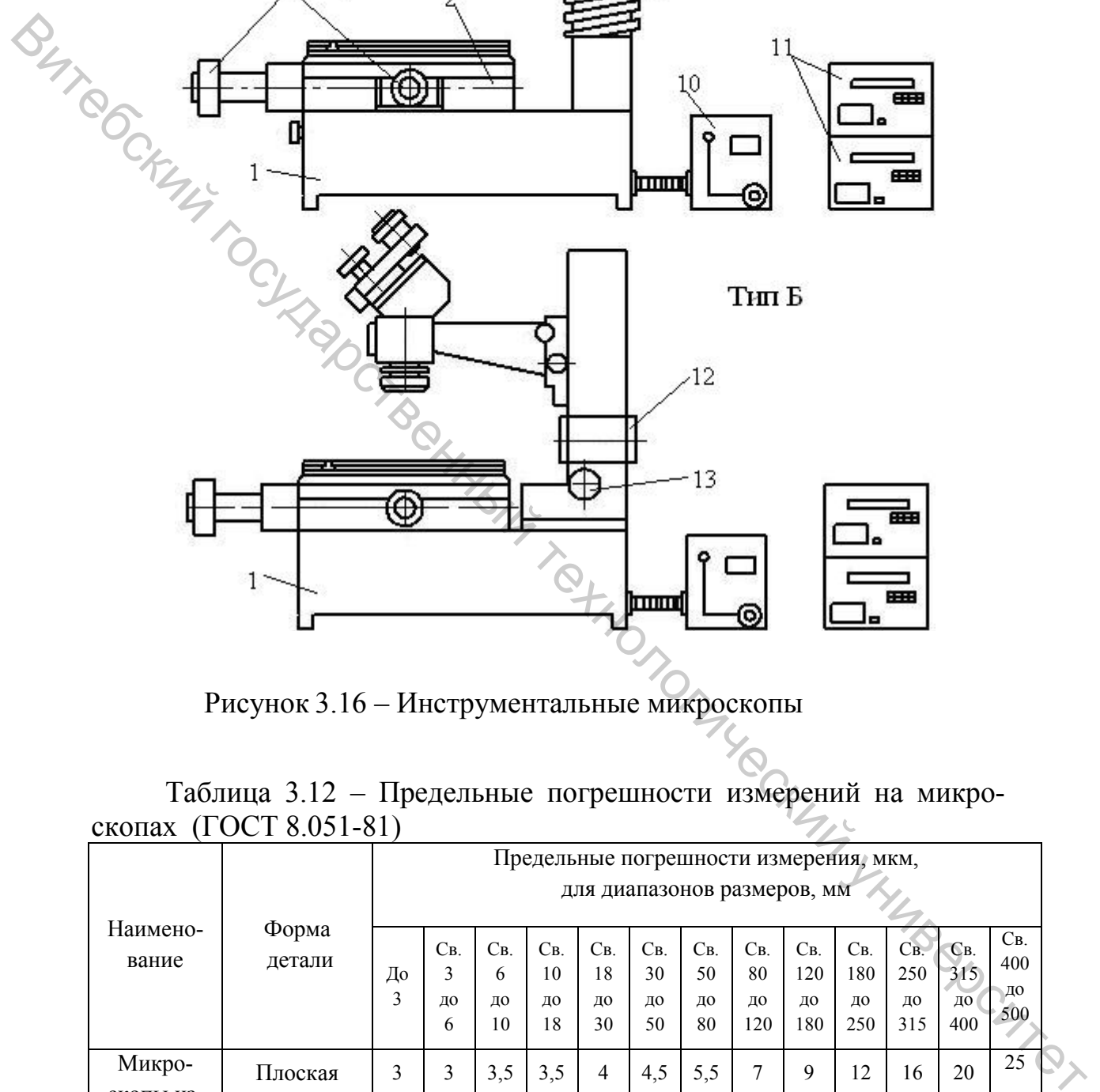


Рисунок 3.16 – Инструментальные микроскопы

Таблица 3.12 – Предельные погрешности измерений на микроскопах (ГОСТ 8.051-81)

Наименование	Форма детали	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазонов размеров, мм												
		До 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 10	Св. 10 до 18	Св. 18 до 30	Св. 30 до 50	Св. 50 до 80	Св. 80 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 315	Св. 315 до 400	Св. 400 до 500
Микроскопы измерительные универсальные	Плоская	3	3	3,5	3,5	4	4,5	5,5	7	9	12	16	20	25
	Цилиндрическая (в центрах)	6	6	6	6	6,5	6,5	7	8	-	-	-	-	-

3.6.2 Проекторы

Проекторы предназначены для измерения и контроля деталей, спроецированных на экран. Их используют для контроля деталей со сложными поверхностями и мелких деталей, например, мелко модульных зубчатых колес, мелких резьб, шаблонов, лекал и т.д.

Принцип действия проекторов заключается в том, что контролируемая деталь или её часть проецируется в увеличенном виде на экран. На экран можно проецировать чертеж, выполненный на стекле или кальке, с одним или двумя предельными контурами детали в масштабе, равном увеличению проектора. Деталь считается годной, если действительный контур её изображения на экране расположен между предельными контурами чертежа.

Оптическая система проекторов состоит из двух частей: осветительной и проекционной. Осветительная система служит для освещения объекта измерения, проекционная образует изображение на экране.

Измерения на проекторе можно производить в проходящем и отраженном свете. В проходящем свете измеряемый объект строится лучами, проходящими через объект по его краям. При этом на светлом поле экрана получается темное изображение объекта. В отраженном свете изображение измеряемого объекта строится на экране лучами, отраженными объектом.

Плоские изделия устанавливают на предметное стекло измерительного стола. Цилиндрические изделия с центровыми отверстиями устанавливают в центровые бабки.

Размеры на проекции определяют непосредственным измерением увеличенного изображения детали на экране или по показаниям отсчетных устройств, фиксирующих перемещения стола с измеряемой деталью.

В соответствии с ГОСТом 19795-82 проекторы в зависимости от размера меньшей стороны экрана изготавливают следующих типоразмеров: до 250 мм, свыше 250 до 400 мм, свыше 400 мм. Проекторы изготавливают с цифровым отсчетом на индикаторном табло или с отсчетом по шкале микрометрических винтов.

Проекторы могут быть с вертикально (В) и горизонтально (Г) расположенной оптической осью объектива.

Технические характеристики проекторов: линейное увеличение – $10^{\times}$, $20^{\times}$, $50^{\times}$, $100^{\times}$, $200^{\times}$; предел линейных измерений в направлении: продольном – 25, 40, 50, 75, 100 мм; поперечном – 25, 50 мм; цена деления шкалы нониусов отсчетных устройств для измерений: линейных – 0,001; 0,002; 0,005; 0,01 мм; угловых – 2'; 3'; 5'; дискретность цифрового отсчета при линейных измерениях – 0,0005; 0,001 мм.

Максимальный диаметр изделия, устанавливаемого в центрах бабки проектора: 60 мм для проектора типоразмера до 400 мм и 100 мм – свыше 400 мм.

Основные метрологические характеристики проекторов приведены в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Предельная погрешность измерений на проекторах (ГОСТ 8.051-81)

Наименование	Увеличение	Предельные погрешности измерения, мкм, для диапазонов размеров, мм						
		до 3	св. 3 до 6	св. 6 до 10	св. 10 до 18	св. 18 до 30	св. 30 до 50	св. 50 до 100
Проекторы измеритель- ные	10	15	15	15	15	16	16	16
	20	8	8	10	10	10	10	10
	50, 100, 200	6	6	6	6	7	7	7

Пример условного обозначения проектора с размером меньшей стороны экрана 360 мм, с цифровым отсчетом на индикаторном табло, с расположением оптической оси объектива в вертикальной плоскости: ПИ 360 ИВ ГОСТ 19795-82.

3.6.3 Измерительные оптоэлектронные машины

Измерительные оптоэлектронные машины основаны на объединении методов измерения на профильных проекторах и измерительных микроскопах. Машины работают по принципу обработки теневого силуэта детали в проходящем параллельном свете. Тень детали проецируется на фотодиодную матрицу, с помощью которой регистрируются форма и размер детали.

Изменения интенсивности света на границе перехода от тени к свету регистрируется, с высоким разрешением, фотоприемными ячейками. Каждая из которых состоит из нескольких тысяч фотодиодов, которые трансформируют изменения интенсивности света в электрические сигналы.

На рисунке 3.17 представлена оптико-электронная машина фирмы TESA-Scan, предназначенная для измерения деталей типа тел вращения.

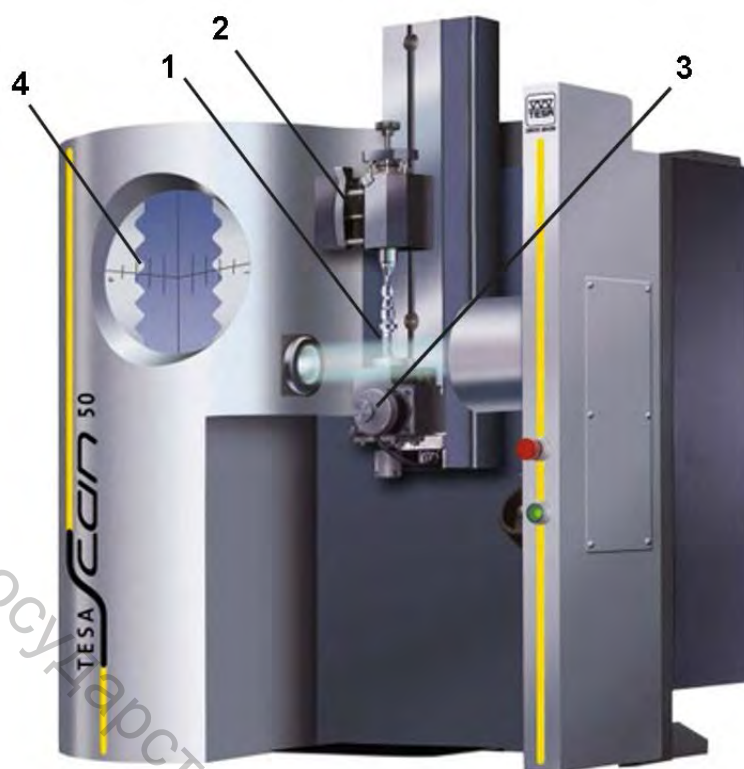


Рисунок 3.17 – Измерительная машина TESA-Scan:
1 – деталь; 2, 3 – верхняя и нижняя центровые бабки; 4 – экран

Измеряемая деталь 1 устанавливается вертикально в верхней 2 и нижней 3 центровых бабках. В процессе измерения детали сообщается вращательное и поступательное движение относительно оси. При этом диаметральные и осевые размеры регистрируются одновременно, и на экране 4 появляется двухмерное изображение измеряемой детали. Это позволяет быстро и с высокой точностью измерить линейные размеры детали, а также отклонения геометрической формы (отклонение от круглости, прямолинейности, цилиндричности).

Программное обеспечение предоставляет возможность визуального сравнения элементов измеряемой формы с номинальной, а также документировать все параметры измерений. На машине можно производить измерение деталей с диаметрами от 0,3 мм до 80 мм длиной до 500 мм.

3.7 Приборы для измерения углов

3.7.1 Угломеры

Угломеры с нониусом (ГОСТ 5378-88) выпускаются четырех типов (рис. 3.18):

- тип 1 для измерения наружных углов от 0 до 180° с величиной отсчета по нониусу 2' и 5';
- тип 2 для измерения наружных углов от 0 до 360° и внутренних от 40 до 180°;
- тип 3 для измерения наружных углов от 0 до 360° с величиной отсчета по нониусу 5' и 10';
- тип 4 для измерения наружных углов от 0 до 180° с величиной отсчета по нониусу 10'.

Предел допустимой погрешности для нониусных угломеров составляет $\pm 2' \dots \pm 10'$.

Пример условного обозначения угломера типа 1 со значением отсчета по нониусу 2': угломер типа 1–2 ГОСТ 5378-88.

3.7.2 Синусные линейки

Синусные линейки – это специальные приспособления, предназначенные для измерения наружных углов до 45° косвенным (тригонометрическим) методом, а также для установки изделий на металлорежущих станках под заданным углом. В соответствии с ГОСТом 4046-80 линейки изготавливают трех типов: ЛС – без опорной плиты с одним наклоном (рис. 3.19 а); ЛСО – с опорной плитой и одним наклоном (рис. 3.19 б); ЛСД – с опорной плитой и двумя наклонами (рис. 3.19 в).

Синусные линейки типа ЛС имеют столик 1 с двумя прикрепленными к нему цилиндрическими роликами 2. При этом ролики выполняются одинакового диаметра и выставляются так, чтобы они были параллельны. На расстояние L между осями назначается жесткий допуск. К плите с помощью винтов прикреплены планки 3, предназначенные для удержания контролируемого изделия на плите. Изделие на плите закрепляется с помощью струбцин.

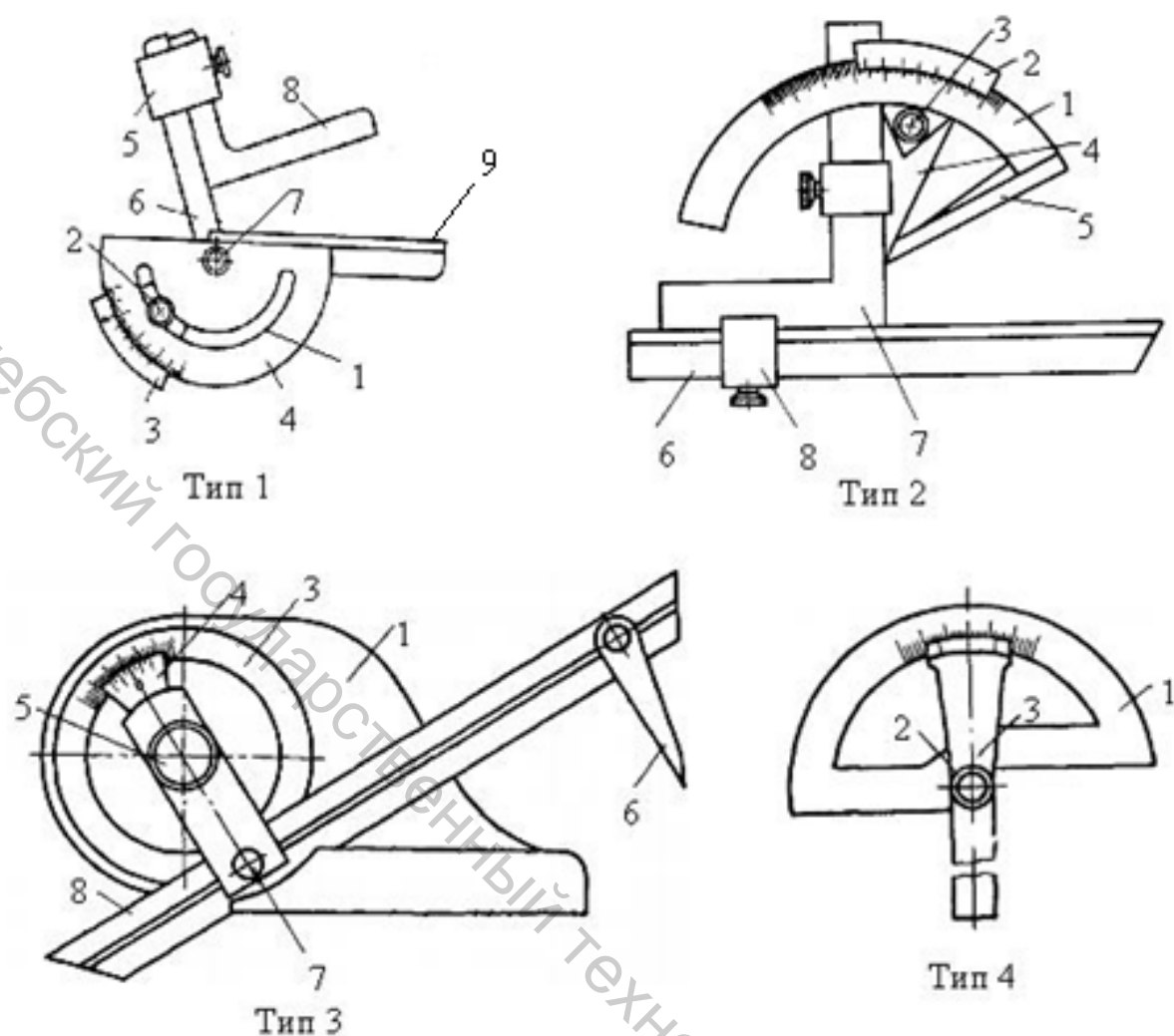


Рисунок 3.18 – Угломеры с нониусом:

- тип 1:* 1 – сектор; 2 – стопор; 3 – нониус; 4 – основание; 5 – державка;
6 – линейка; 7 – ось; 8 – угольник; 9 – линейка основная;
- тип 2:* 1 – основание; 2 – нониус; 3 – стопор; 4 – сектор; 5 – линейка
основная; 6 – линейка съемная; 7 – угольник; 8 – державка;
- тип 3:* 1 – корпус; 2 – неподвижное плечо; 3 – круговая шкала;
4 – нониус; 5 – установочная кнопка; 6 – вспомогательное плечо;
7 – зажимная кнопка; 8 – измерительное плечо;
- тип 4:* 1 – основание; 2 – стопор; 3 – нониус

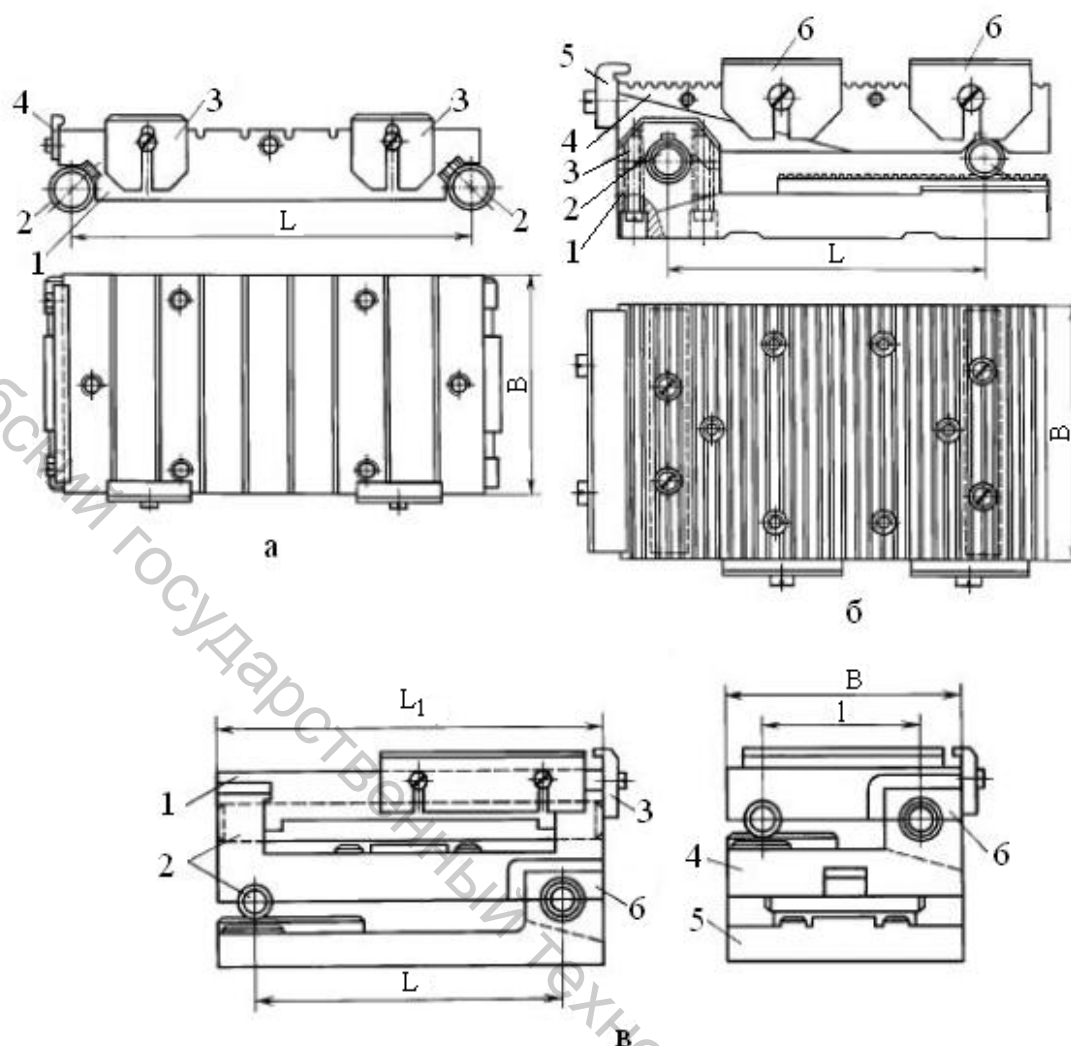


Рисунок 3.19 – Синусные линейки:

- а – тип ЛС: 1 – столик; 2 – ролик; 3 – боковые планки;
 4 – упорная планка; б – тип ЛСО: 1 – опорная плита; 2 – ролики;
 3 – крышка; 4 – столик; 5 – упорная планка; 6 – боковые планки;
 в – тип ЛСД: 1 – столик; 2 – ролики; 3 – упорные планки; 4 – средняя
 плита; 5 – опорная плита; 6 – крышка

При измерении угла наружных конусов (рис. 3.20, а) измеряемое изделие закрепляют на столе с помощью установочного устройства 1. Синусную линейку с изделием устанавливают на поверочную плиту 5. Под один из роликов подкладывают блок плоских концевых мер, высоту которого определяют из соотношения

$$H = L \sin \alpha, \quad (3.3)$$

где H – размер блока, L – расстояние между осями роликов; α – номинальный угол.

Отсчетное устройство 4 настраивают на нулевую отметку. При перемещении измерительной головки вдоль образующей конуса путем измерения высоты блока концевых мер добиваются, чтобы отсутствовало отклонение стрелки отсчетного устройства, т.е. стрелка находилась на нулевой отметке. Значение действительного угла находят по соотношению (3.3)

Измерение угла внутренних конусов (рис. 3.20 б) производят аналогично измерению наружных конусов.

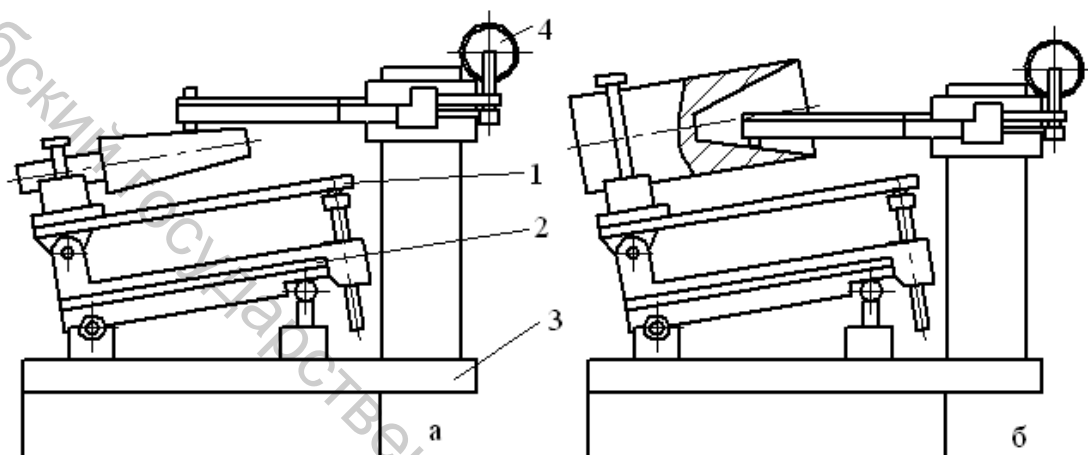


Рисунок 3.20 – Схема измерений на синусной линейке углов конусов:
 а – наружного, б – внутреннего; 1 – установочное устройство;
 2 – синусная линейка; 3 – стол; 4 – отсчетное устройство

Пример условного обозначения синусной линейки с двумя наклонами типа ЛСД с размерами $L = 300$ мм, $l = 150$ мм, $B = 180$ мм 1-го класса точности: линейка ЛСД 300×150×180 1 ГОСТ 4046-86.

3.7.3 Уровни

Уровень – прибор, предназначенный для измерения уклонов плоских, конических и цилиндрических поверхностей. Основными элементами всех уровней являются ампулы. В соответствии с ГОСТом 2386-73 ампулы делятся на следующие типы:

- АК – круглая, малой точности со шкалой в виде круговых рисок (рис. 3.21 а);
- АЦП – цилиндрическая простая, малой и средней точности со штриховой шкалой (рис. 3.21 б);

- АЦК – цилиндрическая компенсированная (с компенсационной трубкой внутри ампулы) средней и высокой точности (рис. 3.21 в);
- АЦР – цилиндрическая камерная ампула (с регулируемой длиной пузырька) средней точности со штриховой шкалой (рис. 3.21 г).

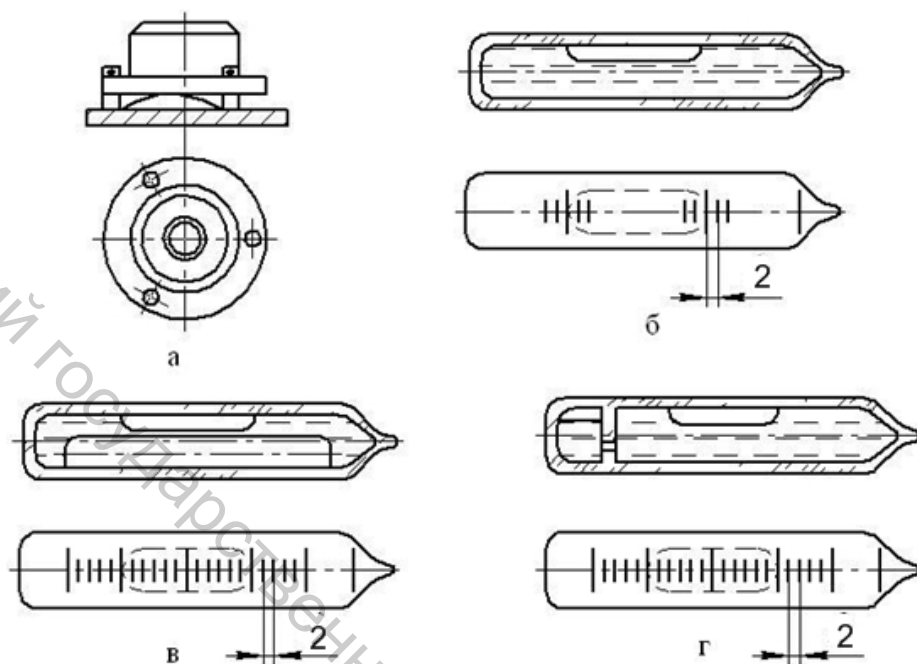


Рисунок 3.21 – Типы ампул:
а – АК, б – АЦП, в – АЦК, г – АЦР

В ампулах типа АЦК в качестве компенсатора используется стеклянная трубка, запаянная и закругленная с обоих концов. Трубка помещается внутри ампулы. При неизменных размерах ампулы трубка уменьшает объем жидкости, закачиваемой в ампулу. Вследствие разности коэффициентов линейного расширения жидкости и стеклянной трубки изменение длины пузырька будет минимизировано.

В ампулах типа АЦР с помощью перегородок оборудована камера, которая предназначена для изменения длины пузырька. Ампулу поворачивают таким образом, чтобы часть воздуха переместилась из камеры в пузырек или наоборот – из пузырька в камеру в зависимости от изменения температуры.

Брусковые уровни (ГОСТ 9392-89) предназначены для контроля горизонтального расположения поверхностей при монтаже и проверке точности станков и других видов оборудования. По конструктивным признакам брусковые уровни делятся на нерегулируемые и регулируемые. У нерегулируемых брусковых уровней ампулу устанавливают в корпусе и заливают твердеющим составом.

Брусковые регулируемые уровни (рис. 3.22 а) устроены следующим образом. В корпусе 2 в оправке укреплены две ампулы

(рис. 3.22 а): основная (продольная) 3 и установочная 6. Правая часть ампулы 3 крепится к корпусу 2 через плоскую пружину винтом 5; левая часть через спиральную пружину винтом 1. На нижней части корпуса 2 выполнена призматическая канавка для установки на цилиндрическую поверхность изделия.

Рамный уровень (ГОСТ 9392-89) (рис. 3.22 б) предназначен для контроля горизонтального и вертикального расположения поверхностей при монтаже и проверке оборудования. Он оснащен двумя ампулами (рис. 3.22 б): основной (продольной) 1 и установочной (поперечной) 2. Положение продольной ампулы регулируется винтом 3. Цена деления основной ампулы брускового и рамного уровней для трех групп точности составляет: 1 группа – 4...10" или 0,02...0,05 мм/м; 2 группа – 12...20" или 0,06...0,1 мм/м; 3 группа – 24...40" или 0,12...0,2 мм/м.

Уровни с микрометрической подачей ампулы. В соответствии с ГОСТом 11196-74 уровни изготавливают двух типов: с ценой деления 0,01 мм/м (2") и пределами измерений не менее ± 10 мм/м ($\pm 34'$) и с ценой деления 0,1 мм/м (20") и пределами измерений не менее ± 30 мм/м ($\pm 1^\circ 43'$).

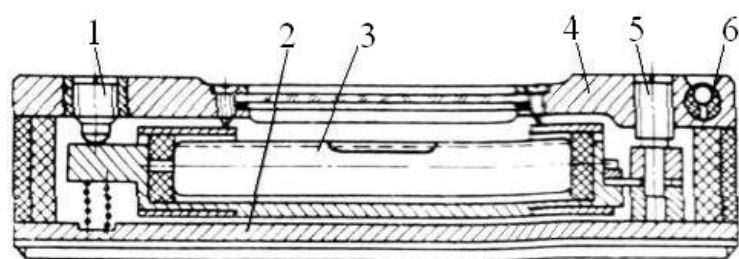
На рисунке 3.22 в представлен уровень второго типа, который включает оправку 1 с продольной ампулой 2, шарнирно закрепленной на стебле 5 микрометрической головки. Микрометрическая головка состоит из микровинта 4, стебля 5 и барабана 6. В корпусе 3 микровинт фиксирован. Поэтому при вращении микровинта перемещается в осевом направлении только стебель 5 и оправка 1 с ампулой 2. Наклон контролируемой поверхности изделия определяется по шкале микрометрической головки. Точность уровней зависит от цены деления (табл. 3.14).

Таблица 3.14 – Предельно допустимая погрешность измерений уровнями

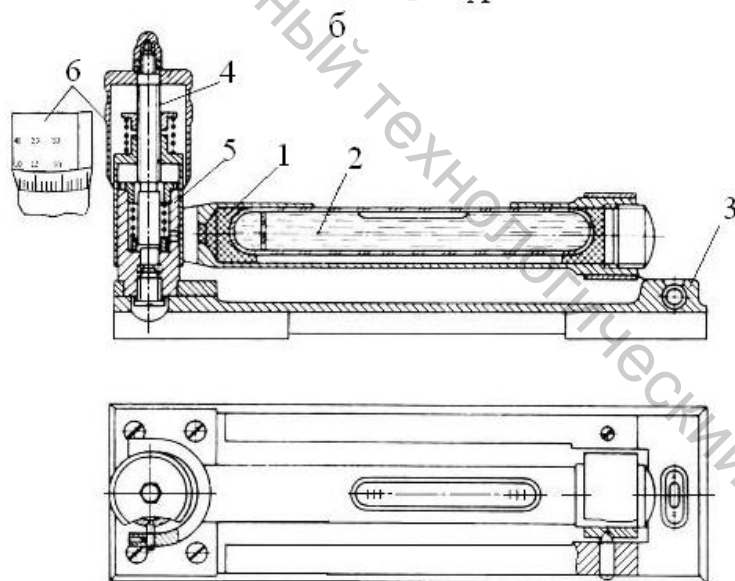
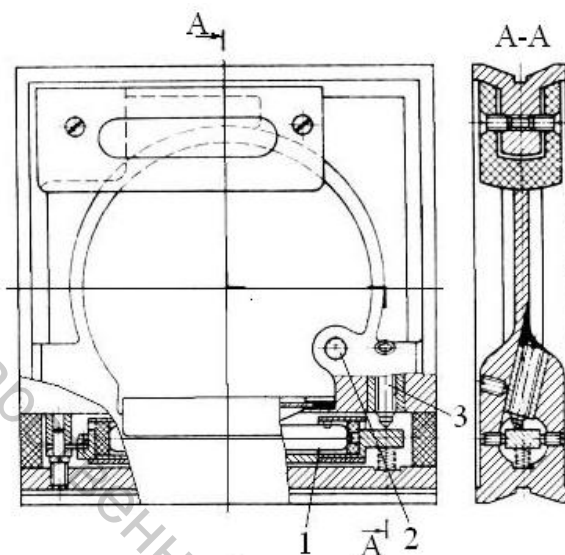
Цена деления уровня, мм	Допустимая погрешность измерения, мм
0,01	$\pm 0,005$
0,02	$\pm 0,006$
0,05	$\pm 0,015$
0,1	$\pm 0,03$
0,15	$\pm 0,04$

Пример условного обозначения рамного уровня с рабочей поверхностью длиной 200 мм и ценой деления продольной ампулы 0,02 мм/м: уровень рамный 200-0,02 ГОСТ 9392-89.

Пример обозначения брускового уровня с рабочей поверхностью длиной 150 мм и ценой деления продольной ампулы 0,1 мм/м: уровень брусковый 150-0,1 ГОСТ 9392-89.



а



в

Рисунок 3.22 – Уровни:

- а* – брусковый: 1, 5 – винты; 2 – корпус; 3 – продольная ампула;
 4 – корпус; 6 – поперечная ампула; *б* – рамный: 1 – продольная ампула;
 2 – поперечная ампула; 3 – винт регулировочный; *в* – с микрометри-
 ческой подачей ампулы: 1 – оправка; 2 – продольная ампула;
 3 – корпус; 4 – микрометрический винт; 5 – стебель; 6 – барабан

3.8 Выбор средств измерений

Погрешности измерений зависят непосредственно от средств измерений, установочных мер длины, измерительного усилия, температурных деформаций.

Погрешности, зависящие от средств измерения, следует рассматривать как погрешность измерения при одном из возможных вариантов использования этого измерительного средства, например, для измерения наружных, внутренних поверхностей, закрепленных в штативе и т.д.

Погрешности от установочных мер определяются точностью их изготовления, аттестацией, износом в процессе притирания.

Погрешности, зависящие от измерительного усилия, обусловлены упругими деформациями элементов измерительных средств, а также объектов измерения.

Погрешности, обусловленные температурными деформациями, зависят от физических свойств материалов деталей приборов и объектов измерения температурных полей, условий теплопередачи.

Любое средство измерения характеризуется погрешностью, числовое значение которой приведено в таблицах 3.1–3.14.

Стандартом (табл. 3.15) установлены наибольшие погрешности измерения, которые включают случайные, систематические погрешности, а также все составляющие, зависящие от измерительных средств, установочных мер, температуры, деформаций и т.д.

В лабораторных условиях выбор средства измерения состоит в сравнении их основной погрешности с допустимой погрешностью средства измерения. Числовые значения допустимой погрешности определяют из таблицы 3.15, а по таблицам 3.1–3.14 определяют основные погрешности средства измерения. Погрешности средств измерения должны быть меньшими или равны допустимой погрешности.

В производственных условиях выбор средств измерения можно производить по упрощенной схеме, используя таблицу 3.16.

Например, если нужно выбрать прибор для измерения диаметра вала 25h6 и отверстия 25H6, то по графе диапазона наружных размеров изделий свыше 18 до 50 мм, опускаясь вниз, находят квалитет точности вала 6, а по горизонтали для квалитета 6 – название измерительного прибора «Скоба рычажная». По графе диапазона внутренних размеров изделий свыше 18 до 50 мм по вертикали и горизонтали для квалитета 6 устанавливают показания измерительного прибора «Индикаторный нутромер повышенной точности» с ценой деления 0,001 мм.

Таблица 3.15 – Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров (ГОСТ 8.051-81)

Квалитеты	Номинальные размеры, мм																											
	До 3		Св.3–6		Св. 6–10		Св. 10–18		Св. 18–30		Св. 30–50		Св. 50–80		Св. 80–120		Св. 120–180		Св. 180–250		Св. 250–315		Св. 315–400		Св. 400–500			
	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>	<i>T</i>	<i>δ</i>		
	МКМ																											
2	1,2	0,4	1,5	0,6	1,5	0,6	2,0	0,8	2,5	1,0	2,5	1,0	3,0	1,2	4,0	1,6	5,0	2,0	7,0	2,8	8,0	3,0	9,0	3,0	10,0	4,0		
3	2,0	0,8	2,5	1,0	2,5	1,0	3,0	1,2	4,0	1,4	4,0	1,4	5,0	1,8	6,0	2,0	8,0	2,8	10	4,0	12	4,0	13	5,0	15	5,0		
4	3,0	1,0	4,0	1,4	4,0	1,4	5,0	1,6	6,0	2,0	7,0	2,4	8,0	2,8	10	3,0	12	4,0	14	5,0	16	5,0	18	6,0	20	6,0		
5	4,0	1,4	5,0	1,6	6,0	2,0	8,0	2,8	9,0	3,0	11	4,0	13	4,0	15	5,0	18	6,0	20	7,0	23	8,0	25	9,0	27	9		
6	6,0	1,8	8,0	2,0	9,0	2,0	11	3,0	13	4,0	16	5,0	19	5,0	22	6,0	25	7,0	29	8,0	32	10	36	10	40	12		
7	10,0	3,0	12	3,0	15	4,0	18	5,0	21	6,0	25	7,0	30	9,0	35	10	40	12	46	12	52	14	57	16	63	18		
8	14	3,0	18	4,0	22	5,0	27	7,0	33	8,0	39	10	46	12	54	12	63	16	72	18	81	20	89	24	97	26		
9	25	6,0	30	8,0	36	9,0	43	10	52	12	62	16	74	18	87	20	100	30	115	30	130	30	140	40	155	40		
10	40	8,0	48	10	58	12	70	14	84	18	100	20	80	30	140	30	160	40	185	40	210	50	230	50	250	50		
11	60	12	75	16	90	18	110	30	130	30	160	40	190	40	220	50	250	50	290	60	320	70	360	80	400	80		
12	100	20	120	30	150	30	180	40	210	50	250	50	300	60	350	70	400	80	460	100	520	120	570	120	630	140		
13	140	30	180	40	220	50	270	60	330	70	390	80	460	100	540	120	630	140	720	160	810	180	890	180	970	200		
14	250	50	300	60	360	80	430	90	520	120	620	140	740	160	870	180	1000	200	1150	240	1300	260	1400	280	1550	320		
15	400	80	480	100	580	120	700	140	840	180	1000	200	1200	240	1400	280	1600	320	1850	380	2100	440	2300	460	2500	500		
16	600	120	750	160	900	200	1100	240	1300	280	1600	320	1900	400	2200	440	2500	500	2900	600	3200	700	3600	800	4000	800		
17	1000	200	1200	240	1500	300	1800	380	2100	440	2500	500	3000	600	3500	700	4000	800	4600	1000	5200	1100	5700	1200	6300	1400		
В таблице обозначены: <i>T</i> – допуск на линейный размер, мм, <i>δ</i> – допускаемая погрешность измерения линейного размера, мм.																												

Примечание. Разрешается увеличение допускаемой погрешности измерения, указанной в таблице, при уменьшении допуска размера, а также в случае разделения изделий на размерные группы для селективной сборки.

Таблица 3.16 – Наивысшие по точности качества размеров, измеряемых приборами с учетом погрешностей их измерений

Измерительный прибор	Цена деления, мм	Диапазон размеров изделий, мм							
		От 1 до 3	Св. 3 до 6	Св. 6 до 18	Св. 18 до 50	Св. 50 до 120	Св. 120 до 180	Св. 180 до 250	Св. 250 до 500
Измерение наружных линейных размеров									
		Квалитеты							
Штангенциркуль	0,1 0,05	17 16	16 15	16 15	15 14	15 13	14 13	14 12	14 12
Микрометр: гладкий рычажный	0,01	9	9	8	8	9	9	9	9
	0,002	9	8	7	7	8	8	9	9
Скоба: индикаторная рычажная	0,01	12	11	11	10	9	9	9	10
	0,002	9	8	7	6	6	7	-	-
Инструментальный микроскоп	0,005	9	9	8	7	7	-	-	-
Измерение размеров измерительными головками в стойках и штативах									
		Квалитеты							
Индикатор: часового типа	0,01	12 11	12 10	12 10	11 9	10 8	9 7	9 7	9 6
	0,02	9	8	7	6	6	5	-	-
многооборотный Рычажно- зубчатая головка	0,002	9	8	7	6	6	5	5	-
	0,001	7	6	5	5	5	5	5	-
Пружинная головка	0,01	9	9	8	7	6	5	-	-
	0,005	8	7	6	5	5	5	-	-
	0,002	5	5	5	5	5	5	-	-
Измерение внутренних линейных размеров									
		Квалитеты							
Штангенциркуль	0,1 0,05	17 17	17 16	16 16	15 14	15 14	15 14	15 14	15 14
Микрометрический нутромер	0,01	-	-	-	-	9	9	9	9
Индикаторный нутромер	0,01	12	11	11	11	10	9	9	9
	0,002	9	8	7	7	7	7	7	7
То же, повышенной точности	0,001	8	7	7-6	6	6	6	6	-
Инструментальный микроскоп	0,005	10	10	9	9	8	7	7	-
Пневматический длинномер с пробкой	0,0005	-	-	8	7	6	-	-	-

4 ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

4.1 Измерение размеров цилиндрических поверхностей

4.1.1 Измерение отверстий

Малые отверстия (до 3 мм) измеряют пневматическими приборами, микроскопами, проекторами, нутромерами.

Пневматический метод измерения рекомендуется применять при измерении отклонений в пределах 100...150 мкм. При таких отклонениях линейность шкал удовлетворительная, а при больших – появляется значительная нелинейность шкал.

При измерении отверстий диаметром 0,1...2 мм пневматическим методом контролируют не диаметр, а площадь поперечного сечения (рис. 4.1 а). Измерение отверстий диаметром 2...6 мм осуществляется по схеме рисунка 4.1 б. В этом случае в отверстие диаметром D вставляют аттестованный стержень диаметром d , т.е. фактически определяют площадь кольца, образованного поверхностями отверстия и стержня. К результату измерения прибавляют площадь сечения стержня $\pi d^2/4$. В качестве примеров применения пневматического метода можно назвать измерение площади сечений отверстий сопел, мундштуков газовых горелок.

В случае измерений отверстий большого диаметра калибр-пробка должна иметь два измерительных сопла с одинаковыми диаметрами отверстий (рис. 4.1 в).

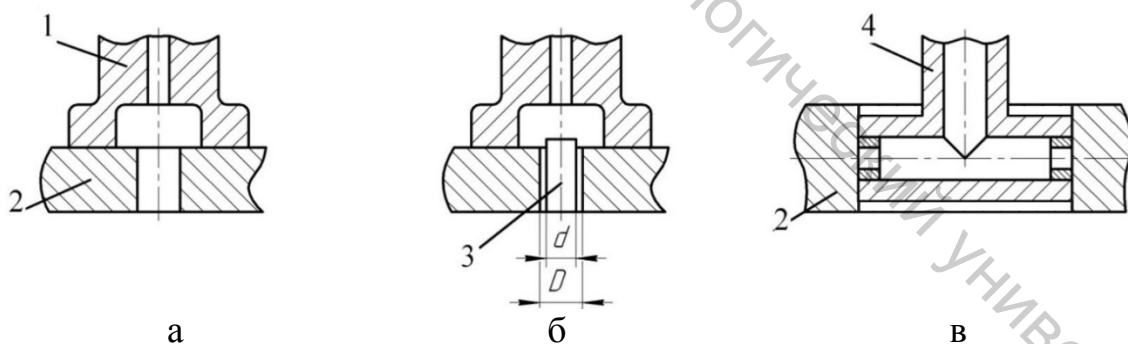


Рисунок 4.1 – Схемы измерений отверстий пневматическим способом:

а – $D < 2$ мм, б – $2 < D < 6$ мм, в – $D > 6$ мм;

1 – пневматические сопла; 2 – измеряемая деталь;

3 – стержень; 4 – калибр-пробка

Отверстия диаметрам от 0,05 до 2 мм также измеряют измерительными микроскопами и проекторами.

Увеличение микроскопов достигает 500^x , а предел допустимой погрешности составляет 0,3...0,4 мкм.

Проекторы для измерения малых отверстий выпускают с увеличением $1000^{\times}$ и полем зрения $0,9 \dots 0,4$ мм. Погрешность измерений не превышает $0,1$ мкм.

Основными приборами для измерения отверстий являются нутромеры. Для измерения малых отверстий применяются нутромеры, основанные на сочетании конической иглы с цилиндрической втулкой. Иглу вводят в измеряемое отверстие и по глубине погружения иглы в отверстие судят о величине диаметра. На величину погружения иглы в отверстие существенное влияние оказывает форма отверстия, и, в первую очередь, наличие фаски, которая способствует более глубокому погружению иглы в отверстие, а это значит, размеры отверстия завышаются.

Отверстия диаметром более 3 мм измеряют нутромерами, работающими по двухточечной схеме измерения, т.е. измерение производится двумя наконечниками, расположенными диаметрально. Перед измерением нутромеры настраивают по блоку концевых мер. Для центрирования нутромера в измеряемом отверстии предусмотрены центрирующие мостики, опорные поверхности которых расположены симметрично относительно измерительных наконечников.

При измерении мостик нутромера устанавливает измерительные наконечники в диаметральной плоскости отверстия. Установку правильного положения нутромера производят его покачиванием в осевой плоскости до получения минимальных показаний. Диапазон измерения нутромеров обеспечивается сменными измерительными стержнями различной длины, закрепляемыми в корпусе.

Измерение диаметров неглубоких отверстий может производиться штангенциркулями, однако глубина измерения ограничивается размерами измерительных губок штангенциркуля.

Для измерения диаметра по всей длине глубокого отверстия применяют специальные измерительные приборы – звездочки. Конструктивно звездочки схожи с нутромерами, но в отличие от нутромеров обеспечивают продольные (ручные или механические) перемещения измерительной головки прибора вдоль оси контролируемого отверстия.

4.1.2 Измерение валов

Для точных измерений валов малых размеров (до 3 мм) рекомендуется настольная скоба с пружинной головкой в качестве отсчетного устройства (рис. 4.2).

Основные характеристики скобы: диаметр измерений $0 \dots 3$ мм; цена деления $0,0002$ мм; предел допускаемой погрешности $\pm 0,45$ мкм.

Для измерения наружных размеров более 3 мм широко используют стационарные приборы: длинномеры, универсальные и инструментальные микроскопы, измерительные машины, пневматические измерительные приборы.

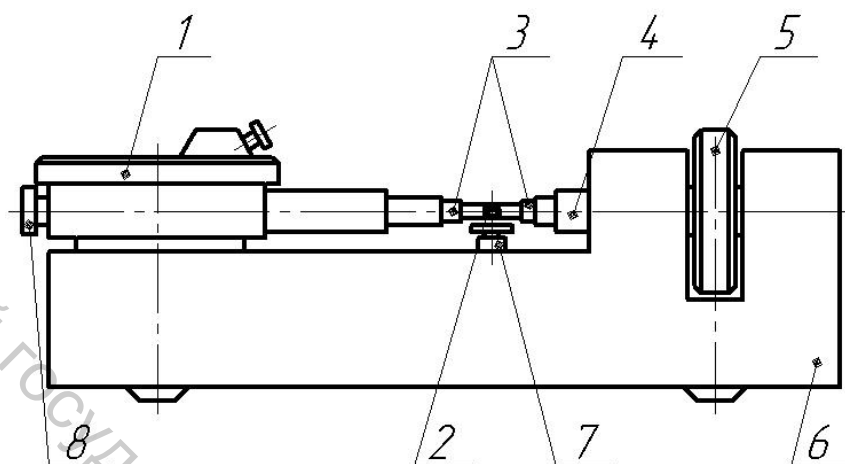


Рисунок 4.2 – Скоба настольная:

- 1 – измерительная головка; 2 – измерительный стержень;
3 – измерительные наконечники; 4 – переставная пятка;
5 – гайка; 6 – основание; 7 – столик; 8 – арретир

Применение перечисленных средств определяется размерами контролируемых поверхностей, с увеличением которых возрастают размеры приборов, а возможности их применения уменьшаются. Для размеров валов более 200 мм основными приборами становятся микрометрические и индикаторные скобы (рис. 4.3), диапазон измерений, которых составляет: 200...600; 500...1500; 500...3000 мм. В соответствии с размерами масса скоб может изменяться от 2 до 18 кг.

Влияние повышенной массы приборов очевидно. Возникают дополнительные погрешности измерений, обусловленные увеличением усилия измерения, упругой и температурной деформацией скобы, а также особенностями самого измерения, а самое главное, действием сил гравитации.

Универсальный электронный измерительный прибор фирмы TESA (рис. 4.4) позволяет решить множество проблем, связанных с измерениями изделий больших размеров.

Основными конструктивными элементами прибора являются корпус 1, в котором на расстоянии L строго параллельно закреплены базовые ролики 2 и 3. Подвижный ролик 4 установлен в поворотном рычаге 5. В корпусе установлено электронное отсчетное устройство 6.

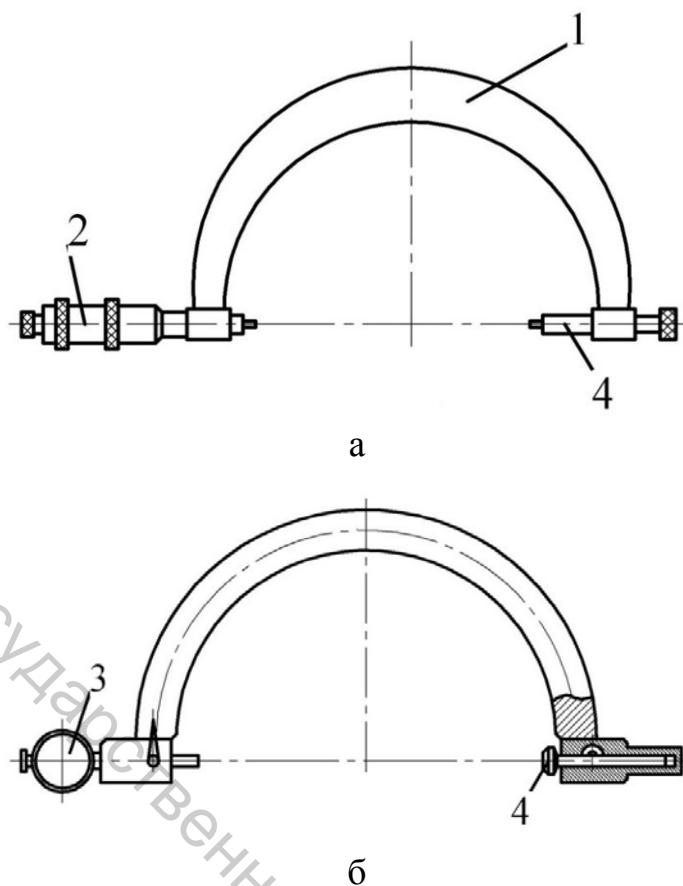


Рисунок 4.3 – Скобы:

а – микрометрическая, *б* – индикаторная;
 1 – корпус; 2 – микрометрическая головка;
 3 – индикаторная головка; 4 – пята регулируемая

В процессе измерения ролики 2, 3, 4 контактируют в трех точках, образуя две хорды: между базовыми роликами 2, 3 и между роликами 3, 4 (рис. 4.4 б). Электронное устройство измеряет угол поворота рычага 5 относительно линии, соединяющей оси базовых роликов 2, 3 и автоматически обрабатывает результаты угловых измерений и на табло высвечиваются диаметры наружных или внутренних поверхностей.

Прибор отличается простотой конструкции, незначительным весом, легкостью и доступностью в обращении, широким диапазоном измерений и универсальностью. На нем можно производить не только линейные, но и угловые измерения.

4.2 Измерение элементов шлицевого соединения с прямоугольным профилем

В индивидуальном и мелкосерийном производстве поэлементные измерения осуществляют универсальными измерительными средствами

с применением блоков концевых мер. Размеры и расположение шлицов во втулках определяют на инструментальных и универсальных микроскопах.

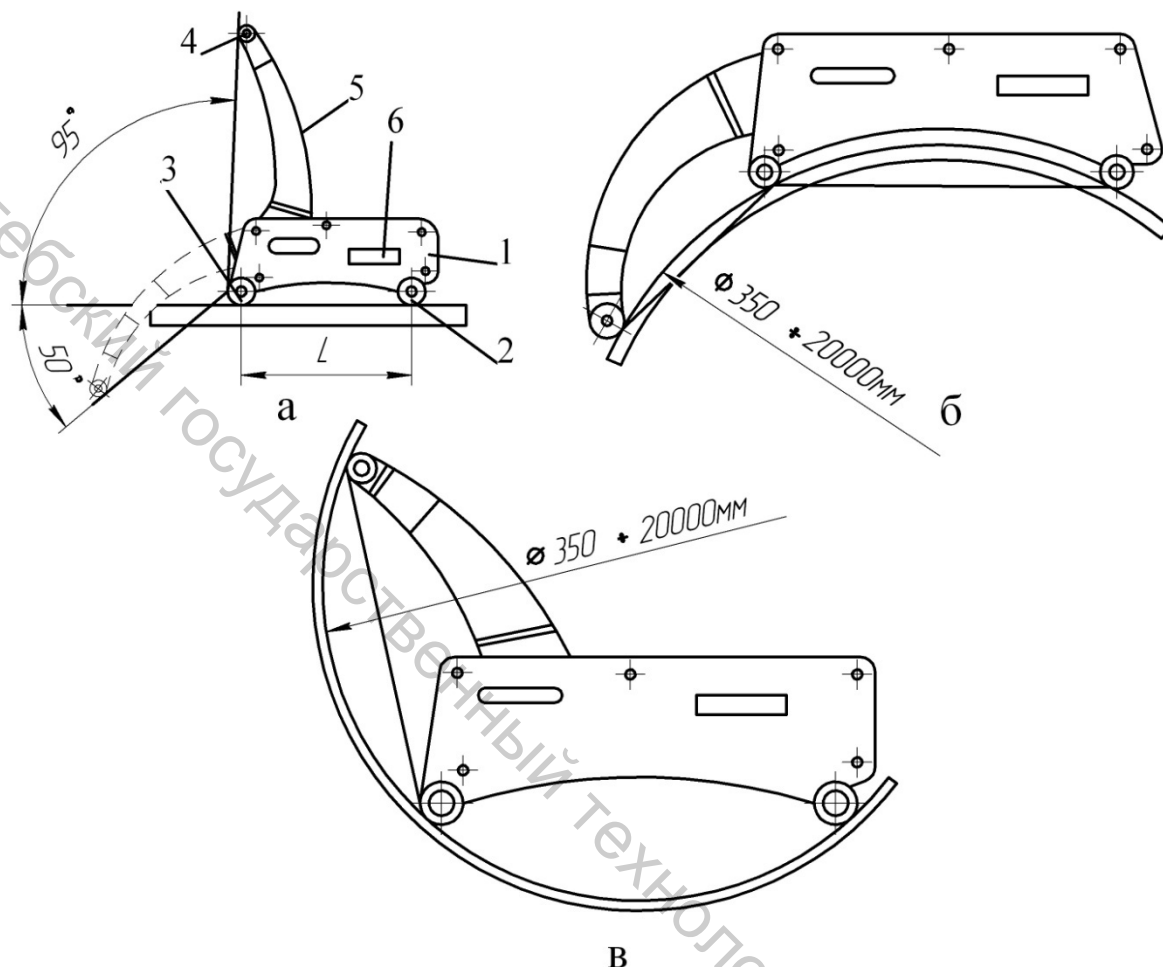


Рисунок 4.4 – Универсальный измерительный прибор для измерения:
 а – углов, б – диаметральных размеров наружных цилиндрических поверхностей, в – диаметральных размеров внутренних цилиндрических поверхностей; 1 – корпус; 2, 3 – базовые неподвижные ролики; 4 – подвижный ролик; 5 – поворотный рычаг; 6 – электронное отсчетное устройство

Шаг шлицевого вала измеряют с помощью оптической делительной головки, установленной на поверочной плите и индикатора закрепленного на стойке (рис. 4.5 а). Индикатор на боковой поверхности шлица настраивают на нулевое положение, затем подвигают стойку, а измеряемый вал поворачивают на один шлиц. Передвигая индикатор в фиксированное положение на последующий зуб, определяют отклонение шага.

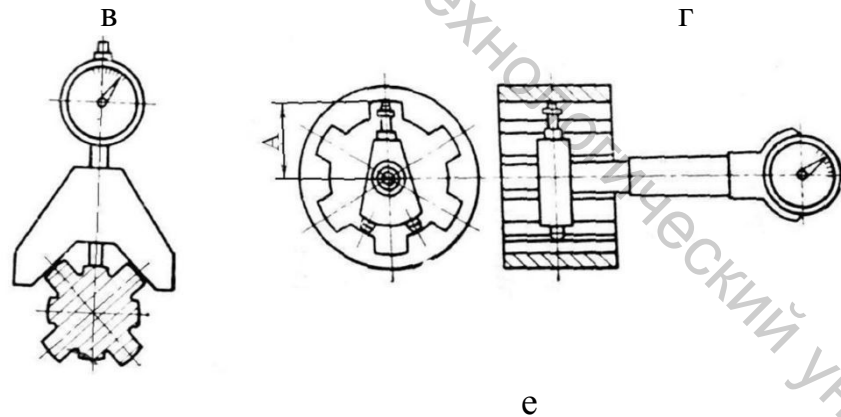
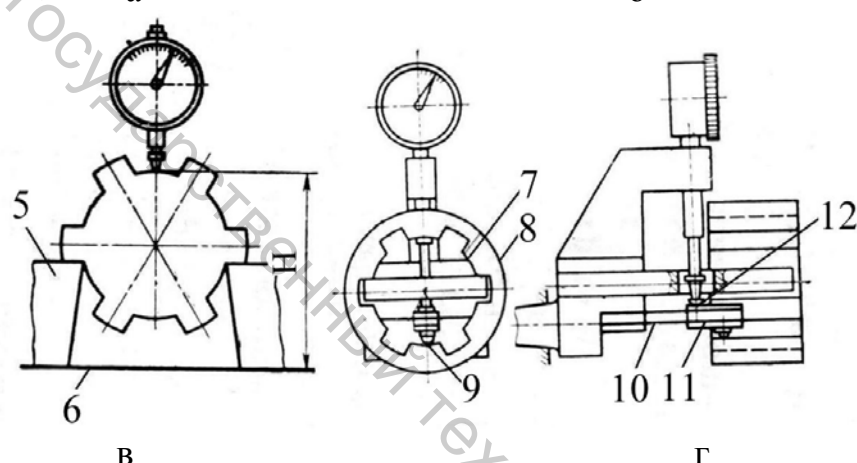
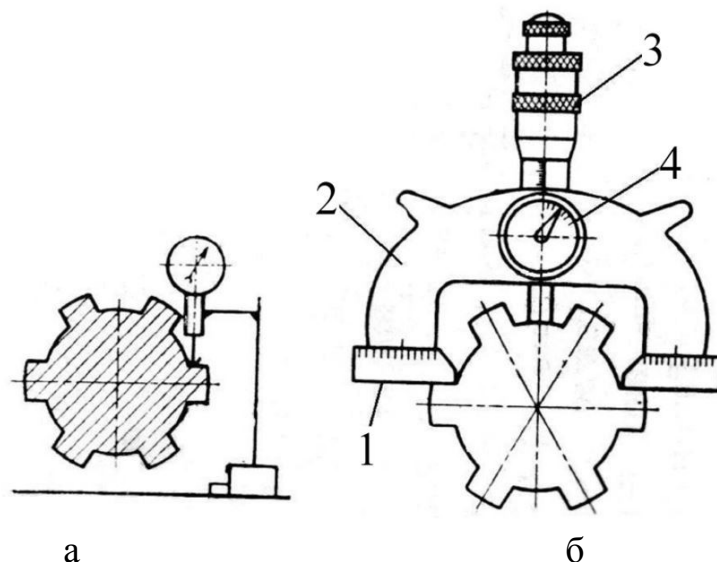


Рисунок 4.5 – Схемы измерения параметров шлицевого соединения:
а – шага; *б, в* – смещения оси шлицев относительно центрирующих диаметров; *г* – смещения оси шлицев втулки относительно внутреннего центрирующего диаметра; *д, е* – эксцентриситета диаметров валов и втулок; 1 – линейка; 2 – скоба; 3 – головка микрометрическая; 4 – индикатор; 5 – подставка; 6 – плита; 7 – деталь; 8 – плита образцовая; 9 – штифт измерительный; 10 – параллелограмм пружинный; 11 – планка; 12 – пятка

Смещение оси шлицев вала относительно осей центрирующих внутренней и наружной поверхностей измеряют на устройствах накладного (рис. 4.5 б) и стационарного (рис. 4.5 в) типа.

Накладное устройство линейками 1, закрепленными на скобе 2 устанавливают на боковые поверхности шлицев. Показания отсчитывают по микрометрической головке 3 или индикатору 4.

Стационарное устройство (рис. 4.5 в) выполнено в виде измерительной плиты и подставок 5. Отклонение отсчитывают по индикатору, закрепленному на подвижной стойке, настроенному на размер Н.

Смещение оси шлицев втулки относительно центрирующего диаметра измеряют с помощью устройства, представленного на рисунке 4.5 г. Деталь 7 устанавливают на образцовую плиту 8. При перемещении измеряемой детали в осевом направлении усилие от центрирующей поверхности передает на измерительный штифт 9, запрессованный в планку 11, подвешенной на пружинном параллелограмме 10. Планка перемещается в вертикальном направлении (к оси детали) пяткой 12 нажимает на измерительный стержень индикатора. Отсчет производят по шкале индикатора.

Эксцентриситет внутреннего и наружного диаметров валов, измеряют накладными призмами индикаторной головки (рис. 4.5 д), втулок – специальным нутромером (рис. 4.5 е).

4.3 Измерение элементов резьбы

4.3.1 Измерение наружного диаметра

Измерение отдельных элементов производится при контроле точных резьб: резьбовых калибров, резьбонарезного инструмента, микрометрических винтов. Каждый отдельный элемент резьб необходимо измерять таким образом, чтобы исключить влияние других элементов.

При измерении наружного диаметра используют: длинномеры, измерительную машину, рычажный микрометр, универсальный микроскоп.

Наружный диаметр изделий с полным числом витков измеряется не менее чем в двух сечениях, перпендикулярных к оси. В одном из сечений измерение производится в двух взаимно перпендикулярных направлениях. У изделий с неполным числом витков измерение производится в одном сечении в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

4.3.2 Измерение среднего диаметра

Средний диаметр с полным числом витков измеряют в трех диаметральных сечениях, перпендикулярных к оси на концах и в середине резьбы и только у деталей с неполным числом витков (менее пяти в одном сечении). В каждом сечении средний диаметр измеряют не менее чем в двух диаметральных направлениях, расположенных под углом 90°. Измерения выполняют следующими методами: с помощью трех, двух и одной проволочек, а также с помощью резьбовых вставок.

Метод трех проволочек. Во впадины резьбы закладывают три калибровочные проволочки одного размера (рис. 4.6 а). При шаге резьбы менее 0,5 мм проволочки могут быть уложены во впадины, не соседние, но обязательно симметричные по отношению к оси одиночной проволочки (рис. 4.6 б).

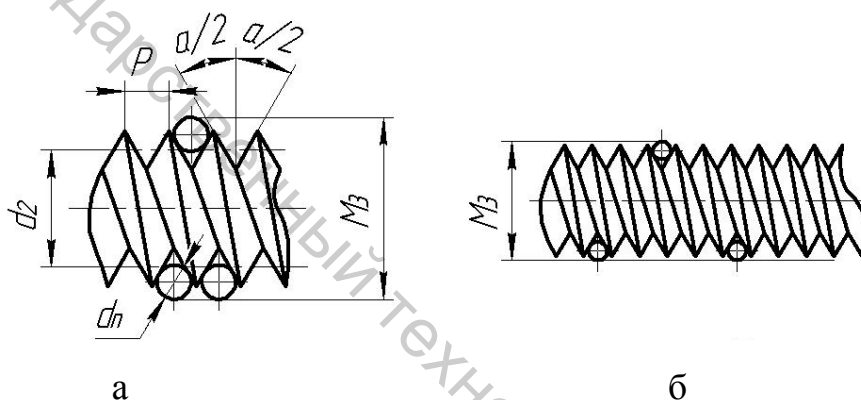


Рисунок 4.6 – Схема измерения методом трех проволочек:
а – при шаге резьбы более 0,5 мм; б – при шаге резьбы менее 0,5 мм

Диаметр проволочек выбирают таким образом, чтобы касание их с профилем резьбы происходило в зоне среднего диаметра. Диаметры проволочек, соответствующие указанному условию, называют наивыгоднейшими.

Наивыгоднейший диаметр проволочек для резьбы с симметричным профилем подсчитывают по формуле

$$d_n = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}, \quad (4.1)$$

где P – шаг резьбы; $\alpha/2$ – половина угла профиля резьбы, или определяют по таблице 4.1.

Средний диаметр симметричной резьбы рассчитывают по формуле

$$d_2 = M_3 - d_n \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) + \frac{P \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}{2}, \quad (4.2)$$

где M_3 – измеренное по выступам расстояние между тремя проволочками (рис. 4.6).

Для метрической резьбы

$$d_2 = M_3 - 3d_n + 0,866P. \quad (4.3)$$

Таблица 4.1 – Наивыгоднейший диаметр проволоки для метрической резьбы, мм

P	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7
d_n	0,118	0,142	0,170	0,201	0,232	0,200	0,291	0,343	0,402
P	0,75	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,5	3,0
d_n	0,483	0,461	0,572	0,724	0,866	1,008	1,157	1,441	1,732
P	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0			
d_n	2,020	2,311	2,596	2,886	3,177	3,468			

Метод двух проволочек применяют при контроле резьб малой длины. Две проволочки закладывают во впадины резьбы напротив друг друга (рис. 4.7 а). Средний диаметр для метрической резьбы подсчитывают по формуле

$$d_2 = M_2 - 3d_n + 0,866P - P^2[8(M_2 - d_n)], \quad (4.4)$$

где M_2 – измеренное по выступам расстояние между двумя проволочками.

Метод одной проволочки применяют для определения среднего диаметра резьб свыше 1000 мм (рис. 4.7 б). Для метрической резьбы

$$d_2 = 2M_1 - d - 3d_n + 0,866P, \quad (4.5)$$

где M_1 – расстояние между выступом проволочки и вершиной профиля резьбы, d – наружный диаметр резьбы.

Проволочки изготавливаются двух типов: гладкие и ступенчатые. Применяют проволочки с приспособлениями для подвешивания или с приспособлениями для установки на приборе.

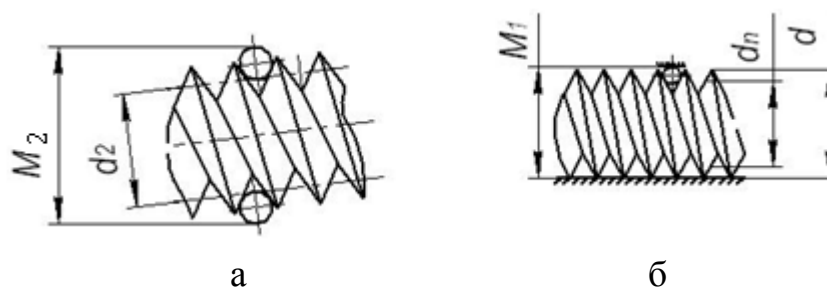


Рисунок 4.7 – Схема измерения:

а – двумя проволочками, *б* – одной проволочкой

Прибором, с помощью которого можно определить размер M , является микрометр. Наибольшая точность достигается путем измерения среднего диаметра с помощью трех проволочек. Резьба диаметром 60 мм устанавливается горизонтально, более 60 мм – вертикально.

Измерения резьбовыми вставками основаны на определении среднего диаметра, как расстояния между боковыми сторонами профиля, измеренного перпендикулярно к оси резьбы. Поэтому действительный средний диаметр будет зависеть от погрешности шага, угла профиля резьбы, а также погрешности угла профиля вставок. Измерение производится с помощью резьбового микрометра.

4.4 Методы измерения отклонений формы и расположения поверхностей

4.4.1 Измерения отклонений от прямолинейности

В зависимости от количества измеренных точек методы измерения подразделяются на непрерывные и дискретные. Оценка отклонений от прямолинейности осуществляется одним из следующих способов.

Непосредственно по показаниям отсчетного устройства. Предварительно деталь выверяется так, чтобы показания на концах измеряемого участка были одинаковыми. За отклонение от прямолинейности принимается алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим показаниями.

По профилограмме измеренного профиля. Отклонение от прямолинейности определяется как наибольшее в направлении оси ординат отклонение от прилегающей прямой до самой низкой точки профилограммы.

С применением компьютера, который пересчитывает результаты измерений отклонений относительно прилегающей прямой.

С применением измерительной головки (рис. 4.8 а). Измеряемая деталь устанавливается на опорах. Измерительная головка на стой-

ке перемещается по поверочной плите вдоль профиля детали. По показаниям головки строится профилограмма.

С помощью прямомера (рис. 4.8 б). Измеряемую деталь ориентируют по направлению перемещения. Измерительный преобразователь закрепляется на каретке прибора (или суппорте станка). Первоначально деталь измеряют в положении преобразователя «А». Записанная профилограмма включает погрешности направляющей. Для их исключения деталь поворачивают на 180° и в положении измерительного преобразователя «В» измеряется и регистрируется профиль.

Вторая профилограмма включает погрешности направляющей с обратным знаком. Среднее значение по профилограммам в положениях «А» и «В» дает измеренный профиль, из которого исключены погрешности направляющих.

На координатно-измерительной машине (КИМ) (рис. 4.8 в). Измеряемая деталь устанавливается на столе КИМ, измеряются координаты отдельных точек профиля. Измеренные значения обрабатываются компьютером.

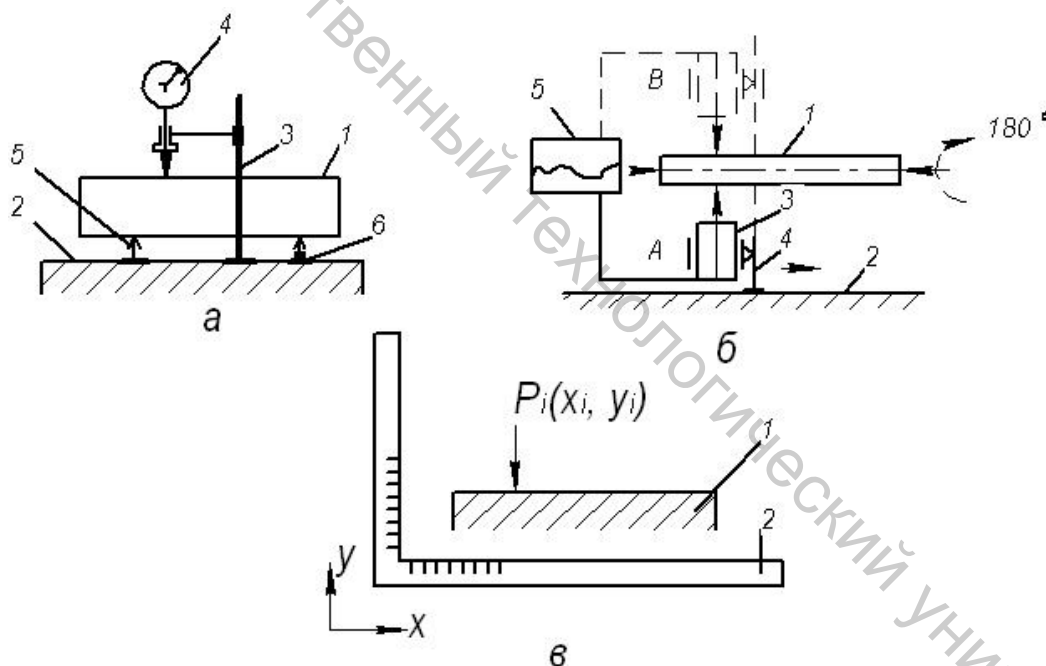


Рисунок 4.8 – Схемы измерений отклонений прямолинейности:

- а – с применением измерительной головки: 1 – измеряемая деталь;
2 – поверочная плита; 3 – измерительная стойка;
4 – измерительная головка; 5, 6 – опоры;
- б – с применением прямомера: 1 – измеряемая деталь;
2 – направляющая прибора; 3 – измерительный преобразователь;
4 – измерительная стойка; 5 – самописец;
- в – на координатно-измерительной машине:
1 – измеряемая деталь; 2 – координатно-измерительная машина

4.4.2 Измерение отклонений от плоскостности

Существующие методы измерения отклонений от плоскостности в основном являются дискретными: поверхность измеряется в отдельных точках. Чем больше число измеряемых точек, тем точнее результат измерений соответствует стандартному определению отклонения от плоскостности.

Для прямоугольных поверхностей точки измерения располагают на продольных, поперечных и диагональных сечениях. Оценка отклонений от плоскостности производится на основе математической модели измеренной поверхности – значений расстояний измеренных точек от плоскости, принятой за базу при измерении, с учетом координат этих точек в базовой плоскости.

Обработка результатов измерений может осуществляться графическим методом построения прилегающей плоскости и расчетными методами с применением вычислительной техники.

Измерение на трехкоординатной измерительной машине (КИМ) (рис. 4.9 а). На детали, установленной на столе КИМ, измеряют координаты отдельных точек P поверхности, по которым компьютер рассчитывает отклонение от плоскостности.

Измерения с применением зрительной трубы (рис. 4.9 б). Измеряемую деталь ориентируют горизонтально. Зрительную трубу с помощью специальной стойки поворачивают и наклоняют так, чтобы ее оптическая ось была горизонтальной (по уровню на трубе). Визирную марку поочередно устанавливают на точках измерения и измеряют ее высоту относительно оптической оси зрительной трубы. Эти значения образуют математическую модель поверхности относительно горизонтальной оси.

Измерение с помощью гидростатических уровней (рис. 4.9 в). Измеряемую поверхность располагают приблизительно горизонтально. Базовой плоскостью для математической модели является уровень жидкости в уравнительном сосуде. С помощью гидростатических уровней, устанавливаемых в точках измерения, определяют положение этих точек относительно уровня жидкости в сосуде.

4.4.3 Измерение отклонений от круглости

При измерении реальный профиль сравнивается с траекторией точного вращения шпинделя кругломера (рис. 4.10). Различают кругломеры с вращающимся измерительным преобразователем при неподвижном столе и детали и с вращающимся предметным столом при неподвижном преобразователе.

Перед измерением деталь центрируют относительно оси шпинделя прибора и нивелируют (выверяют ее положение). Измеряется изменение радиусов профиля относительно оси вращения за один оборот. Измеренный профиль регистрируется на полярной диаграмме. Возможна компьютерная обработка результатов для автоматического определения базовой окружности (средней или прилегающей) и отклонения от круглости. Данный метод измерения является наиболее точным и позволяет измерять отклонение от круглости в соответствии с его стандартным определением.

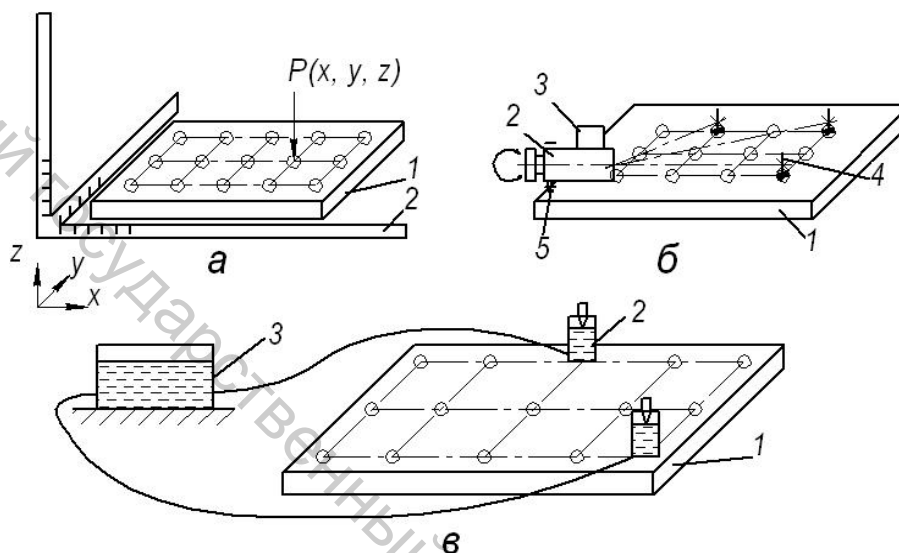


Рисунок 4.9 – Схемы измерений отклонений от плоскостности:

а – на КИМ: 1 – измеряемая деталь с расположением точек измерения; 2 – трехкоординатная измерительная машина;

б – с применением зрительной трубы: 1 – измеряемая деталь;

2 – измерительная зрительная труба; 3 – уровень;

4 – визирная марка; 5 – стойка;

в – с помощью гидростатических уровней: 1 – измеряемая деталь;

2 – гидростатический уровень; 3 – уравнильный сосуд

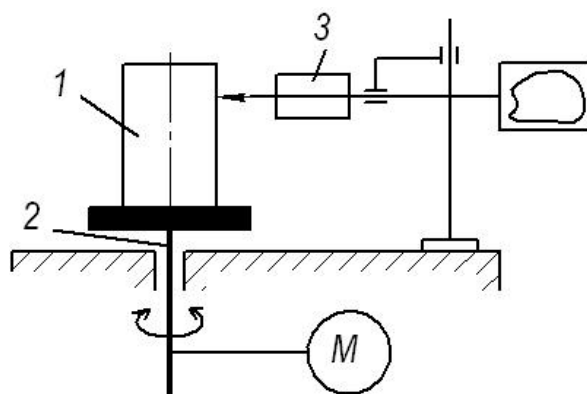


Рисунок 4.10 – Схема измерения отклонений от круглости:

1 – измеряемая деталь; 2 – точный шпиндель;

3 – измерительный преобразователь

4.4.4 Измерение отклонений от цилиндричности

Измерение выполняется с помощью цилиндромера (рис. 4.11).

Конструкция прибора предусматривает вращение детали, установленной на столе, и поступательное перемещение измерительного преобразователя по прецизионной прямолинейной направляющей. Перед измерением деталь центрируют и нивелируют по двум сечениям, находящимся на границах нормируемого участка. С помощью измерительного преобразователя поверхность измеряется по отдельным линиям и записываются профилограммы измеренных сечений.

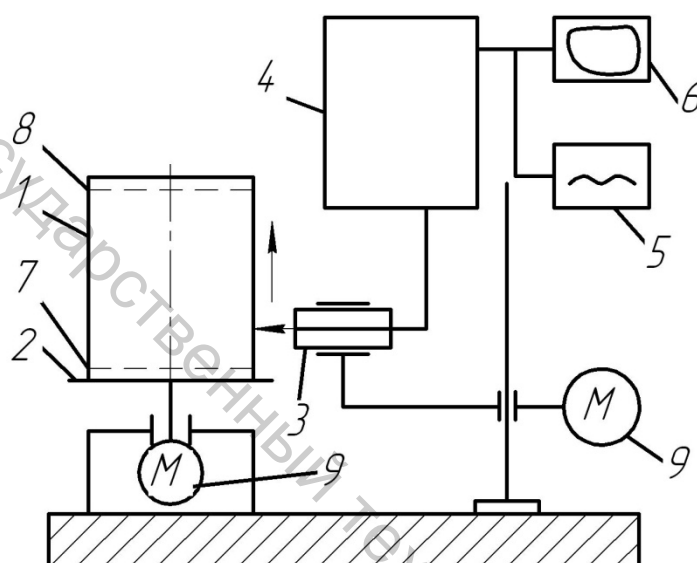


Рисунок 4.11 – Схема прибора для измерения отклонений от цилиндричности: 1 – измеряемая деталь; 2 – точный шпindel со столом; 3 – измерительный преобразователь; 4 – электронный блок; 5, 6 – самописцы; 7 – плоскость центрирования; 8 – плоскость нивелирования; 9 – электродвигатель

По специальной программе определяется наибольшее расстояние точек реальной поверхности до прилегающего цилиндра.

4.4.5 Измерение отклонений профиля продольного сечения

Измерения отклонения профиля продольного сечения рекомендуется производить не менее чем в трех расположенных равномерно по окружности продольных сечениях. В каждом сечении измеряются обе образующие дискретным или непрерывным методом.

Измерение осуществляется с помощью трехкоординатной измерительной машины. Поверхность выверяется вдоль одного из координат-

ных направлений КИМ. Пара образующих продольного сечения ощупывается головкой КИМ, отклонение профиля продольного сечения рассчитывается компьютером.

4.4.6 Измерение отклонений от параллельности

Измерение отклонений от параллельности плоскостей (рис. 4.12 а).

Деталь базовой поверхностью устанавливается на поверочную плиту. Для исключения влияния отклонений формы измеряемой поверхности на нее накладывают плоскопараллельную пластину. С помощью измерительной головки, базирующейся в стойке на плите, производят непрерывные или дискретные измерения в отдельных точках по контуру измеряемой поверхности. Если этот контур прямоугольный, то достаточно измерить четыре угловые точки. Отклонение от параллельности определяют как разность наибольшего и наименьшего показаний измерительной головки.

Измерение отклонений оси относительно плоскости (рис. 4.12 б). Измеряемая деталь базовой поверхностью и стойка измерительной головки устанавливаются на поверочную плиту. Ось измеряемого отверстия материализуется оправкой: цилиндрической или конической с малой конусностью. Возможно использование бесконтактных оправок на аэростатической опоре. Положение оправки измеряется в двух точках на расстоянии L_1 друг от друга.

Измерение отклонений от параллельности осей в пространстве (рис. 4.12 в).

Измеряемую деталь устанавливают так, чтобы общая плоскость осей располагалась горизонтально. Оси отверстий материализуются контрольными оправками, выступающими так, чтобы можно было установить уровень. При помощи уровней определяют наклоны оправок, разность которых является мерой перекоса осей. Затем деталь поворачивают на 90° . Разность наклонов оправок, измеренных уровнями в этом положении, определяет отклонение от параллельности осей в их общей плоскости.

4.4.7 Измерение отклонений наклона плоскости

Измерение отклонений наклона плоскости производится любыми средствами, применяемыми для измерения угловых размеров: угловыми мерами, угольниками, угломерами, уровнями, угломерными головками,

синусными линейками. Наиболее удобны те, которые позволяют отсчитывать результаты измерения в линейных единицах, например, синусные линейки, индикаторные устройства.

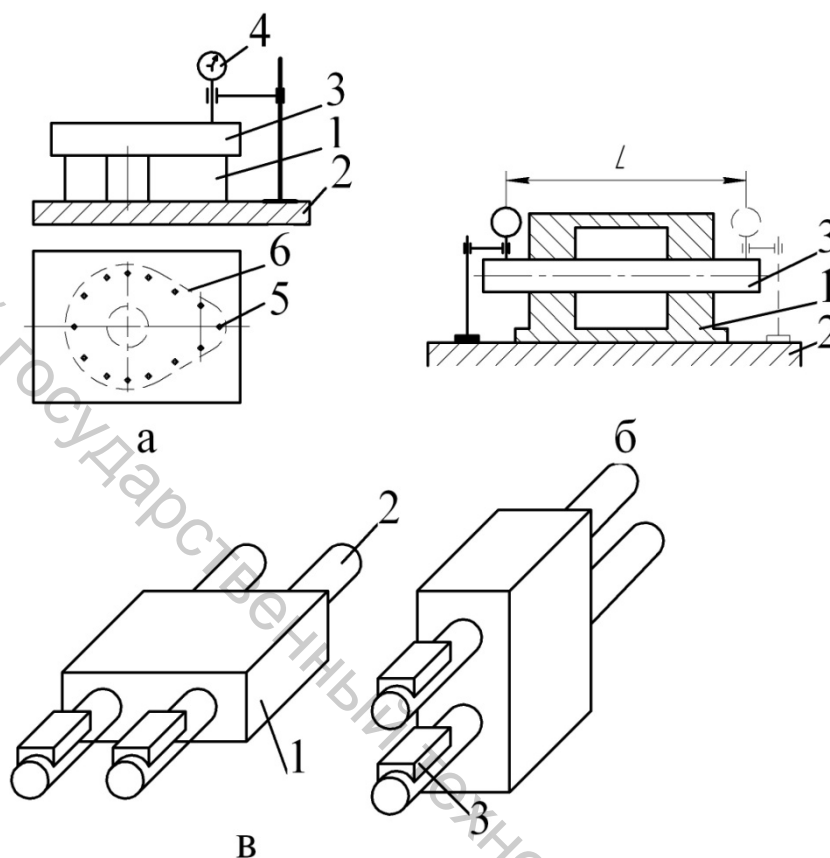


Рисунок 4.12 – Схемы измерений отклонений от параллельности плоскости: *а* – плоскости относительно плоскости: 1 – измеряемая деталь; 2 – плоскость сравнения; 3 – плоскопараллельная пластина; 4 – измерительная головка; 5 – точка измерения; 6 – промаркированный контур детали; *б* – оси относительно плоскости: 1 – измеряемая деталь; 2 – плоскость сравнения; 3 – цилиндрическая оправка; 4 – измерительная головка; *в* – осей в пространстве: 1 – измеряемая деталь; 2 – контрольная оправка; 3 – уровень

4.4.8 Измерение отклонений от перпендикулярности

Измерение отклонений от перпендикулярности плоскостей. Схема измерений представлена на рисунке 4.13 а. На плите 1 закреплена стойка 2. По направляющей стойки могут перемещаться вертикальные салазки 3 с измерительной головкой. Измеряемую деталь укладывают

базовой поверхностью на плиту 1. Отсчет индикаторной головки производят в двух положениях 1 и 2 на заданной длине L друг от друга. Разность показаний будет равна отклонению от перпендикулярности плоскостей. Чтобы исключить из результатов измерений влияние отклонения от плоскостности поверхности детали 5, между измерительным наконечником головки и поверхностью детали устанавливают плоскопараллельную пластину 4.

Измерение отклонений от перпендикулярности осей. Схема измерений представлена на рисунке 4.13 б. Оправка 2 определяет положение рассматриваемой оси отверстия детали 1, а оправка 5 – базовой оси. Оправку 5 вместе с измерительной головкой 3 поворачивают на 180° (второе положение оправки изображено пунктиром). В осевом направлении положение оправки фиксирует упор 4. Разность двух показаний определяет отклонений от перпендикулярности осей на длине L .

Измерение отклонений от перпендикулярности осей относительно плоскости. Схема измерений представлена на рисунке 4.13 в. На оправке 1 закреплен диск 2. Оправка 1 определяет положение отверстия в детали 3. На диске 3 в диаметральной плоскости установлены опора 4 и индикаторная головка 5. Перед измерением по контрольной поверхности показания индикатора устанавливаются на нуль. Измерение производят непрерывно в процессе вращения диска вокруг оси отверстия на 360° . Наибольшее показание измерительной головки численно равно отклонению от перпендикулярности отверстия относительно базовой плоскости 6 детали.

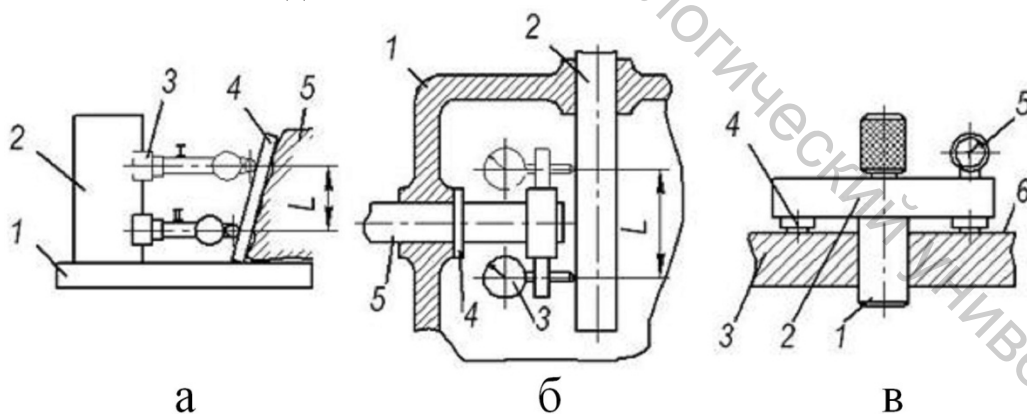


Рисунок 4.13 – Схемы измерения отклонения от перпендикулярности:
 а – плоскостей: 1 – плита; 2 – стойка; 3 – салазки; 4 – пластина;
 5 – деталь; б – осей: 1 – деталь; 2 – оправка; 3 – измерительная
 головка; 4 – упор; 5 – оправка; в – оси относительно плоскости:
 1 – оправка; 2 – диск; 3 – деталь; 4 – опора; 5 – индикаторная
 Головка; 6 – базовая плоскость

4.4.9 Измерения отклонений от соосности

Измерение отклонений от соосности осей отверстий (рис. 4.14 а). В базовое и контролируемое отверстия вставляются соответственно оправки 1 и 2. На оправку 1 с возможностью вращения вокруг оси устанавливается измерительная головка 3, а измерительный наконечник головки контактирует с поверхностью оправки 2 и размещается у её торца. Измерение производится непрерывно в процессе вращения измерительной головки. Наибольшее числовое значение показаний головки является отклонением от соосности контролируемого отверстия относительно базового.

Измерение отклонений от соосности осей ступенчатого вала относительно общей оси (рис. 4.14 б).

Ножевые призматические опоры 1 располагаются по середине длины крайних ступенек вала. Индикаторные головки 2, установленные на стойках, размещаются у торцевых поверхностей контролируемых ступеней вала. Измерение производится непрерывно в процессе вращения вала. Наибольшие показания головок являются числовым значением отклонений от соосности ступеней вала относительно общей оси.

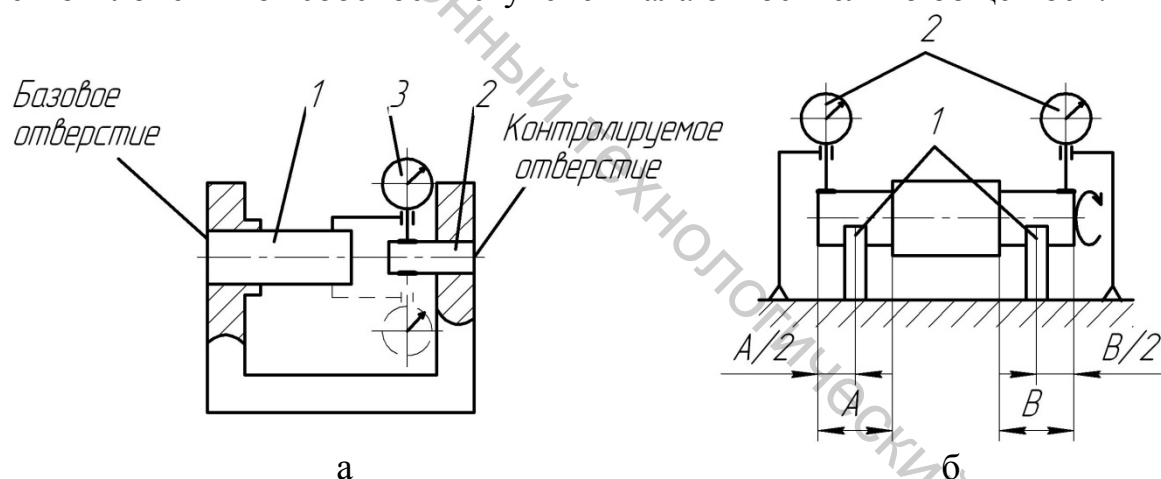


Рисунок 4.14 – Схемы измерений отклонений от соосности:

а – осей отверстия относительно базового отверстия: 1 – оправка базового отверстия, 2 – оправка контролируемого отверстия, 3 – индикаторная головка; б – осей ступенчатого вала относительно общей оси: 1 – ножевые призматические опоры, 2 – индикаторные головки

4.4.10 Измерение отклонений от симметричности

Измерения отклонений от симметричности поверхностей относительно оси базового отверстия (рис. 4.15 а). Оправку 3 распола-

гают в базовом отверстии детали 5 и устанавливают в центрах 2. Измерения производят в положениях *С* и *Д*. При этом определяют размеры *А* и *В*, полуразность которых определяет отклонение от симметричности.

Измерения отклонений от симметричности шпоночного паза относительно оси вала (рис. 4.15 б). На коромысле 1 установлены две измерительные головки 3 и оправка 2, которая помещается в шпоночный паз. При измерении определяются размеры *А* и *В*, разность которых численно равна отклонению от симметричности.

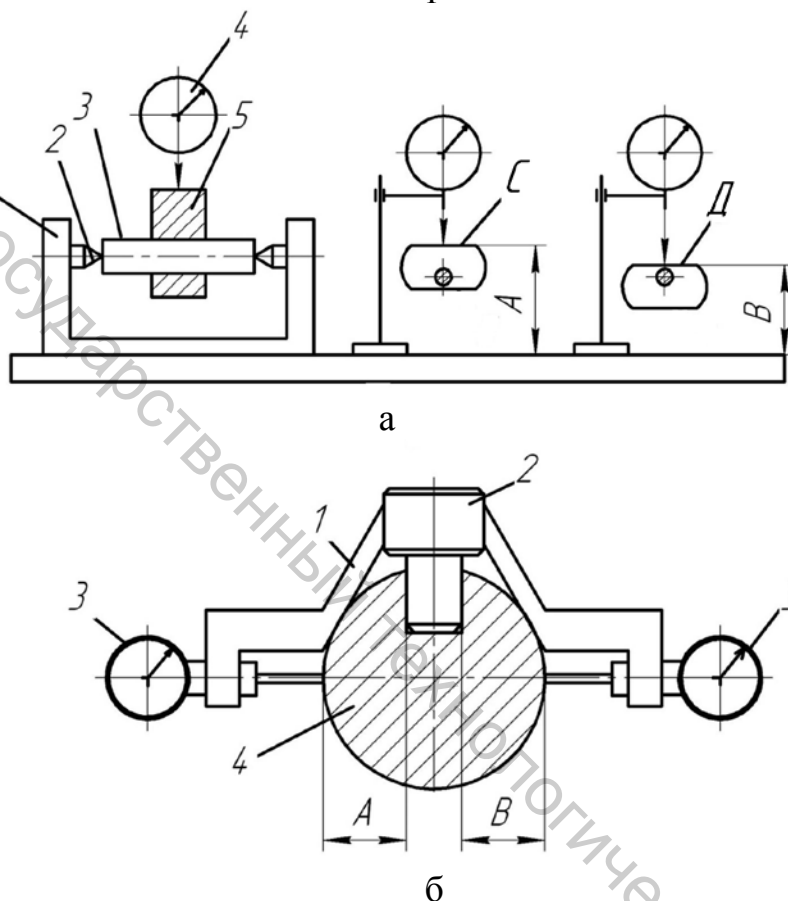


Рисунок 4.15 – Схемы измерения отклонений от симметричности:

а – плоскостей относительно базового отверстия: 1 – стойки;

2 – цент; 3 – оправка; 4 – индикаторная головка;

б – шпоночного паза относительно оси вала: 1 – коромысло;

2 – оправка; 3 – индикаторная головка; 4 – вал

4.4.11 Измерение отклонения от пересечения осей

Погрешность расположения осей, которые номинально должны лежать в одной плоскости оценивается кратчайшим расстоянием между ними. Материализация осей осуществляется оправками, которые последовательно укладываются в контролируемые отверстия (рис. 4.16). В

сечении, соответствующем номинальной точке пересечения осей, с учетом диаметра оправок определяют размеры A и B от плоскости поверочной плиты до осей оправок. Значения отклонения от пересечения определяют как разность размеров A и B .

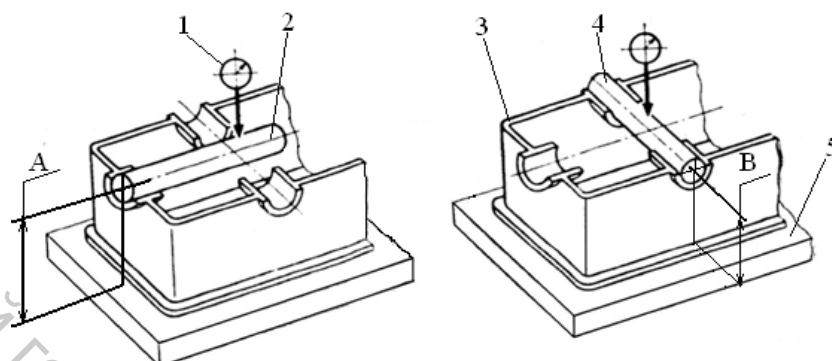


Рисунок 4.16 – Схемы измерения отклонения от пересечения осей корпусной детали: 1 – индикаторная головка; 2, 4 – оправки; 3 – деталь; 5 – поверочная плита

4.4.12 Измерение радиального биения

Контроль радиального биения осуществляется при помощи измерительной головки при базировании изделия в центрах, на оправке или призмах (рис. 4.17, а-г).

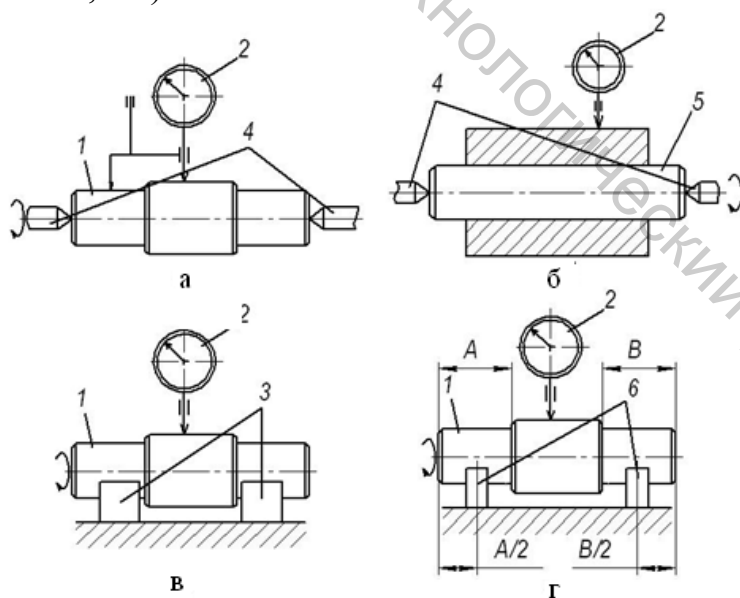


Рисунок 4.17 – Схемы измерения радиального измерения при базировании: а – в центрах, б – на оправке, в – на призмах; г – на ножевых призмах; 1 – контролируемая деталь; 2 – индикаторная головка; 3 – призмы; 4 – центры; 5 – оправка; 6 – ножевые призмы

Базирование и вращение изделия при контроле радиального биения следует производить относительно оси, которая указана на чертеже в качестве базы. Если контролируется радиальное биение относительно общей оси, то изделие базируется по обеим поверхностям в их средних сечениях (рис. 4.17 г).

4.4.13 Измерение торцового биения

При измерении торцового биения контролируемая деталь базируется в центрах, на оправке или в призмах и проворачивается вокруг оси, а измерительная головка перемещается вертикально в диаметральной плоскости. При этом деталь должна фиксироваться в осевом направлении. Если упор находится со стороны неконтролируемого торца (рис. 4.18, а), то торцевое биение равно разности показаний индикаторной головки. Если упор соприкасается с измеряемым торцом (рис. 4.17, б), то торцевое биение равно половине разности показаний индикаторной головки в крайних положениях.

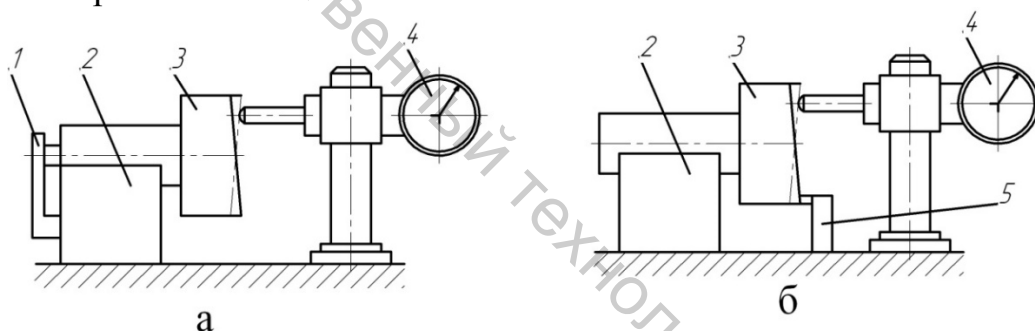


Рисунок 4.18 – Схемы измерения торцового биения:

а – с задним упором; б – с передним упором; 1 – задний упор; 2 – призма; 3 – деталь; 4 – измерительная головка; 5 – передний упор

4.5 Определение параметров шероховатости

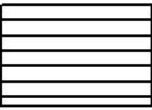
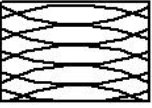
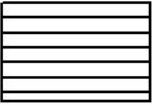
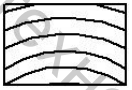
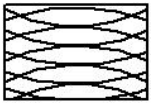
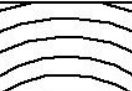
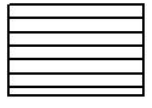
4.5.1 Визуальный контроль

При визуальном контроле оценку шероховатости производят сравнением контролируемой поверхности с поверхностью образца, у которого аттестовано значение параметров шероховатости. Сравнить следует поверхности с одинаковым видом обработки.

Для визуального сравнения применяются стандартизированные образцы шероховатости плоской или цилиндрической формы, полученные различными способами обработки. Образец шероховатости представляет собой пластинку, одна из поверхностей которой обрабатывается с образцовой шероховатостью и аттестована по параметру R_a . Пла-

стинки собираются в обоймы по 4 шт. так, чтобы значение Ra соседних пластин отличались на стандартную величину. Значения шероховатости по параметру Ra находится в пределах 0,025...25 мкм. Характеристики стандартных образцов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Характеристика образцов сравнения параметров шероховатости поверхностей (ГОСТ 9378-93)

Параметр Ra , мкм	Базовая длина, мм	Способ обработки поверхности	Расположение неровностей	Форма образца сравнения	Условные обозначения способа обработки
0,025 0,05 0,1 0,2 0,4	0,25	Шлифование периферией круга		Плоская Цилиндрическая: выпуклая вогнутая	ШП ШЦ ШЦВ
0,8 1,6 3,2	0,8	Торцовое шлифование чащеобразным кругом		Плоская	ШЧ
0,4 0,8 1,6 3,2	0,8	Точение, обтачивание, растачивание		Цилиндрическая: выпуклая вогнутая	Т
6,3 12,5	2,5	Точение торцовое		Плоская	ТТ
0,4 0,8	0,8	Фрезерование цилиндрическое		Плоская	ФЦ
1,6 3,2	0,8	Фрезерование торцовое		Плоская	ФТП
6,3 12,5	2,5			Плоская	
0,8 1,6 3,2 6,3	0,8 2,5	Строгание		Плоская	С
12,5	8,0				
25					

Примечания:

1. На каждом образце шероховатости указывают номинальное значение параметра шероховатости и способ механической обработки образца.
2. Приведенный в таблице ряд значений параметров Ra – предпочтительный.

Пример обозначения набора образцов шероховатости цилиндрической вогнутой формы, шлифованных периферией круга, со значением Ra 0,2...0,8: набор образцов шероховатости 0,2–0,8 ШЦВ ГОСТ 9378-93.

4.5.2 Приборы для измерений параметров шероховатости

Оптические приборы. Для измерения параметров шероховатости ГОСТ 9847-79 предусмотрено пять типов оптических приборов:

- ПТС – прибор теневого сечения, предназначенный для измерения шероховатости грубо обработанной поверхности;
- ПСС – прибор светового сечения (двойной микроскоп);
- МОМ – микроскоп однообъективный муаровый, основанный на измерении искривлений муаровых полос, вызванного неровностями поверхности;
- МИИ – микроскоп интерференционный, используемый при измерении двухлучевым интерференционным светом;
- МПИ – микроскоп-профилометр, действие которого основано на интерференции света с образованием равного хроматического порядка.

Характеристики оптических приборов приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристики оптических приборов для измерения параметров шероховатости поверхности (ГОСТ 9847-79)

Тип прибора	Rz, Ra , мкм	S , мм	Общее увеличение, кратность, не более	Линейное поле зрения, мм, не менее	Суммарная погрешность среднего из трех измерений, %
ПТС	40...320	0,2...1,6	32	8	5...25
ПСС	0,5...40	0,002...0,5	750...80	0,25...2,5	30...5,5
МОМ	0,8...40	0,006...0,5	400...110	0,25...2,5	10...28
МИИ	0,05...0,8	0,002...0,05	2500...400	0,008...0,25	50...15
МПИ	0,05...0,8	-	500; 300	0,25	35...18

Приборы светового сечения (тип ПСС) имеют два микроскопа: проецирующий ($M_{пр}$) и наблюдения ($M_{н}$). Оптическая схема микроскопа показана на рисунке 4.19 а.

Свет из источника 1 проходит через узкую щель 4 прямоугольного сечения, систему линз 6, 7, объектив 9 и в форме узкой полосы искажается в соответствующий с формой реальной поверхности и, отразившись от неё, проецируется объективом 9 наблюдательного микроскопа в фокальную плоскость окулярного винтового микрометра 10. В объективе наблюдается искривленная полоса. При определении параметра шероховатости Rz измеряют расстояния от высших до низших точек

профиля линии параллельной средней линии, т.е. базовой. Поэтому горизонтальная нить круга окулярного винтового микрометра должна быть установлена параллельно кромке изображения щели (линии гребешков). Для этого сначала нить подводят к вершине измеряемой поверхности (рис. 4.19 б), а затем к впадинам (рис. 4.19 в) и по разности отсчетов определяют высоту неровностей. Такие последовательные перемещения проводят для каждой из высот измеряемой поверхности.

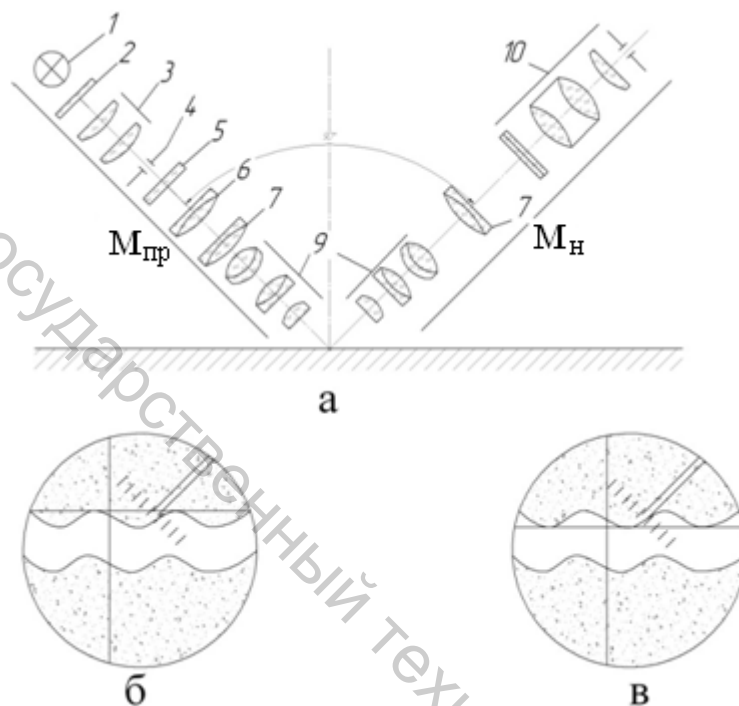


Рисунок 4.19 – Измерение параметров шероховатости на приборах светового сечения: а – оптическая схема двойного микроскопа: 1 – источник света; 2 – защитное стекло; 3 – коллектор; 4 – щель; 5 – светофильтр; 6, 7 – линзы; 8 – контролируемая поверхность; 9 – объектив; 10 – окулярный винтовой микрометр; б, в – поля зрения микроскопа

Приборы теневого сечения аналогичны приборам светового сечения. В объективе рассматривается и измеряется тень, искривленная неровностями профиля поверхности. Принципиальная схема приборов теневого сечения показана на рисунке 4.20.

Свет от источника 1 проходит через систему линз 2, щелевую диафрагму 3, объектив 4 и проецируется на контролируемую поверхность 6. К вершинам этой поверхности под углом 60° к оптической оси микроскопа прикладывается нож 5. Тень, создаваемая ножом, искривляется неровностями профиля. В окуляре 8 микроскопа наблюдения $M_{\text{н}}$ (рис. 4.20 б) представлена картина наблюдения. Высота изображения

неровностей 1 равна (без учета увеличения прибора) действительной высоте неровностей.

Приборы теневого сечения предназначены для измерения грубых поверхностей, имеющих большие высоты неровностей.

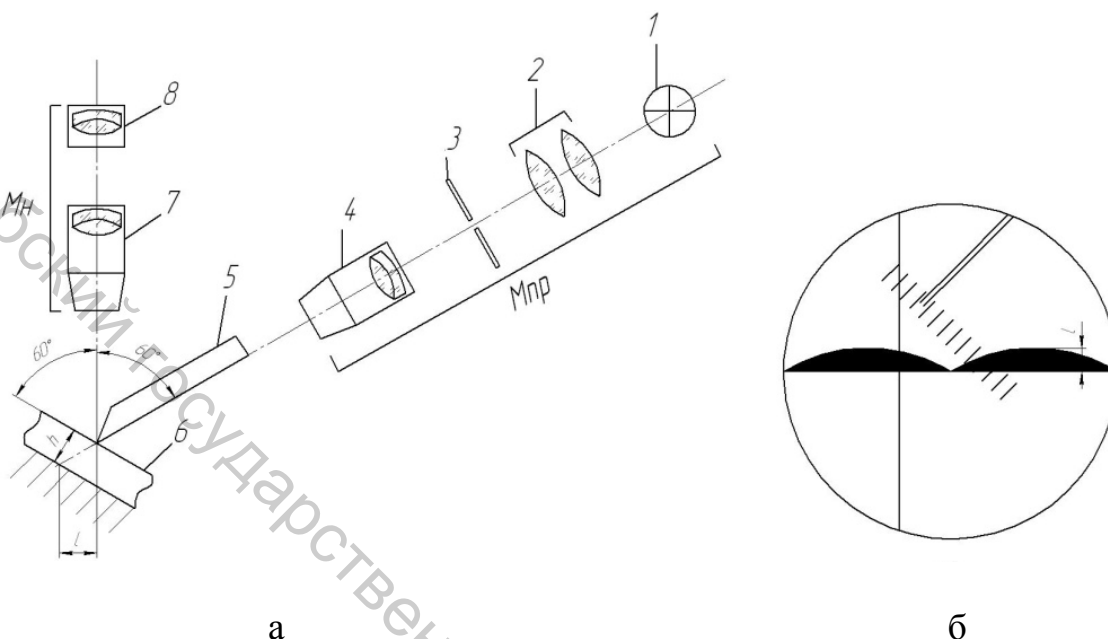


Рисунок 4.20 – Измерение параметров шероховатости на приборах теневого сечения: *а* – оптическая схема прибора; *б* – поле зрения микроскопа; 1 – источник света; 2 – система линз; 3 – диафрагма; 4, 7 – объективы; 5 – нож; 6 – контролируемая поверхность; 8 – окуляр

Контактные приборы для измерения параметров шероховатости. Принцип работы контактных приборов заключается в следующем. Остро заточенная игла поступательно перемещается по определенной трассе. Ось иглы располагают по нормали к измеряемой поверхности. В процессе движения игла перемещается по выступам и впадинам микронеровностей и совершает колебательные движения. Механические колебания иглы преобразуются в электрические. Снятый с преобразователя электрический сигнал поступает на шкалу прибора при профилометровании либо на записывающий прибор при профилографировании. Соответственно, приборы называют профилометрами и профилографами. Комбинированные приборы, которые позволяют количественно определять и графически изображать микронеровности, называются профилометрами-профилографами.

В соответствии с ГОСТом 19300-86 установлены следующие типы профилометров-профилографов:

1 – для лабораторных работ (стационарные);

2 – цеховые (стационарно-переносные) для контроля окончательно обработанных поверхностей;

3 – цеховые (портативные, предназначенные для межоперационного контроля).

Профилометры-профилографы типа 1 с различными вариантами исполнения должны отвечать модульному принципу построения, обеспечивающему путем сопряжения различных модулей измерения шероховатости поверхности разнообразных форм, в том числе прямолинейных или криволинейных различной конфигурации, расположенных в труднодоступных местах (пазах, глухих отверстиях и т.п.).

Основные характеристики профилографов. Вертикальное увеличение профилографа V_v – масштаб преобразования координат профиля в направлении, нормальном к номинальному профилю поверхности. Предпочтительные значения 100, 200, 500, 1000 (ряд R10). Горизонтальное увеличение V_r – это масштаб преобразования координат профиля вдоль номинального профиля. Предпочтительные значения 10, 20, 50, 100 и т.п. (ряд R10).

Диапазон номинальных значений вертикального увеличения – отношение максимального увеличения к минимальному – должно быть не менее 1000 для профилографов типа 1, не менее 100 – для профилографов типа 2 и не менее 50 – для профилографов типа 3. Диапазон номинальных значений горизонтального увеличения для всех типов приборов должен быть не менее 50.

В качестве ощупывающего элемента в контактных приборах применяют алмазные иглы. Размеры алмазных игл и технические требования к ним регламентируются ГОСТом 18961-80. Радиус R при вершине должен иметь номинальный размер 0,002, 0,005 или 0,01 с предельными отклонениями $\pm 0,0005$; $\pm 0,0010$ и $\pm 0,0025$ мм соответственно. Измеряемое усилие следует выбирать в зависимости от радиуса иглы (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Стандартные значения измерительного усилия (ГОСТ 19300-86)

Номинальные значения радиуса кривизны вершины щупа, мм	Максимальное значение статического измерительного усилия, Н	Максимальное значение постоянной измерения измерительного усилия, Н/м
0,002	0,0007	35
0,005 0,010	0,0040	200

Диапазон измерения параметра Ra : отношение верхнего предела измерения к нижнему должно быть не менее 2000 для приборов типа 1, не менее 200 – для приборов типа 2 и не менее 100 для приборов типа 3.

Предел допускаемой основной погрешности профилометра при измерении параметров шероховатости поверхности Ra , $Rmax$, Rz и t_p определяют по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta Ra &= aRa_{\text{в.п.}} + bRa; \\ \Delta Rmax &= aRmax_{\text{в.п.}} + bRmax; \\ \Delta Rz &= aRz_{\text{в.п.}} + bRz; \\ \Delta t_p &= at_{\text{в.п.}} + btp,\end{aligned}\tag{4.6}$$

где a и b – постоянные коэффициенты; $Ra_{\text{в.п.}}$, $Rmax_{\text{в.п.}}$, $Rz_{\text{в.п.}}$ и $t_{\text{в.п.}}$ – верхний предел поддиапазона по параметрам Ra , $Rmax$, Rz и t_p соответственно.

Значения параметров a и b в зависимости от степени точности прибора приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Значения параметров a и b

Параметр шероховатости поверхности	a	b	a	b
	1		2	
Ra	0,02	0,04	0,03	0,06
$Rmax, Rz$	0,03	0,05	0,06	0,08
t_p	0,08	0,02	0,10	0,03

Предел допускаемой основной погрешности профилометра при измерении параметров шероховатости поверхности Sm и S определяют по формулам:

$$\begin{aligned}\Delta Sm &= aSm_{\text{в.п.}} + bSm; \\ \Delta S &= aS_{\text{в.п.}} + bS,\end{aligned}\tag{4.7}$$

где $Sm_{\text{в.п.}}$ и $S_{\text{в.п.}}$ – верхний предел диапазона измерения по параметрам Sm и S соответственно.

5 АВТОМАТИЗАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

5.1 Принципы построения приборов, применяемых для активного контроля

Активным называют контроль размеров деталей непосредственно в процессе их обработки. Независимо от используемого технологического оборудования, средства активного контроля в общем виде выполнены по единой принципиальной схеме (рис. 5.1).

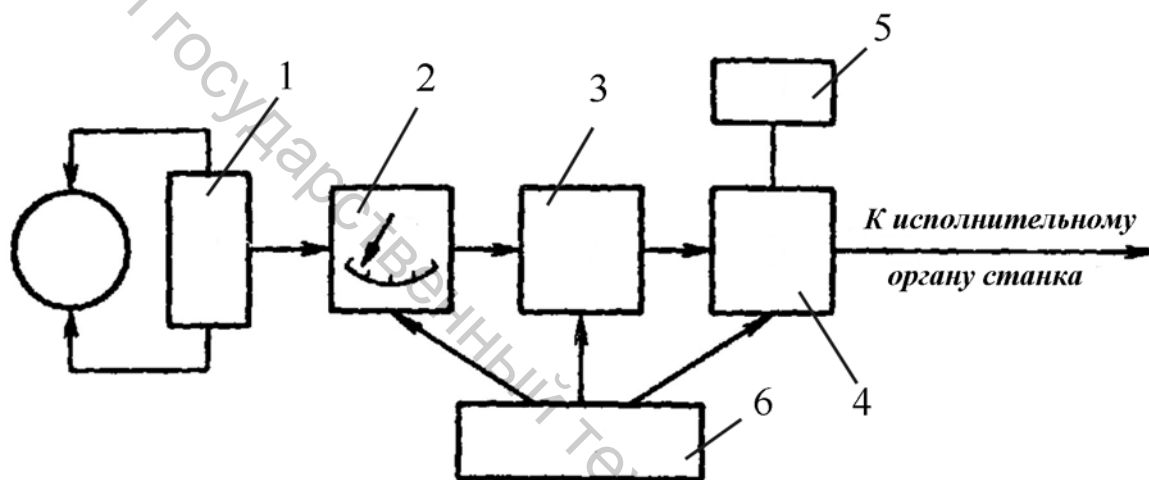


Рисунок 5.1 – Схема средств активного контроля

1 – измерительная оснастка; 2 – измерительный прибор;
3 – командное устройство; 4 – блок усилителя командных сигналов; 5 – блок сигнализации; 6 – блок питания

Измерительная оснастка 1 включает все необходимые щуповые устройства в виде скоб, призм, рычажных устройств, которые воспринимают измерения контролируемого размера и преобразуют их в удобные для дальнейших измерений перемещения одного или нескольких звеньев. Основная задача этих механизмов – максимально снизить влияние на результаты контроля случайных перемещений детали относительно узлов станка, вызванных силами резания, трения и тепловыми явлениями.

Для получения информации о состоянии контролируемого параметра предназначен измерительный прибор 2.

Измерительную информацию преобразуют в дискретный сигнал-команду. Задачу получения дискретного сигнала-команды выполняет командное устройство 3.

Команды прибора на станках выполняют путем коммутации мощных электрических цепей станка, приводящие в действие его исполнительные органы. Все это осуществляет блок усилителя командных сигналов 4. Для информации об исполнении команды и поддержания заданных параметров служит блок сигнализации 5.

В качестве средств контроля применяют механические, электроконтактные, пневматические, индуктивные и другие приборы.

Средство контроля с механическим прибором (рис. 5.2) предназначено только для выдачи информации о состоянии размера обрабатываемой детали в виде показаний шкалы.

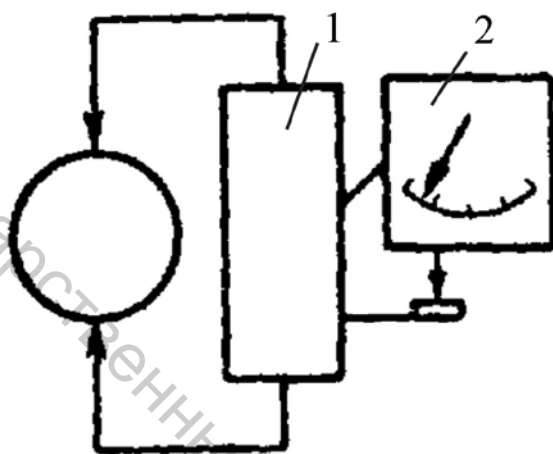


Рисунок 5.2 – Схема средств измерения с механическим прибором
1 – измерительная оснастка; 2 – механический шкальный прибор

Механический шкальный прибор 2 жестко связан с измерительной оснасткой 1. Управление технологическим процессом осуществляется вручную по результатам показаний прибора.

Средство измерения с электроконтактным преобразователем (рис. 5.3) применяют для контроля деталей точностью не выше 7...8 квалитета. Из-за отсутствия шкалы на приборе измерительное средство дополнено механическим шкальным прибором 6.

Блоки усилителя командных сигналов 3, сигнализации 4 и питания 5 изготавливаются серийно в виде отдельных блоков, объединенных в едином корпусе.

Средство измерения с пневматическим прибором (рис. 5.4) обладает высокой точностью (контроль деталей с точностью 6...7 квалитета) позволяет осуществлять бесконтактные измерения и может быть собрано из стандартных блоков серийного производства. Это средство включает командное устройство 3 в виде электроконтактного преобразователя, поэтому усилитель командных сигналов 4, блок сигнализации 5 и блок электропитания 6 применяют одни и те же, что и для средств измерения электроконтактным преобразователем.

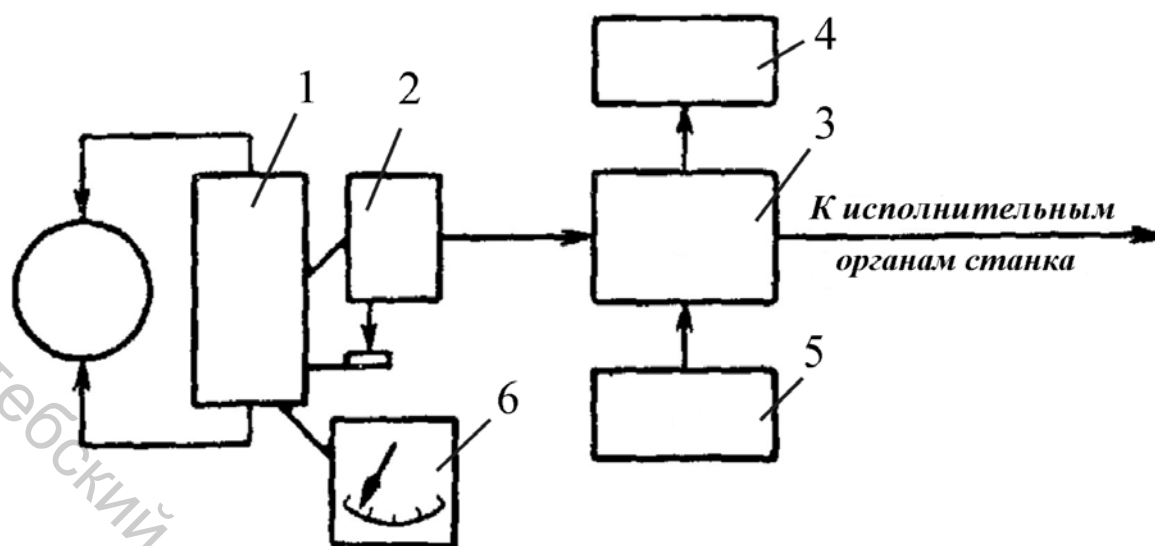


Рисунок 5.3 – Схема средства измерения с электроконтактным преобразователем: 1 – измерительная оснастка; 2 – электроконтактный преобразователь; 3 – блок усилителя командных сигналов; 4 – блок сигнализации; 5 – блок питания; 6 – механический шкальный прибор

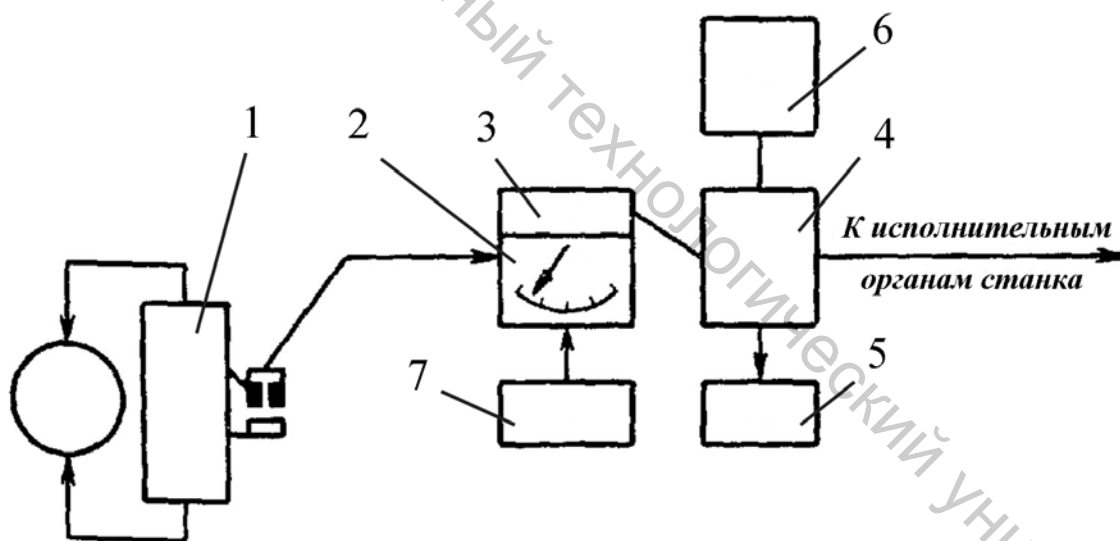


Рисунок 5.4 – Схема средства измерения с пневматическим прибором: 1 – измерительная оснастка; 2 – пневматический прибор со шкалой; 3 – командное устройство; 4 – усилитель командных сигналов; 5 – блок сигнализации; 6 – блок электропитания; 7 – блок питания сжатым воздухом

Пневматический прибор со шкалой 2 (рис. 5.4) отличается простотой и малогабаритностью измерительной оснастки, что важно при контроле в относительно труднодоступных местах обработки.

Средство измерения с индуктивным преобразователем (рис. 5.5) обладает высокой точностью и малой чувствительностью к вибрации.

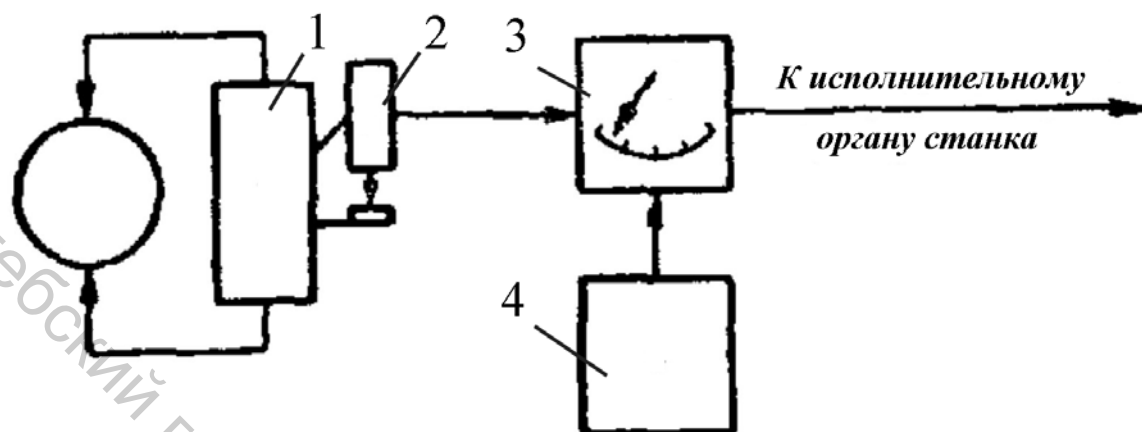


Рисунок 5.5 – Схема средства измерения с индуктивным преобразователем: 1 – измерительная оснастка; 2 – индуктивный преобразователь; 3 – командно-показывающий прибор; 4 – блок питания

Индуктивный прибор изготавливается в виде единого узла, включающего в себя все функциональные блоки.

5.2 Устройства активного контроля

Приборы активного контроля отличаются по количеству контактов с обрабатываемой поверхностью детали: одноконтактные, двухконтактные и трехконтактные.

5.2.1 Одноконтактные приборы активного контроля

На рисунке 5.6 представлены схемы одноконтактных приборов активного контроля.

На рисунке 5.6 а представлено устройство, наконечник которого контактирует с обрабатываемой поверхностью в верхней или нижней точке, а на рисунке 5.6 б – устройство, наконечник которого контактирует в точке, диаметрально противоположной точке касания шлифовального круга. При таком расположении наконечника прибор автоматического контроля реагирует на деформацию изгиба детали и на отжим центров станка, происходящие под действием усилия резания.

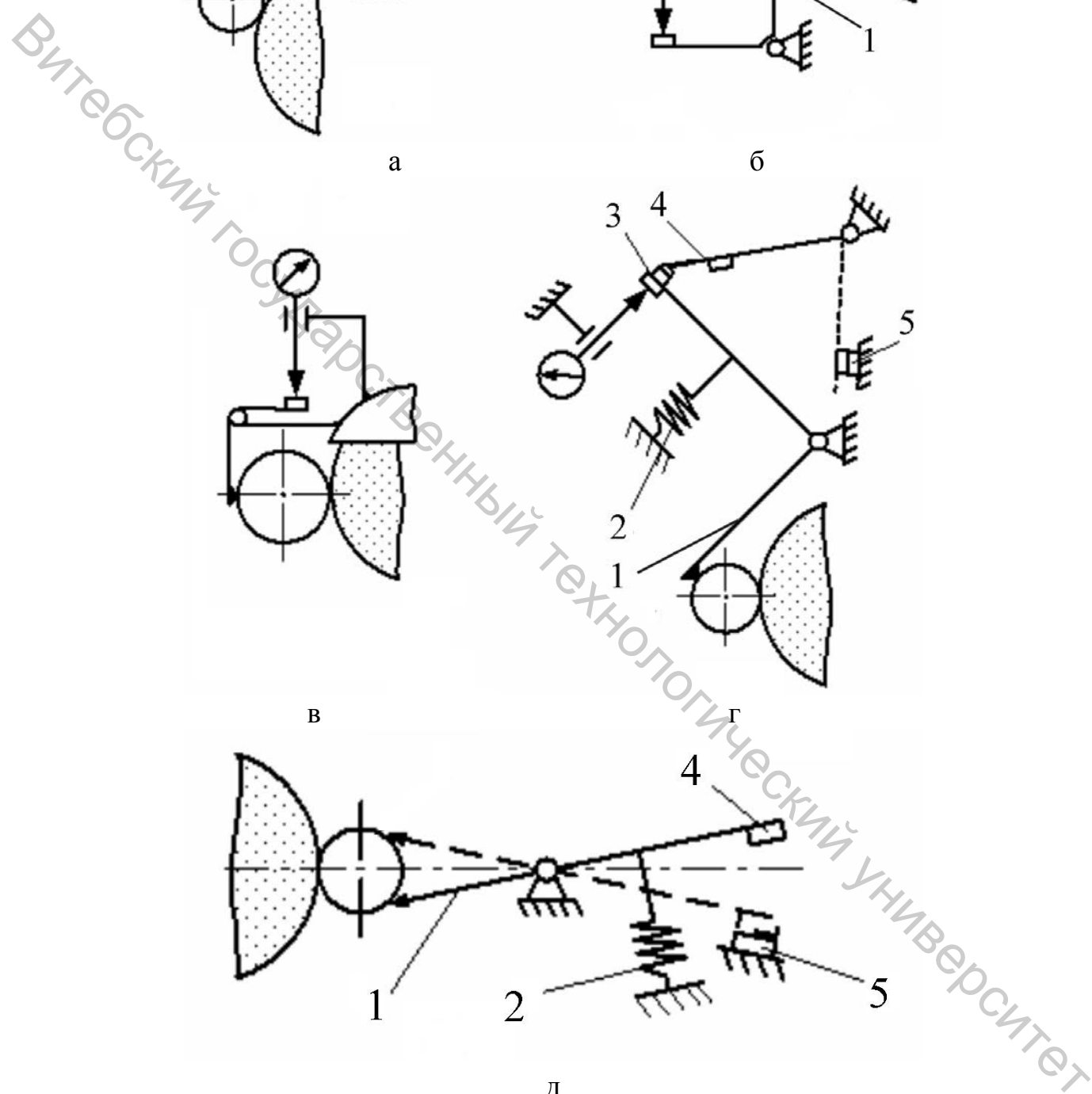


Рисунок 5.6 – Схемы одноконтанных приборов активного действия:
 1 – наконечник; 2 – пружина; 3 – призмы; 4, 5 – контакты

На рисунке 5.6 в прибор активного контроля закреплен на кожухе. Это позволяет контролировать деталь по всей длине. При этом прибор не реагирует на деформацию изгиба детали и на отжим центров станка, так стрела прогиба детали равна перемещению всего устройства, передвигающегося с кожухом круга. Однако это устройство реагирует на износ круга, вследствие чего расстояние между поверхностью круга и наконечником изменяется.

На рисунке 5.6 г представлена схема одноконтантного устройства, основанного на принципе падающего контакта. По мере сошлифовывания припуска диаметр обрабатываемой детали уменьшается, и наконечник 1 измерительного рычага под действием пружины 2 перемещается. При достижении заданного размера детали рычаг 3 отходит настолько, что падающий контакт 4 соскакивает с призмы рычага 3 и замыкает контакт 5. Это вызывает срабатывание электромагнитного реле и отход шлифовального круга от детали.

Аналогично работает устройство, представленное на рисунке 5.6 д. Под деталь подводится измерительный рычаг 1, который по мере сошлифовывания припуска поднимается вверх. Под действием пружины 2 рычаг проскакивает вверх и замыкает контакты, что вызывает срабатывание электромагнита и остановку станка.

5.2.2 Двухконтантные приборы активного контроля

Основные достоинства двухконтантных приборов по сравнению с одноконтантными – более высокая точность измерения, так как в измерительную цепь не входят элементы станков и других устройств, а также возможность механизации подвода и отвода приборов от обрабатываемой детали.

Схема двухконтантного прибора активного контроля с одним подвижным измерительным контактом представлена на рисунке 5.7 а. Наконечник 2 опирается на обрабатываемую деталь под действием корпуса 1. Нижний измерительный наконечник закреплен на рычаге 3, который установлен на шарнире 4 в корпусе 1. Измерение диаметра обрабатываемой детали воспринимается с помощью датчика 6 и преобразуется в управляющий сигнал. Настройка на заданный размер осуществляется перемещением наконечника 2 относительно корпуса 1 и перемещением корпуса 1 относительно вертикальной планки 5.

Схема прибора активного контроля с двумя подвижными измерительными наконечниками представлена на рисунке 5.7 б.

Два измерительных наконечника подвешены к корпусу прибора на упругих пружинных подвесках 7.

Грубая настройка прибора осуществляется путем смещения подвижных контактов относительно блоков; точная – микровинтом 8. Измерительное усилие создается дополнительной пружиной.

Рассматриваемая схема, в отличие от двухконтактной схемы с одним подвижным контактом, имеет преимущество в том, что масса корпуса прибора не воздействует ни на один из измерительных наконечников, так как системы независимы и связаны с корпусом упругой связью.

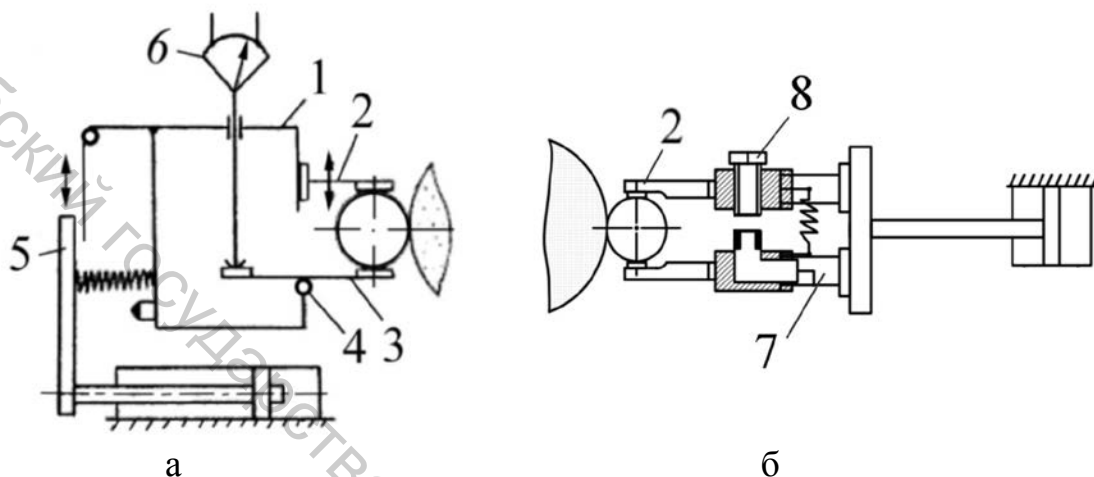


Рисунок 5.7 – Схемы двухконтактных приборов активного контроля:

а – с одним подвижным измерительным рычагом, *б* – с двумя подвижными измерительными наконечниками; 1 – корпус; 2 – наконечники; 3 – рычаг; 4 – шарнир; 5 – планка; 6 – датчик; 7 – пружинные подвески

5.2.3 Трехконтактные приборы активного контроля

Трехконтактные приборы активного контроля имеют две точки опорные, а третью – подвижную, предназначенную для измерения размера. Основным достоинством трехконтактных приборов по сравнению с одноконтактными устройствами является то, что они измеряют диаметр, а не радиус детали, и одновременно базируются на поверхности детали. Это обуславливает подвижную установку датчика в процессе контроля, а прибор не реагирует на смещение центра.

На рисунке 5.8 а представлена конструкция трехконтактной индикаторной скобы с ручным вводом скобы в зону измерения и отводом в исходное состояние. Два наконечника этой скобы 1 и 2 – упорные, третий – подвижный, связан с измерительным штоком 3 и прижимается к поверхности контролируемой детали пружиной 4.

По мере сошлифовывания припуска размер детали уменьшается, измерительный шток опускается вниз, нажимая на шток индикатора 5.

Устройство в сборе шарнирно подвешивается к станку с помощью кронштейна 6 и двух шарниров 7 и 8. Упорные наконечники 1 и 2 прижимаются к поверхности контролируемой детали с помощью пружины 9. Для того чтобы скоба надежно удерживалась на обрабатываемой детали, нижний упорный наконечник 1 должен касаться детали в точке, смещенной к шлифовальному кругу на $5-10^\circ$. К недостаткам схемы следует отнести сложность автоматизации ввода измерительной системы в рабочее положение и ее вывод.

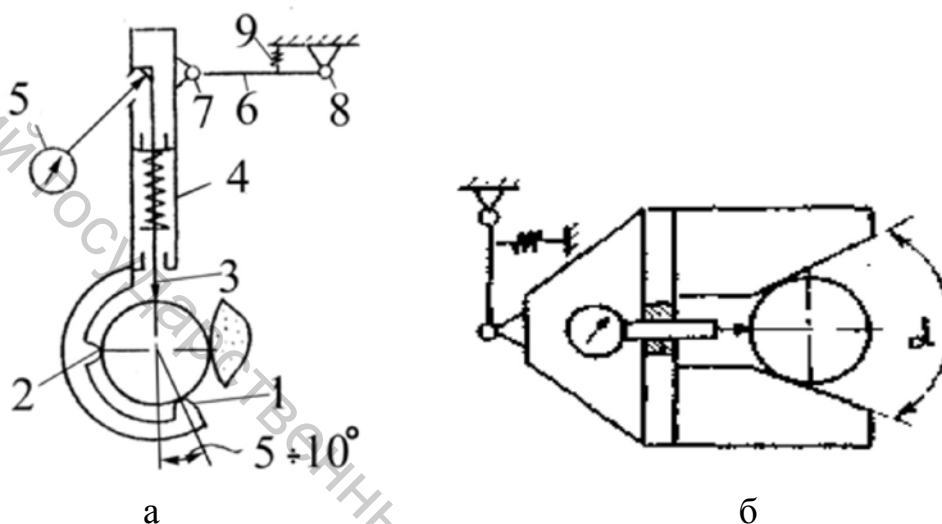


Рисунок 5.8 – Схемы трехконтактной (а) и седлообразной (б) скоб:
1, 2 – упорные неподвижные наконечники; 3 – подвижный наконечник;
4 – пружина; 5 – индикатор; 6 – кронштейн; 7, 8 – шарниры;
9 – пружина

На рисунке 5.8 б представлена схема седлообразной скобы, где диаметр вала измеряется по биссектрисе угла, образованного опорными поверхностями призмы. Это устраняет проблемы, связанные с автоматизацией подвода и отвода детали.

5.3 Приборы активного контроля деталей с прерывистыми поверхностями

Около 25 % всех деталей тел вращения имеют прерывистые поверхности. Сечения деталей (валов) с прерывистой поверхностью преимущественно бывают следующие (рис. 5.9): шпоночные (а), шлицевые (б), со смазочным отверстием (в), со смазочными канавками (г), зубчатые (д), развертки и фрезы (е), спиральные сверла (ж), метчики (з), овального поршня двигателя внутреннего сгорания (и).

Для этого класса деталей созданы особые разновидности прибо-

ров активного контроля. Методы построения таких приборов основаны на выполнении двух дополнительных функций:

- предотвращение подачи ложных сигналов;
- предотвращение повреждения измерительных наконечников и самой обрабатываемой детали.

Для построения приборов используются следующие методы:

- наконечники, перекрывающие разрывы;
- затормаживание наконечников.

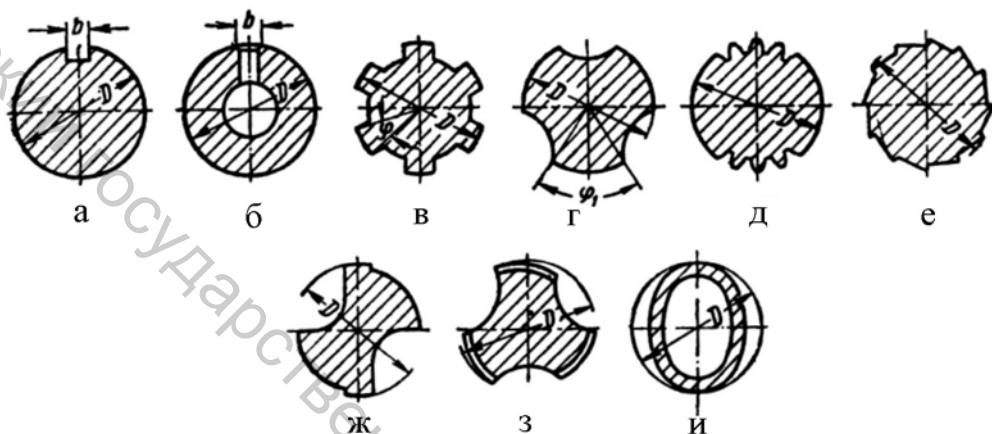


Рисунок 5.9 – Сечения валов с прерывистой поверхностью

Самым простым устройством для контроля прерывистой поверхности являются дугообразные наконечники, имеющие радиус наконечника R_H близкий к радиусу детали R_d и перекрывающий разрывы поверхности (рис. 5.10). Для спокойной и безударной работы дугообразного наконечника его ширина должна составлять:

$$a = (2,2 \dots 2,5)b,$$

где b – ширина паза, а его радиус $R_H > R_d$, причем R_d обычно равен радиусу обрабатываемой детали с припуском.

Дугообразные наконечники рекомендуется применять для контроля деталей, для которых $b_{max} \leq 0,3d$, ширина $a = (2,2 \dots 2,5)b$.

5.4 Приборы с затормаживанием измерительных наконечников

Главное достоинство этих приборов – возможность их широкого применения для измерения гладких и прерывистых поверхностей. Принцип работы такого прибора представлен на рисунке 5.11.

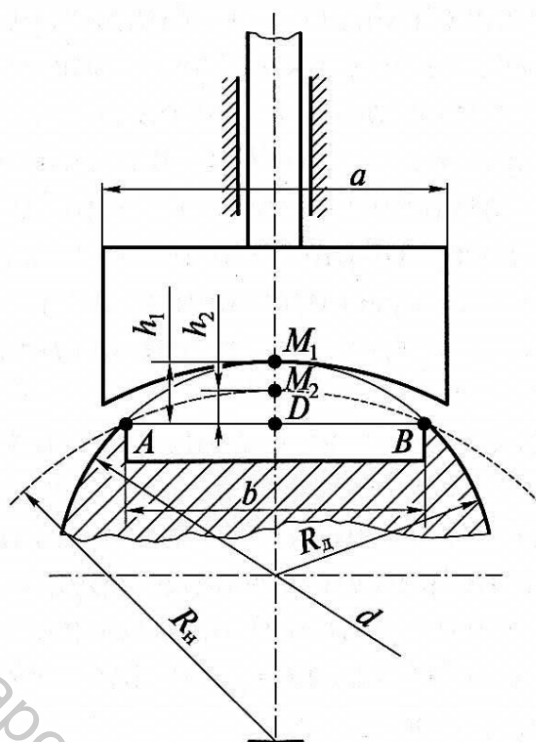


Рисунок 5.10 – Схема контроля с дугообразным наконечником

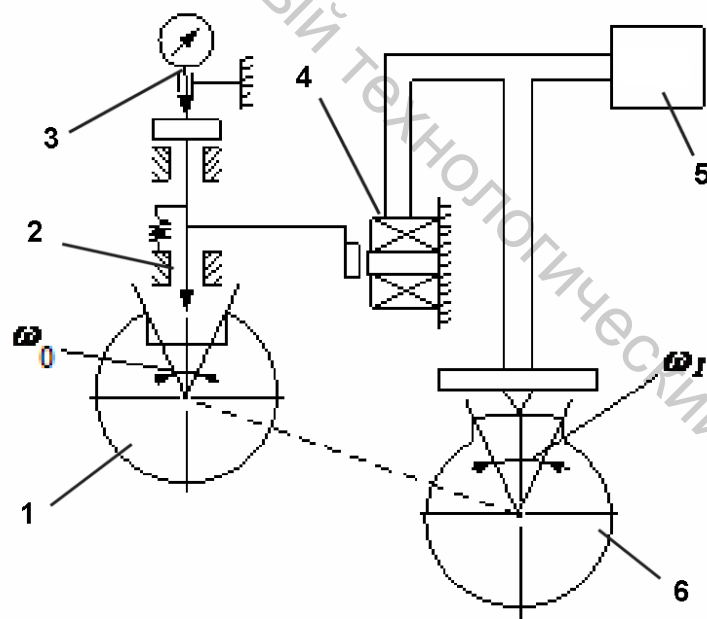


Рисунок 5.11 – Схема прибора с затормаживанием измерительных наконечников: 1 – обрабатываемая деталь; 2 – измерительный наконечник; 3 – измерительный прибор; 4 – электромагнит; 5 – исполнительный механизм; 6 – кулачок

Когда разрыв на детали приближается к измерительному стержню, то электрическая цепь электромагнита 4 замыкается с помощью кулачка 6, синхронно вращающегося совместно с обрабатываемой деталью. Измерительный стержень 2 при этом поднимается вверх. После поворота кулачка на угол w_0 электрическая цепь размыкается, измерительный стержень 2 при этом под действием пружины входит в контакт с обрабатываемой поверхностью. Угол поворота кулачка w_1 немного превышает угол w_0 , соответствующий разрыву на поверхности детали.

5.5 Автоподналадчики

Устройства, контролирующие деталь непосредственно после обработки, принято называть подналадчиками. Контрольные устройства, применяемые в подналадчиках, настраиваются по суженным границам интервала допуска на обрабатываемые детали. Для этого устанавливаются верхняя и нижняя контрольные границы, которые смещены внутрь заданного интервала допуска детали. Детали, размер которых соответствует одной из контрольных границ, не вызывают появление брака. В течение времени, необходимого для подналадки станка, обрабатываемые детали будут иметь границы, превышающие контрольные размеры. Верхняя и нижняя контрольные границы смещаются внутрь интервала допуска в среднем на $0,1 \dots 0,2$ величины допуска на размер детали.

В случае если размеры подходят к некоторому установленному пределу, подналадчики подают команду исполнительным механизмам станка изменить положение инструмента, корректируя тем самым размеры последующих деталей и предотвращая появление брака.

5.6 Координатно-измерительные машины (КИМ)

5.6.1 Общие сведения о КИМ

Координатно-измерительные машины предназначены для измерения крупногабаритных массивных деталей сложной формы: корпусных деталей, блоков цилиндров, коробок передач, пресс-форм, штампов и т.д.

Несмотря на разнообразие моделей КИМ, их можно сгруппировать по типам исполнения: трехмерные портальные, стоечные, шарнирно-сочлененные, шестиосевые, фото- и рентгенографические, лазерные дальномеры с объемным сканированием.

КИМ выпускаются с ручным управлением автоматизированной обработкой результатов измерений, а также полностью автоматизированными

процессами управления измерения и обработки. На подобных машинах можно контролировать до 90 % продукции общего машиностроения. КИМ позволяют успешно выполнять почти все измерения, осуществляемые универсальными оптическими приборами, особенно контактными. КИМ заменяют большую часть зубоизмерительных приборов.

Непременными требованиями ко всем измерительным машинам являются точность и быстрота измерений, адаптируемость к условиям реального производства, простота обучения персонала и эксплуатации КИМ.

На рисунке 5.12 представлена координатно-измерительная машина фирмы Цейсс. КИМ состоит из жесткого массивного гранитного основания 1, на котором смонтированы подвижные части: портал 2, каретка 3, шпиндель 4 и поворотный стол 5. Портал перемещается вдоль гранитного основания (ось X); каретка перемещается вдоль перекладины портала перпендикулярно оси X (ось Y); шпиндель перемещается вертикально внутри каретки (ось Z). На шпинделе устанавливается измерительная головка 6.

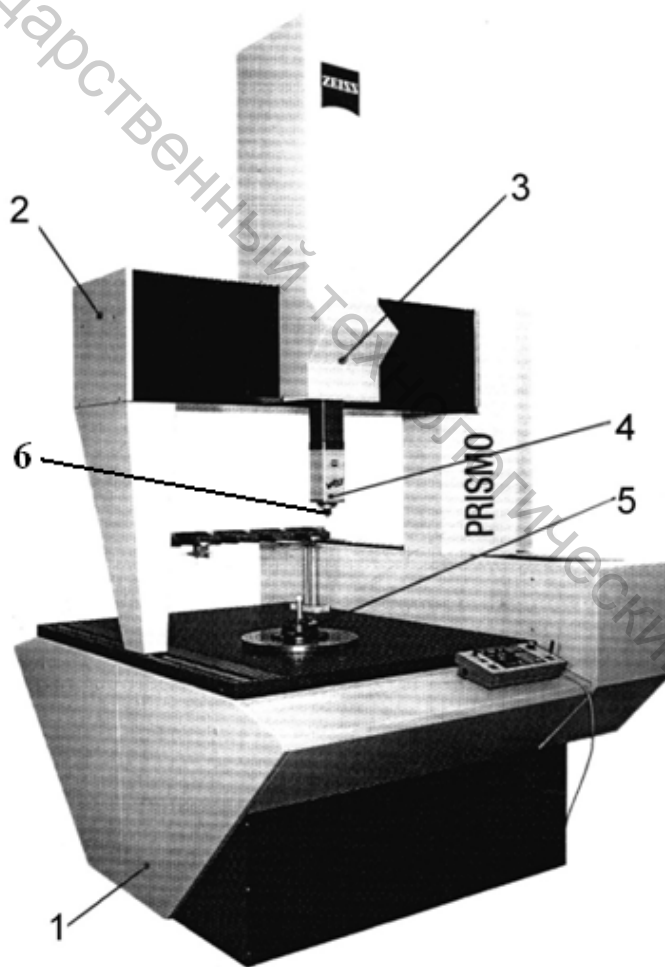


Рисунок 5.12 – Координатно-измерительная машина фирмы «Цейсс»:

- 1 – основание; 2 – портал; 3 – каретка; 4 – шпиндель;
- 5 – поворотный стол; 6 – измерительная головка

Основание устанавливается на пассивных или активных вибродемпферах. Пассивные вибродемпферы состоят из статических опор и опор для предотвращения опрокидывания. Активные вибродемпферы – это пневматические управляемые опоры, способные поглощать вибрации даже относительно низкой частоты.

Основание и направляющие выполнены из керамики. Высокая противодеформационная и температурная стойкость керамики обеспечивает надежную воспроизводимость результатов измерений. Керамические направляющие гарантируют стабильность технических характеристик в течение многих лет. Основание защищено от температурного воздействия специальной капсулой.

Подвижные части опираются на воздушные подшипники, выполненные из пористого графита. Система пневматических подшипников минимизирует трение между сопрягаемыми подвижными поверхностями и устраняет погрешности, обусловленные трением.

Элементами ошупывания являются рубиновые шарики диаметром 0,3 мм, позволяющие измерять маленькие отверстия, шлицы, контуры, а также щупы специальной формы, например, цилиндрические, конусные и т.п. Для деталей, которые нельзя измерять непосредственным касанием, машины оснащаются оптическими щуповыми системами.

Отсчетные устройства перемещений включают две растровые линейки (рис. 5.13): измерительную 3, закрепленную на подвижных частях, и индикаторную 4, расположенную на неподвижных частях. Длина измерительной линейки должна соответствовать пределам измерений; длина индикаторной линейки может быть значительно меньше.

Если наложить одну растровую линейку на другую с некоторым зазором, при этом, индикаторную растровую линейку повернуть на угол ϕ (рис. 5.13, в), то темные штрихи другого раstra изменяют площадь светлых участков растров. В местах наложения темных штрихов друг на друга изменения площади светлых полос не происходит. Расположение светлых и темных участков образует широкие полосы, которые называют муаровыми.

При перемещении индикаторного раstra вправо полосы перемещаются сверху вниз, а при перемещении индикаторного раstra влево, наоборот, снизу вверх. При относительном перемещении раstra на один шаг q возникает световой импульс, который несет информацию об измеряемом перемещении. При непрерывном движении индикаторного раstra наблюдают световые импульсы, частота которых определяется шагом раstra q , а количество прямо пропорционально расстоянию линейного перемещения растров. Отсчетное устройство 5 переводит количество световых импульсов в линейные размеры (перемещения).

Метрологические характеристики КИМ приведены в таблице 5.1.

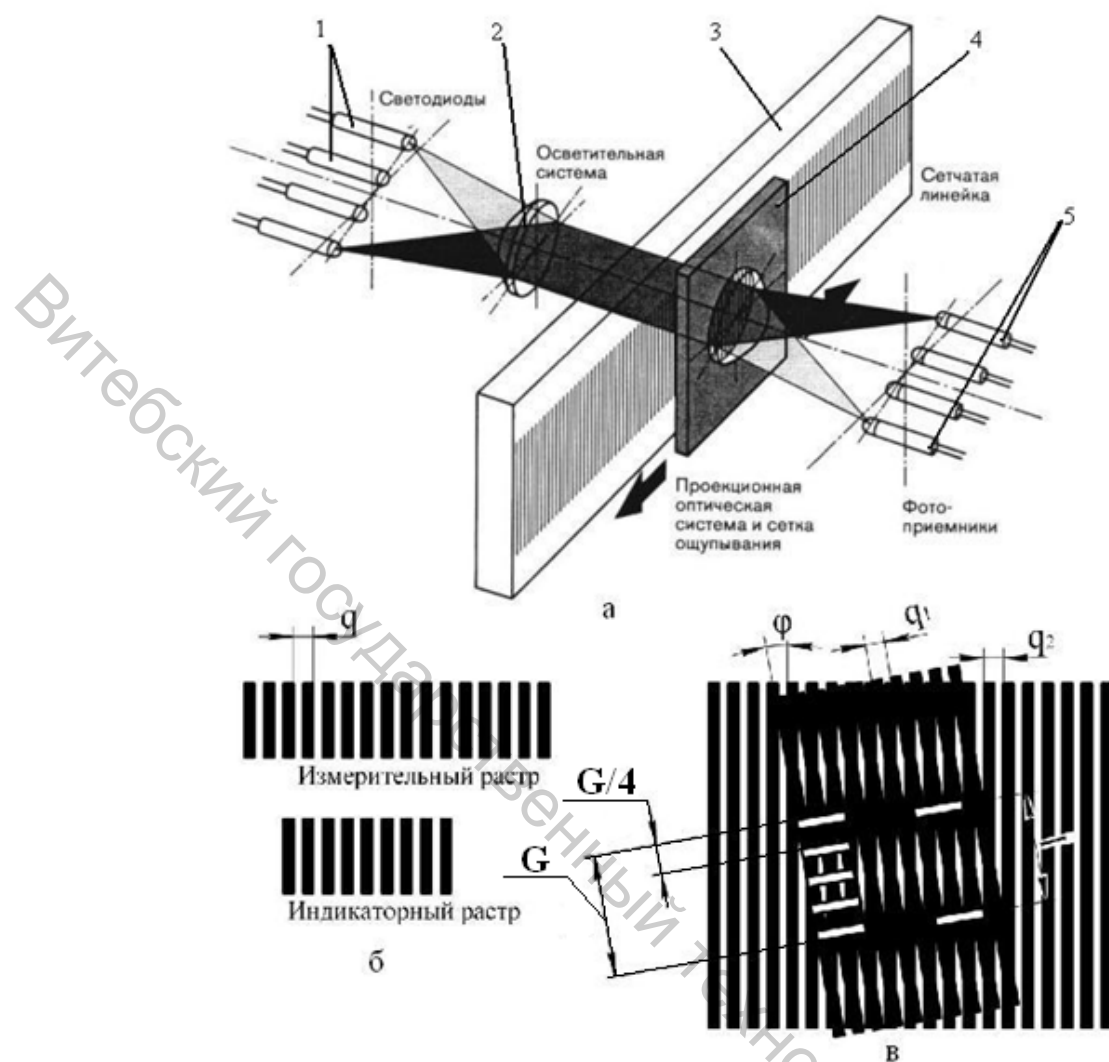


Рисунок 5.13 – Схемы растровой системы отсчета: *а* – оптическая схема растрового отсчетного устройства, *б, в* – схемы расположения растров; 1 – светодиоды; 2 – осветительная система; 3 – измерительная растровая линейка; 4 – индикаторная растровая линейка; 5 – фотоприемное отсчетное устройство

Таблица 5.1 – Метрологические характеристики КИМ

Предельные погрешности измерений, мкм, для диапазонов размеров, мм												
до 3	св. 3	св. 6	св. 10	св. 18	св. 30	св. 50	св. 80	св. 120	св. 180	св. 250	св. 315	св. 400
	до 6	до 10	до 18	до 30	до 50	до 80	до 120	до 180	до 250	до 315	до 400	до 500
1	1	1	1	1,2	1,3	1,5	2	3	3,5	4	5	6

По технологии производства не всегда нужна микронная точность и не всегда есть возможность использования стационарных КИМ. Например, при изготовлении кузовов легковых автомобилей из штампованных элементов неточности готовых деталей могут достигать нескольких миллиметров, а сам процесс сборки требовать периодического контроля непосредственно на месте. Поэтому в сегменте измерительных систем появились мобильные координатно-измерительные машины, обладающие универсальными возможностями, автономностью, простотой в эксплуатации и обучении, и при этом более низкой, чем у порталных установок, стоимостью. Таким оборудованием можно проводить 3D-контроль в диапазоне от 0 до 70 м с точностью от ± 5 до ± 176 мкм. К их числу относятся шарнирно-сочлененные измерительные машины в 6- и 7-осевом исполнении, а также лазерные КИМ. Такое оборудование широко применяется в аэрокосмической, автомобильной, судостроительной промышленности для измерений линейных и угловых размеров, контроля формообразующих поверхностей крупногабаритных изделий.

5.6.2 Базовый узел КИМ

Типовая конструкция КИМ порталной компоновки показана на рисунке 5.14. Основным элементом конструкции в современных КИМ является стол, используемый в качестве базового узла, на котором установлены подвижные и неподвижные узлы, а также измеряемые детали. В свою очередь, для обеспечения условий эргономики стол установлен на опорную раму необходимой высоты. Рама устанавливается на фундаменте или стол на раме с помощью трех опор. Это обеспечивает стабильность установки и упрощает выверку горизонтального положения КИМ. Обеспечение горизонтального положения КИМ необходимо для уменьшения влияния силы тяжести на элементы конструкции машины.

В случае необходимости дополнительной виброизоляции могут использоваться специальные виброизолирующие опоры, например, пневматические. Чем выше масса стола КИМ, тем меньше он подвержен вибрациям.

Для крупногабаритных мостовых КИМ в качестве базового узла может использоваться жесткий фундамент, на котором монтируются стойки КИМ и стол для установки детали. В последнее время наибольшее распространение получили столы из твердокаменных пород (например, гранита). В отличие от деталей, полученных методом литья, детали из твердокаменных пород обладают высокой стабильностью размеров и формы во времени. Это обусловлено их длительным старением в естественных условиях. Благодаря меньшему коэффициенту ли-

нейного расширения и меньшей теплопроводности, в сравнении с деталями из чугунного и стального литья, детали из твердокаменных пород деформируются при изменении температуры окружающей среды значительно меньше.

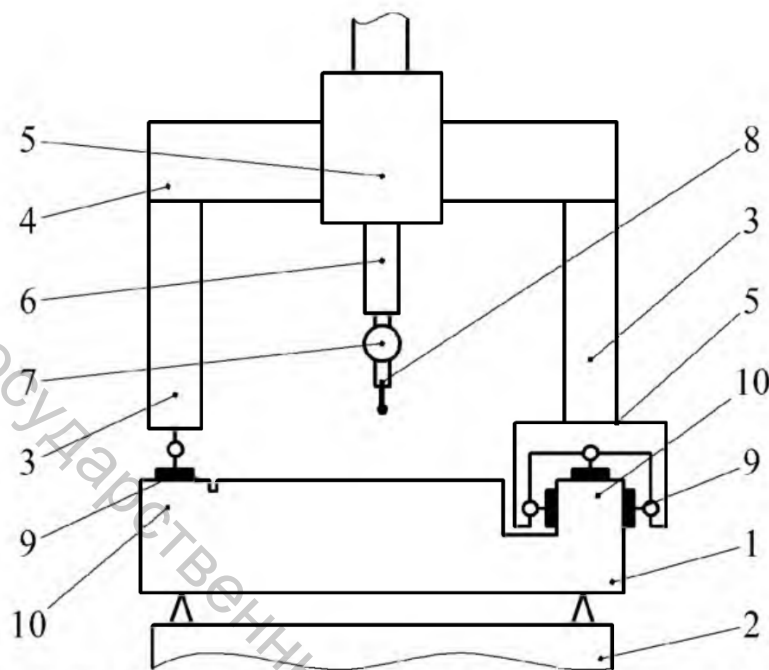


Рисунок 5.14 – Принципиальная схема конструкции типовой КИМ портальной компоновки: 1 – стол; 2 – опорная рама; 3 – стойки; 4 – траверса; 5 – каретка; 6 – пиноль; 7 – поворотная головка; 8 – измерительная головка; 9 – аэростатические опоры (подшипники); 10 – направляющие (на рисунке – только ось X)

Существенным недостатком твердокаменных пород является их большая водопоглощаемость и склонность к набуханию, что приводит к появлению погрешности формы поверхности. По этой причине при эксплуатации КИМ с деталями из твердокаменных пород более строго регламентируется влажность окружающего воздуха.

Поверхность стола часто используют в качестве направляющих, по которым перемещаются аэростатические опоры.

Так как при координатном методе измерений нет необходимости в точной установке детали относительно системы координат КИМ, к качеству поверхности стола не предъявляются высокие требования. Для закрепления измеряемой детали или установочных приспособлений на столе КИМ обычно используют резьбовые отверстия или Т-образные пазы.

Гранитные столы, а иногда и направляющие, выполненные на них, обычно не защищают от воздействия окружающей среды, что требует более внимательного к ним отношения в процессе эксплуатации.

5.6.3 Узлы координатных перемещений

Материализация системы координат КИМ осуществляется с помощью узлов координатных перемещений, параметры которых во многом определяют точностные характеристики КИМ. Основными элементами узлов координатных перемещений являются направляющие и опоры (подшипники).

Направляющие изготавливают в виде отдельных узлов, прикрепляемых к несущим деталям, или в виде прецизионных поверхностей, выполняемых непосредственно на несущих деталях КИМ (например, на гранитном столе).

В измерительной технике наиболее часто применяют три типа опор: скольжения (рис. 5.1 а), качения (рис. 5.1 б) и аэростатические опоры (рис. 5.15 в).

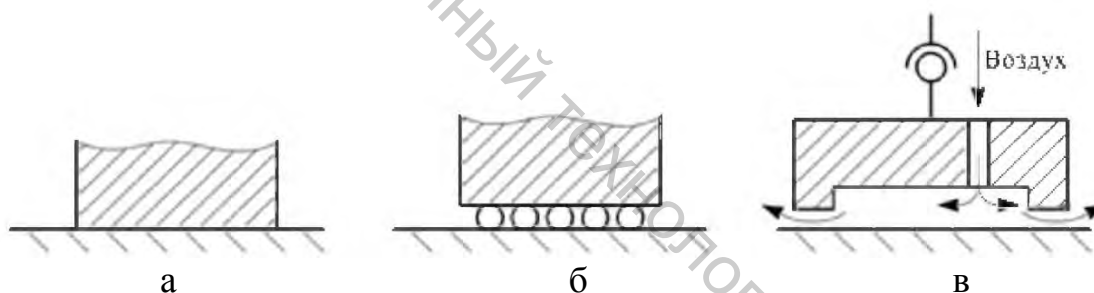


Рисунок 5.15 – Основные типы опор, используемых в измерительной технике: а – скольжения; б – качения; в – аэростатические

В опорах скольжения в настоящее время широкое распространение получает использование полимерных материалов с низким коэффициентом трения (например, *Igus*).

Опоры качения могут быть реализованы с использованием стандартных шариковых и роликовых подшипников или в виде танкеток, в которых в качестве тел качения используются шарики, расположенные в несколько рядов. В последнем случае с поверхностью направляющих одновременно контактирует большое число шариков, вследствие чего усредняются погрешности формы направляющих. Опоры качения обладают, по сравнению с опорами скольжения, значительно более низким коэффициентом трения.

Аэростатические опоры обладают исключительными свойствами, обуславливающими их широкое применение в измерительной технике (рис. 5.16). В процессе работы между аэростатической опорой и поверхностью направляющих образуется плёнка сжатого воздуха толщиной 46 мкм. Так как опора не имеет контакта с направляющими, коэффициент трения близок к нулю и практически не зависит от скорости движения. Благодаря этому обеспечивается плавное, без скачков, перемещение подвижных элементов КИМ.



Рисунок 5.16 – Внешний вид аэростатической опоры и направляющей

Аэростатические опоры обеспечивают хорошее усреднение отклонений формы направляющих, обладают эффектом самоустановки, просты в эксплуатации и не требуют особого ухода. Благодаря постоянно вытекающему сжатому воздуху происходит очистка направляющих от пыли.

Основным неудобством применения аэростатических опор является необходимость в непрерывном подводе очищенного и стабилизированного по давлению сжатого воздуха. Поэтому для работы КИМ необходимо использование специальной системы подготовки сжатого воздуха. Типовой диапазон давлений, в которых обеспечивается работоспособность аэростатических опор, составляет 0,4...0,6 МПа.

Для компенсации влияния силы тяжести на узлы координатных перемещений, например, на вертикальную пиноль, используют противовесы или пневматические компенсаторы для уравнивания.

5.6.4 Измерительные головки

Измерительные головки являются одним из основных узлов КИМ, взаимодействующих с измеряемой деталью, и определяют точность, универсальность и производительность КИМ.

Существующие измерительные головки (ИГ) для КИМ можно разделить на две группы:

- контактные (механически взаимодействуют с контролируемым изделием);
- бесконтактные (не имеют механического взаимодействия с контролируемым изделием).

Контактные измерительные головки. Среди контактных наибольшее распространение получили *нулевые ИГ*. В этих головках измерительное усилие, возникающее при контакте наконечника щупа с поверхностью измеряемой детали, или небольшое перемещение наконечника щупа вызывает изменение состояния чувствительного элемента. Это приводит к ступенчатому изменению электрического сигнала, формирующего команду для ЧПУ КИМ на считывание текущих координат. В качестве чувствительного элемента может использоваться внутренний или наружный электрический контакт, пьезоэлемент, конденсатор, тензорезистор.

На рисунке 5.17 показана принципиальная схема триггерной ИГ с внутренними электроконтактами. Базирование измерительных щупов осуществляется посредством трех тел вращения и трех призматических тел (часто заменяемых также телами вращения), расположенных равномерно по окружности с шагом 120° . Для поджатия поворотной платформы с измерительным щупом к базирующим телам вращения используется пружина. Такая конструкция обеспечивает самоустановку платформы с высокой точностью и повторяемостью.

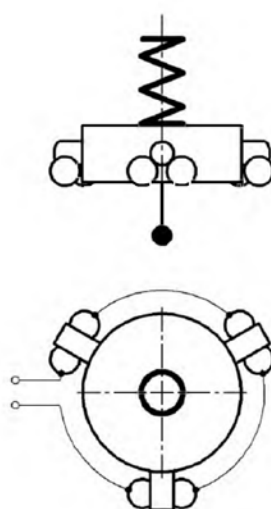


Рисунок 5.17 – Принципиальная схема триггерной ИГ с внутренними электроконтактами

Базирующие тела вращения (шарики и цилиндры) прикреплены к деталям головки через изоляторы и соединены в последовательную электрическую цепь. При смещении измерительного наконечника щупа от контакта с деталью платформа поворачивается, и один из цилиндров отрывается от шариков. Это приводит к разрыву электрической цепи и используется для образования команды, сообщающей ЧПУ КИМ о факте контакта с поверхностью детали.

Примерами триггерных ИГ являются модели TP7, TP20, TP200 компании *Renishaw*; серия *HP Probe* компании *Hexagon*, RST-P компании *Zeiss*.

В отличие от нулевых ИГ, выдающих только один ступенчатый сигнал в моменте контакта, *ИГ отклонения* позволяют определить величину перемещения наконечника щупа относительно корпуса головки, благодаря встроенным измерительным преобразователям. Эти головки позволяют реализовать при измерении режим сканирования: непрерывного контакта измерительного наконечника с деталью при перемещении ИГ. При сканировании ИГ перемещается по заданной траектории (например, параллельно измеряемой поверхности). Благодаря возможности отклонения щупа, измерительный наконечник следует по фактической поверхности, несмотря на имеющееся отклонение формы или непараллельности траектории движения.

Для обеспечения возможности смещения измерительного щупа относительно корпуса ИГ в основном используют два варианта крепления платформы со щупом: пружинный параллелограмм или диафрагму. На рисунке 5.18 представлена конструкция двухкоординатной ИГ отклонения на основе пружинных параллелограммов.



Рисунок 5.18 – Двухкоординатная ИГ отклонения на основе пружинных параллелограммов

Примерами ИГ отклонения являются модели SP25M, SP80, SP600 компании *Renishaw*; MPP-310Q компании *Mitutoyo*, серии HP-S компании *Hexagon*, серии LSP компании *Leitz/Hexagon*, серии VAST компании *Zeiss*.

Бесконтактные измерительные головки находят в последнее время широкое распространение, особенно в измерительных задачах, решаемых с помощью роботов. К бесконтактным относят лазерные и оптические ИГ.

Лазерные ИГ можно разделить на следующие типы:

- точечные ИГ, измеряющие положение одной точки поверхности относительно ИГ по одной, двум или трем координатам;
- линейные сканеры, измеряющие положение массива точек, расположенных вдоль линии, при этом каждая точка характеризуется двумя координатами: расстоянием от головки и положением в линии;
- объемные сканеры, измеряющие положение массива точек, распределенных по площади сканируемого участка поверхности, при этом каждая точка характеризуется тремя координатами: расстоянием от головки и двумя координатами положения в сканируемой площадке.

Преимуществами использования бесконтактных ИГ являются: высокая производительность измерения облака точек, недостижимая при контактных методах измерения; отсутствие воздействия на измеряемую деталь. Недостатки бесконтактных ИГ: значительно более низкая точность измерений в сравнении с контактными ИГ; чувствительность к отражающей способности поверхности; чувствительность к параметрам окружающей среды (из-за изменения длины волны лазера); невозможность использования при измерениях в труднодоступных местах.

Для повышения отражающей способности зеркальных поверхностей (например, у стальных деталей с низкой шероховатостью) используют специальные покрытия типа красок, наносимых перед измерением. Неоднородность толщины покрытия значительно снижает точность измерений.

Основными нишами применения КИМ с бесконтактными ИГ являются: задачи измерения облака точек с большой плотностью, контроль точности сложных по форме объемных деталей (например, получаемых штамповкой и литьем), контроль точности крупногабаритных изделий.

Основными производителями бесконтактных ИГ являются: *Kreon Technologies*, *Hexagon*, *Zeiss*, *Mitutoyo*.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Литература

- 1 Афанасьев, А. А. Взаимозаменяемость и нормирование точности / А. А. Афанасьев, А. А. Погонин. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2021. – 427 с.
- 2 Гостев, В. Н. Выбор посадок и предпочтительных полей допусков : справ. руководство / В. Н. Гостев, В. Д. Мягков. – Москва : Машиностроение, 1971. – 237 с.
- 3 Дунаев, П. Ф. Расчет допусков размеров / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва : Машиностроение, 1992. – 240 с.
- 4 Клименков, С. С. Нормирование точности и технические измерения в машиностроении : учебник / С. С. Клименков. – Минск : Новое знание ; Москва : Инфра-М, 2016. – 248 с.
- 5 Марков, Н. Н. Нормирование точности в машиностроении / Н. Н. Марков, В. В. Осипов, М. Б. Шабалина. – Москва : Машиностроение, 2001. – 335 с.
- 6 Машиностроение. Энциклопедия : в 40 т. Т. I-5. Стандартизация и сертификация в машиностроении. – Москва : Машиностроение, 2002. – 672 с.
- 7 Палей, М. А. Допуски и посадки : справ. : в 2 ч. / М. А. Палей, А. Б. Романов, В. Л. Брагинский. – СПб. : Политехника, 2009. – 2 ч.
- 8 Парфеньева, И. Е. Нормирование геометрических характеристик изделий : современный подход / И. Е. Парфеньева, С. А. Зайцев, О. Ф. Вячеславова. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2018. – 270 с.
- 9 Перель, Л. Я. Подшипники качения : справ. / Л. Я. Перель. – Москва : Машиностроение, 1983. – 543 с.
- 10 Скундин, Г. И. Шлицевые соединения / Г. И. Скундин, В. Н. Никитин. – Москва : Машиностроение, 1981. – 130 с.
- 11 Соломахо, В. Л. Нормирование точности и технические измерения : учебник / В. Л. Соломахо, Б. В. Цитович, С. С. Соколовский. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 368 с.
- 12 Старожинский, В. Е. Точные пластмассовые детали и технология их получения / В. Е. Старожинский [и др.]. – Минск : Навука і тэхніка, 1992. – 307 с.
- 13 Тайц, Б. А. Точность и контроль зубчатых передач / Б. А. Тайц, Н. Н. Марков. – Ленинград : Машиностроение, 1978. – 137 с.
- 14 Тарасов, С. Б. Метрология, стандартизация и взаимозаменяемость : учебник / С. Б. Тарасов [и др.]. – Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2019. – 337 с.

1 ГОСТ 1139-80. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски. – Введ. 1982-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

2 ГОСТ 11708-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба. Термины и определения. – Введ. 1984-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 31 с.

3 ГОСТ 16093-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Допуски. Посадки с зазором. – Введ. 2005-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2005. – 38 с.

4 ГОСТ 1643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передачи зубчатые цилиндрические. – Введ. 1981-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 44 с.

5 ГОСТ 2.308-2011. Единая система конструкторской документации. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей. – Введ. 2012-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2012. – 27 с.

6 ГОСТ 2.309-73. Единая система конструкторской документации. Обозначения шероховатости поверхностей. – Введ. 1975-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.

7 ГОСТ 23360-78. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шпоночные призматическими шпонками. Размеры шпонок и сечений пазов. Допуски и посадки. – Введ. 1980-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1978. – 16 с.

8 ГОСТ 24642-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Основные термины и определения. – Введ. 1981-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2004. – 46 с.

9 ГОСТ 24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения. – Введ. 1981-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2004. – 10 с.

10 ГОСТ 24705-2004. Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Основные размеры. – Введ. 2005-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2006. – 15 с.

11 ГОСТ 24853-81. Калибры гладкие для размеров до 500 мм. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.

12 ГОСТ 25142-82. Шероховатость поверхности. Термины и определения. – Введ. 1983-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 16 с.

13 ГОСТ 25256-2013 (ISO 1132-1:2000). Подшипники качения. Допуски. Термины и определения. – Введ. 2015-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 43 с.

14 ГОСТ 25307-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Система допусков и посадок для конических соединений. – Введ. 1983-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 41 с.

15 ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. – Введ. 2017-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 52 с.

16 ГОСТ 25347-2013 (ISO 286-2:2010). Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Ряды допусков, предельные отклонения отверстий и валов. – Введ. 2017-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 62 с.

17 ГОСТ 25349-88. Основные нормы взаимозаменяемости. Единая система допусков и посадок. Поля допусков деталей из пластмасс. – Введ. 1990-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1988. – 12 с.

18 ГОСТ 25548-82. Основные нормы взаимозаменяемости. Конусы и конические соединения. Термины и определения. – Введ. 1984-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 32 с.

19 ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – Введ. 1975-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2018. – 7 с.

20 ГОСТ 30893.1-2002 (ИСО 2768-1-89). Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. – Введ. 2004-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 9 с.

21 ГОСТ 30893.2-2002 (ИСО 2768-2-89). Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Допуски формы и расположения поверхностей, не указанные индивидуально. – Введ. 2004-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.

22 ГОСТ 3325-85. Подшипники качения. Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. – Введ. 1987-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1985. – 105 с.

23 ГОСТ 3478-2012. Подшипники качения. Присоединительные размеры. – Введ. 2014-01-01. – Москва : Стандартиформ, 2014. – 50 с.

24 ГОСТ 520-2011. Подшипники качения. Общие технические условия. – Введ. 2012-07-01. – Москва : Стандартиформ, 2012. – 73 с.

25 ГОСТ 8032-84. Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел. – Введ. 1985-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 19 с.

26 ГОСТ 8.051-81. Государственная система обеспечения единства измерений. Погрешности, допускаемые при измерении линейных

размеров до 500 мм. – Введ. 1982-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1982. – 12 с.

27 ГОСТ 8593-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные конусности и углы конусов. – Введ. 1982-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1981. – 4 с.

28 ГОСТ 8908-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов. – Введ. 1982-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2002. – 10 с.

29 ГОСТ 9150-2002 (ИСО 68-1-98). Основные нормы взаимозаменяемости. Резьба метрическая. Профиль. – Введ. 2004-01-01. – Москва : Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

30 РД 50-635-87. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей: методические указания. – Введ. 1988-07-01. – Москва : Изд-во стандартов, 1987. – 46 с.

Учебное издание

Клименков Степан Степанович

Голубев Алексей Николаевич

НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Учебник

Редактор *А.В. Пухальская*

Корректор *А.В. Пухальская*

Компьютерная верстка *А.Н. Голубев*

Подписано к печати 02.02.2023. Формат 60х90 1/16. Усл. печ. листов 15,8.
Уч.-изд. листов 19,6. Тираж 50 экз. Заказ № 56.

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет» 210038, г. Витебск, Московский пр., 72.

Отпечатано на ризографе учреждения образования

«Витебский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.