

**В. А. Марков
В. А. Соколова
Ю. И. Беленький**

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ

Учебное пособие

**Санкт-Петербург
2026**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

**«Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна»
Высшая школа технологии и энергетики**

**В. А. Марков
В. А. Соколова
Ю. И. Беленький**

ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ И НОРМИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ

Учебное пособие

Утверждено Редакционно-издательским советом ВШТЭ СПбГУПТД

Санкт-Петербург
2026

УДК 621.753 (075)
ББК 34.417я7
М 268

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент Санкт-Петербургского государственного
лесотехнического университета имени С. М. Кирова

Б. М. Шифрин;

кандидат технических наук, доцент Высшей школы технологии и энергетики Санкт-
Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна

И. В. Ключикин

Марков, В. А.

М 268 Взаимозаменяемость и нормирование точности: учебное пособие /
В. А. Марков, В. А. Соколова, Ю. И. Беленький. — СПб.: ВШТЭ
СПбГУПТД, 2026. — 123 с.
ISBN 978-5-91646-469-6

Учебное пособие соответствует программам и учебным планам дисциплины
«Взаимозаменяемость и нормирование точности» для студентов, обучающихся по
направлению подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование», профиль
«Реинжиниринг технологического оборудования».

В учебном пособии изложены основные принципы взаимозаменяемости при
конструировании и производстве изделий, выбор допусков и посадок, а также теория и
практическое применение расчета размерных цепей.

Учебное пособие предназначено для подготовки бакалавров заочной формы обучения,
а также может быть рекомендовано для самостоятельной работы магистров направления
подготовки 15.04.02 «Технологические машины и оборудование», профиль «Технологические
процессы и оборудование целлюлозно-бумажного производства».

Научная специальность 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного
хозяйства и переработки древесины».

УДК 621.753 (075)
ББК 34.417я7

ISBN 978-5-91646-469-6

© ВШТЭ СПбГУПТД, 2026
© Марков В. А., Соколова В. А.,
Беленький Ю. И., 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ, ТОЧНОСТИ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ	7
1.1. Понятие о взаимозаменяемости	7
1.2. Точность и погрешность изготовления изделий	8
2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ДОПУСКОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ	13
2.1. Общие сведения	13
2.2. Допуски линейных размеров	15
2.2.1. Основные положения	15
2.2.2. Краткая характеристика Единой системы допусков и посадок	16
2.2.3. Поля допусков для линейных размеров (ГОСТ 6449.1–82) и посадки	17
2.3. Допуски угловых размеров (ГОСТ 6449.2–82)	22
2.4. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения	23
2.4.1. Общие сведения	23
2.4.2. Допуски формы	25
2.4.3. Допуски ориентации	27
2.4.4. Допуски месторасположения	28
2.4.5. Допуски биения	29
2.4.6. Допуски формы заданного профиля и заданной поверхности	30
2.4.7. Допуски формы и расположения поверхностей (ГОСТ 6449.3–82) ...	31
2.4.8. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей (ГОСТ 6449.4–82)	32
2.5. Неуказанные предельные отклонения и допуски (ГОСТ 6449–82)	37
2.6. Шероховатость поверхностей	38
2.7. Указание допусков геометрических параметров на чертежах	43
3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ	46
3.1. Основные положения	46
3.2. Значение базирования для обеспечения взаимозаменяемости	47
3.3. Выбор и расчет посадок	49
3.4. Размерные цепи	53
3.4.1. Основные положения	53
3.4.2. Методика решения прямой задачи с помощью размерной цепи	55
3.5. Методика выбора допусков формы, ориентации, месторасположения и биения	62
3.5.1. Общие сведения	62
3.5.2. Выбор допусков формы	63
3.5.3. Выбор допусков ориентации	64
3.5.4. Выбор допусков месторасположения	65
3.5.5. Выбор допусков формы заданного профиля	65
4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ	67
4.1. Основные положения	67
4.2. Средства измерений и контроля линейных размеров	67

4.2.1. Меры длины концевые плоскопараллельные.....	67
4.2.2. Микрометры.....	70
4.2.3. Штангенциркули	73
4.2.4. Нутромеры индикаторные.....	77
4.2.5. Порядок выбора измерительных средств	78
4.3. Калибры нормальные и предельные	81
4.4. Калибры для контроля расположения осей отверстий	86
4.5. Калибры профильные	92
4.6. Настройка оборудования на заданный размер.....	97
4.7. Контроль качества заготовок и температурно-влажностных условий в производственных помещениях	102
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.	105
Приложение 1. Термины и определения (ГОСТ 25346–89).....	107
Приложение 2. Значения допусков линейных размеров, мм (ГОСТ 6449.1–82)	110
Приложение 3. Поля допусков валов для номинальных размеров до 500 мм (ГОСТ 6449.1–82).	111
Приложение 4. Поля допусков валов для номинальных размеров свыше 500 до 10000 мм (ГОСТ 6449.1–82)	111
Приложение 5. Предельные отклонения валов a , b , za , zc и ze , мм, для номинальных размеров до 120 мм. Квалитеты 13 и 14 (ГОСТ 6449.1–82)	112
Приложение 6. Предельные отклонения валов a , b , c и za , мм, для номинальных размеров свыше 120 до 500 мм. Квалитеты 12, 13 и 14 (ГОСТ 6449.1–82).....	113
Приложение 7. Предельные отклонения валов b , c и t , мм, для номинальных размеров свыше 500 до 2500 мм. Квалитеты 11, 12 и 13 (ГОСТ 6449.1–82).	114
Приложение 8. Значения допусков угловых размеров (ГОСТ 6449.2–82)	115
Приложение 9. Допуски плоскостности и прямолинейности, мм (ГОСТ 6449.3–82).....	116
Приложение 10. Допуски цилиндричности, круглости, мм (ГОСТ 6449.3–82)	116
Приложение 11. Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения и полного торцового биения, мм (ГОСТ 6449.3–82)	117
Приложение 12. Пересчет предельных отклонений размеров, координирующих оси отверстий, на позиционные допуски.....	117
Приложение 13. Неуказанные симметричные предельные отклонения линейных размеров по классам точности (ГОСТ 6449.5–82)	119
Приложение 14. Примеры указания на чертежах допусков формы, ориентации, месторасположения и биения (ГОСТ 2.308–79).....	120
Приложение 15. Предельные отклонения размеров сторон Б и М калибров для контроля глубин и высот уступов (ГОСТ 14025–84). Квалитеты допуска изделия 15–18	123

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение взаимозаменяемости при конструировании и в производстве изделий из древесины и древесных материалов, а также изделий из других материалов (металлов, пластмасс и пр.) является необходимым условием для обеспечения требуемого качества этих изделий.

В настоящее время ассортимент изделий из древесины и древесных материалов очень большой и включает различные виды мебели, столярно-строительных изделий (деревянные оконные блоки, двери деревянные, деревянные дома и др.) и многие другие виды изделий, а к ассортименту машиностроительной продукции можно отнести детали машин и агрегатов (валы, зубчатые колеса, корпуса и др.).

Требования к этим изделиям устанавливают в соответствующих стандартах технических условий, а при отсутствии стандартов – в специально разработанных технических условиях на конкретные виды изделий.

Кроме этого, на конкретные виды изделий разрабатывают рабочую конструкторскую документацию, которая должна содержать конкретные требования, выполнение которых при их изготовлении обеспечит взаимозаменяемость однотипных составных частей конструируемых изделий.

К этим требованиям относятся прежде всего требования к точности геометрических параметров составных частей изделий, поэтому конструктор должен в совершенстве владеть методикой обоснованного установления требуемой точности изготовления изделий.

В настоящее время в Российской Федерации (а также в других странах) действуют стандарты на допуски геометрических параметров изделий, в которых установлена принятая международная терминология, относящаяся к различным видам этих параметров (линейные размеры; параметры, определяющие точность формы, ориентации, месторасположения элементов деталей др.). Кроме этого, в стандартах установлены рекомендуемые ряды числовых значений допусков соответствующих геометрических параметров, из которых на основании результатов размерного анализа проектируемого изделия выбирают конкретные значения допусков.

В данном учебном пособии рассмотрены: основные понятия в области взаимозаменяемости, точности и погрешности изготовления изделий; стандарты на допуски геометрических параметров изделий из древесины и древесных материалов; методики обеспечения взаимозаменяемости при конструировании и в производстве изделий.

Знаниями вышеуказанных вопросов должен профессионально владеть выпускник технического вуза.

В учебном плане подготовки бакалавров в университете по направлению 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» для профиля подготовки «Реинжиниринг промышленного оборудования» предусмотрено изучение дисциплины «Взаимозаменяемость и нормирование точности».

Кроме этого, знания, полученные студентом при изучении данной дисциплины, необходимы для успешного последующего изучения ряда специальных дисциплин учебных планов подготовки бакалавров.

Настоящее учебное пособие подготовлено в соответствии с утвержденными учебными программами по данным дисциплинам.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ, ТОЧНОСТИ И ПОГРЕШНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

1.1. Понятие о взаимозаменяемости

Взаимозаменяемостью называется возможность сборки независимо изготовленных деталей в узел без дополнительных операций обработки и пригонки.

Взаимозаменяемость однотипных экземпляров составных частей изделий (деталей и сборочных единиц) достигается тогда, когда их геометрические параметры и другие количественные и качественные характеристики находятся в заданных пределах, а собранные изделия удовлетворяют техническим требованиям.

Организация серийного выпуска изделий потребовала сокращения вложенного в них труда. Добиться снижения себестоимости изделий можно было за счет упрощения конструкции, в первую очередь отказа от излишеств – дорогих материалов, трудоемких украшений, нетехнологичных деталей и сборочных единиц.

Выигрыш от такой организации труда – высокая производительность при минимальных требованиях к квалификации работника.

Для обеспечения определенного уровня качества серийно выпускаемых изделий необходимо, чтобы все обработанные детали одного назначения (номенклатуры, типоразмера) были практически одинаковыми. Различия между деталями должны быть столь незначительны, чтобы любая из них собиралась с ответными деталями, а собранные вместе, они составляли изделие, неотличимое в работе от других. Детали и более сложные изделия, если они отвечают поставленным требованиям, называются взаимозаменяемыми.

Выполнение требований к точности геометрических параметров составных частей изделий является необходимым условием обеспечения взаимозаменяемости. Геометрическими параметрами деталей являются размеры их элементов, а также параметры, определяющие форму, ориентацию, месторасположение их элементов и шероховатость поверхностей.

Кроме этого, для обеспечения взаимозаменяемости необходимо выполнить и другие обязательные условия, которые устанавливаются в технических условиях на продукцию (требования к качеству материалов деталей, технологии изготовления, контроля и др.).

При современном серийном производстве детали производят в одних цехах, а собирают машины, узлы и приборы в других. В процессе сборки применяют различные крепежные детали, изделия из неметаллических материалов, подшипники качения и другие изделия, изготовленные на разных специализированных предприятиях.

В основном различают взаимозаменяемость:

- полную;
- частичную (неполную);
- внешнюю;

- внутреннюю;
- функциональную;

Полная – это взаимозаменяемость, при которой в производстве деталей и сборочных единиц обеспечивается такая точность их геометрических параметров, что любая из этих единиц может быть поставлена на свое место в машину без какой бы то ни было дополнительной обработки, подбора или регулирования.

При **неполной** взаимозаменяемости для достижения требуемой точности функциональных параметров (зазоров, натягов) допускается групповой подбор деталей (селективная сборка), применение компенсаторов, регулирование положения некоторых составных частей изделия, пригонка по месту и другие дополнительные технологические мероприятия.

Внешняя взаимозаменяемость — это взаимозаменяемость покупных изделий по техническим характеристикам, размерам и формам присоединительных поверхностей.

Внутренняя взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость отдельных деталей или сборочных единиц, входящих в изделие по всем параметрам.

Функциональная взаимозаменяемость – это взаимозаменяемость, которая обуславливает не только возможность сборки или замены при ремонте любых деталей узлов, но и их оптимальные служебные функции.

Необходимым условием для осуществления взаимозаменяемости по геометрическим параметрам является стандартизация допусков этих параметров. Различают следующие виды геометрических параметров изделий:

- линейные размеры;
- угловые размеры;
- параметры, определяющие точность формы, ориентации, месторасположения элементов (поверхностей, осей и пр.) деталей;
- шероховатость поверхностей.

Вопросы стандартизации допусков геометрических параметров изделий, обеспечения взаимозаменяемости при конструировании и в производстве изделий рассмотрены в разделах. 2–4 настоящего учебного пособия.

1.2. Точность и погрешность изготовления изделий

Точность детали по геометрическим параметрам характеризуется точностью размеров её элементов, точностью формы, ориентации и месторасположения элементов детали, а также шероховатостью поверхностей.

Понятия о точности и погрешности взаимосвязаны: чем меньше погрешность, тем выше точность.

В процессе изготовления детали возникают погрешности ее геометрических параметров, источниками которых являются: применяемое оборудование (погрешности изготовления; упругие и тепловые деформации, возникающие в процессе работы оборудования и др.); режущий инструмент (погрешности изготовления; износ и затупление и др.); обрабатываемые заготовки (неоднородность свойств материала заготовок; непостоянство

припусков на механическую обработку и др.); погрешности настройки оборудования и базирования заготовок в процессе их обработки и др.

Погрешности изготовления деталей и их измерения подразделяются на систематические и случайные:

1. *Систематические постоянные погрешности* – не изменяются при обработке нескольких деталей. Они возникают под влиянием постоянно действующего фактора, например, неперпендикулярность оси шпинделя к рабочей поверхности стола расточного станка, погрешности межцентровых расстояний в кондукторных плитах и т. п. Указанную погрешность можно выявить контрольными замерах и уменьшить соответствующими мероприятиями.

2. *Систематические закономерно изменяющиеся погрешности* возникают в результате действия причин, изменяющихся по определённом закону. Они могут действовать непрерывно (например, размерный износ режущего инструмента) или периодически (например, тепловые деформации станка в период пуска). Зная законы действия этих причин, можно принять меры по уменьшению их влияния на погрешность обработки.

3. *Случайные погрешности* возникают в результате совокупного действия большого количества независимых друг от друга причин. Определить заранее величину случайной погрешности для каждой детали невозможно.

Все три группы причин, как правило, действуют одновременно. Случайные погрешности, суммируясь с систематическими, приводят к рассеиванию суммарной погрешности, а следовательно – к рассеиванию действительных значений параметров обработки.

Таким образом, размер (параметр) каждой детали (поверхности) по своей сути является случайной величиной.

С помощью методов теории вероятностей и математической статистики можно приблизительно оценить только пределы изменения и значение суммарной случайной погрешности.

Зависимость между числовыми значениями случайной величины и вероятностью их появления устанавливается *законом распределения*.

Установлено, что при установившихся процессах изготовления деталей, когда изменение случайной величины зависит от большого количества факторов, равнозначных по влиянию (когда ни один из факторов не имеет преобладающего значения), рассеяние значений случайной величины подчиняется *закону нормального распределения вероятностей* (закону Гаусса). Случайные погрешности, подчиняющиеся закону нормального распределения, характеризуются следующими свойствами: малые по величине погрешности встречаются чаще, чем большие; отрицательные и положительные погрешности, равные по абсолютной величине, встречаются одинаково часто; алгебраическая сумма отклонений от среднего значения $\bar{x}$ равна нулю. Кривая плотности вероятности нормального распределения симметрична относительно максимальной ординаты (рис. 1.1).

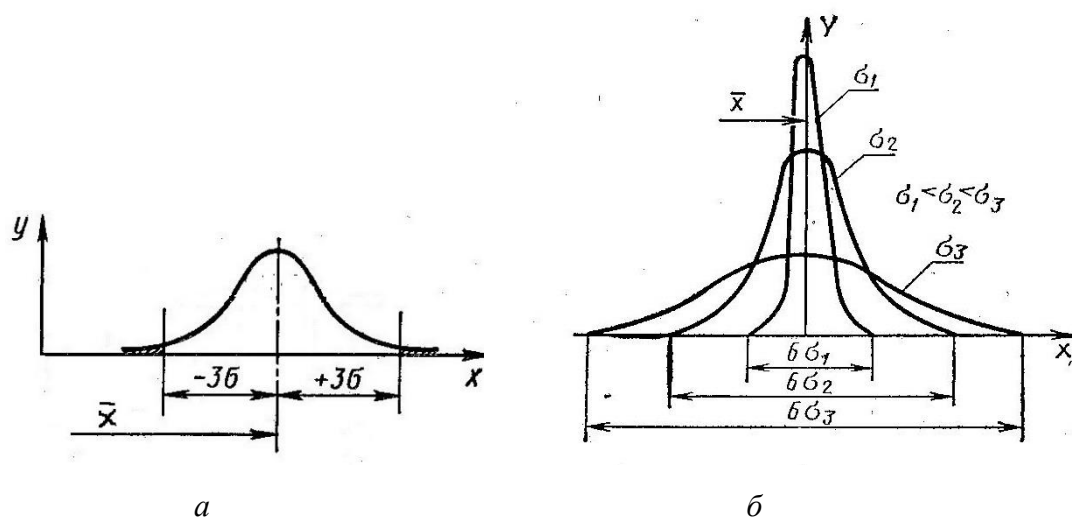


Рисунок 1.1. Кривая нормального распределения (по закону Гаусса):
 а – при одном значении σ ; б – при различных значениях σ

Среднеквадратическое отклонение σ характеризует величину рассеяния значений случайной величины x относительно центра группирования размеров. Параметр σ влияет на форму кривой распределения: при увеличении σ высота кривой увеличивается и кривая сжимается по оси абсцисс; при уменьшении σ кривая растягивается вдоль оси абсцисс (см. рис. 1.1, б, на котором центр группирования размеров $\bar{x}$ совмещен с началом отсчета).

Ветви теоретической кривой нормального распределения уходят в бесконечность, асимптотически приближаясь к оси абсцисс. Площадь, ограниченная кривой и осью абсцисс, равна вероятности того, что случайная величина (например, погрешность линейного размера) лежит в интервале от $-\infty$ до $+\infty$. Эту площадь принимают равной 1 (или 100 %).

С вероятностью весьма близкой к единице (0,9973) можно утверждать, что случайная величина X не будет выходить за пределы $\pm 3\sigma$. Поэтому при распределении случайной величины по закону Гаусса за практическое поле рассеяния принимают поле, при котором вероятность выхода случайной величины за эти пределы равна 0,0027, т. е. только 0,27 % случайных величин из общей совокупности может оказаться вне этих пределов. В пределах $\pm 2\sigma$ будет находиться 95,44 % этих величин, а в пределах $\pm \sigma$ – 68,24 % [38]. Закону нормального распределения с некоторым приближением может подчиняться рассеяние погрешностей изготовления линейных и угловых размеров деталей. Однако это необходимо подтверждать в конкретных условиях обработки заготовок путем проведения соответствующих экспериментальных исследований.

В машиностроении детали машин изготавливаются с более высокой точностью, чем при деревообработке, вследствие этого можно столкнуться с законами распределения случайных величин других типов.

Закон равнобедренного треугольника (закон Симпсона)

Закону Симпсона (рис. 1.2.) подчиняются размеры заготовок при обработке по 7-му, 8-му квалитетам точности (иногда – по 6-му).

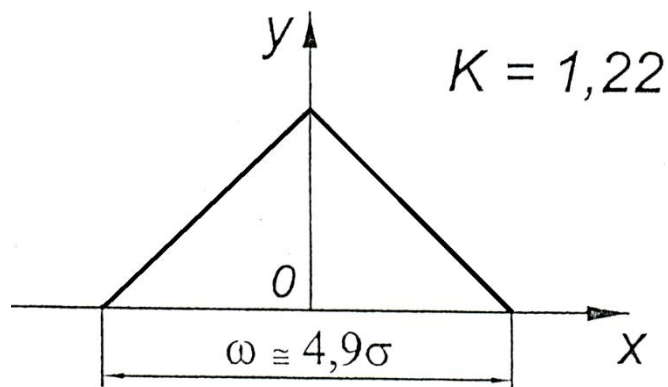


Рисунок 1.2. Форма кривой закона Симпсона

Закон равной вероятности

Распределение размеров партии обработанных заготовок подчиняется закону равной вероятности (рис. 1.3.), если рассеивание зависит только от переменных систематических погрешностей (например, от износа режущего инструмента).

Закон равной вероятности распространяется на распределение размеров заготовок повышенной точности (5-й, 6-й квалитет и точнее) при их обработке по методу пробных проходов.

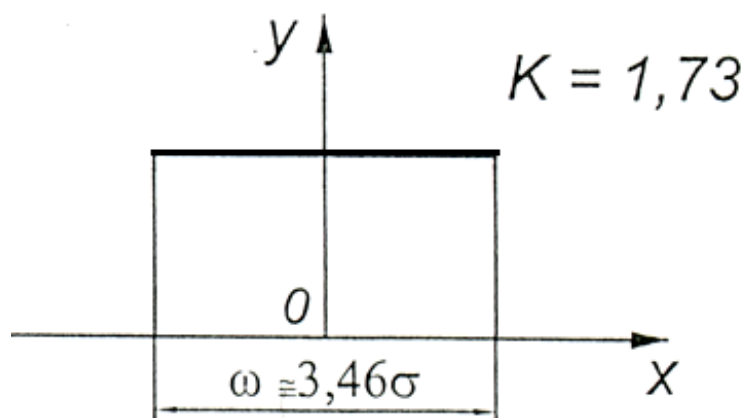


Рисунок 1.3. Форма кривой закона равной вероятности

Закон эксцентриситета (закон Релея)

Закону Релея подчиняются распределения таких положительных величин, как эксцентриситет, биение, разностенность, непараллельность, неперпендикулярность, овальность, конусообразность и некоторых других. Распределение формируется, когда случайная величина (R) является геометрической суммой двух случайных величин (X) и (Y), каждая из которых подчиняется закону Гаусса (рис. 1.4.).

$$R = \sqrt{X^2 + Y^2}.$$

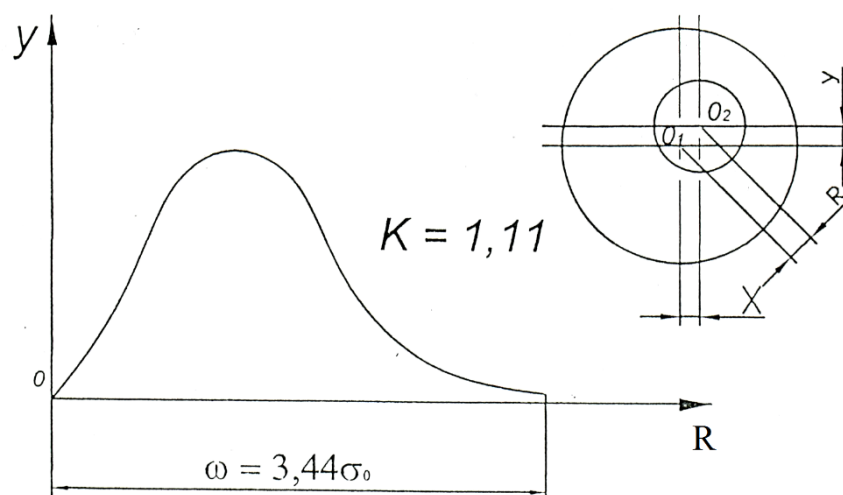


Рисунок 1.4. Распределение эксцентриситета втулки 1 при ее обработке на цилиндрической оправке 2 при наличии зазора между оправкой и посадочным отверстием втулки

Начало кривой распределения эксцентриситета совпадает с началом координат. Правая ветвь кривой асимптотически приближается к оси абсцисс. Как видно из рисунка 1.4, для кривой распределения Релея характерны крутой подъем восходящей ветви и более пологий спуск нисходящей ветви. Вершина кривой более заострена, чем у кривой нормального распределения, и смещена от среднего значения переменной величины (R) в сторону начала координат.

Методика экспериментального определения поля рассеяния линейного размера в партии деталей, формируемого в процессе обработки партии заготовок на станке, приведена в лабораторном практикуме [35].

2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ДОПУСКОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИЗДЕЛИЙ

2.1. Общие сведения

Стандартизация является нормативной базой взаимозаменяемости серийно выпускаемых изделий и многократно воспроизводимых процессов.

Стандартизация допусков геометрических параметров изделий в большинстве стран мира осуществляется на основе рекомендаций международной организации по стандартизации ИСО или стандартов ИСО.

Эти рекомендации и стандарты периодически совершенствуются и на их основе разрабатываются национальные стандарты, в которые вносятся соответствующие изменения. Особенно существенные изменения произошли в прошлое десятилетие с появлением комплекса стандартов под названием «Характеристики изделий геометрические» (2004–2009 гг.). В результате введения в действие этих стандартов на территории РФ утратил силу ГОСТ 24642–81, который определял основные термины и определения в данной области («Допуски формы и расположения поверхностей»).

В настоящее время в Российской Федерации допуски геометрических параметров изделий установлены комплексом стандартов «Основные нормы взаимозаменяемости», который не ограничен применением каких-либо определенных материалов деталей. Однако в процессе разработки этих стандартов учитывались главным образом специфика изделий машиностроения и приборостроения. Указанный комплекс расширялся введением определенных систем стандартов (например, первой системой явилась «Единая система допусков и посадок» (ЕСДП); в прошлом десятилетии появилась система стандартов «Характеристики изделий геометрические» и др.) [23–26].

В 1982 г. для изделий из древесины и древесных материалов был разработан комплекс стандартов (ГОСТ 6449.1–82 – ГОСТ 6449.5–82) с учетом действующих в это время международных стандартов [5–9]. Указанные стандарты в настоящее время являются действующими при условии, что это не будет противоречить новым международным стандартам, принятым в качестве государственных в РФ. Несоответствие в данном случае связано главным образом с применяемой терминологией, которая частично изменилась, как по наименованиям терминов, так и по их определениям.

Однако наименования допусков геометрических параметров по новой терминологии (по системе стандартов «Характеристики изделий геометрические») и ранее действующей (по системе «Допуски формы и расположения поверхностей» по ГОСТ 24642–81) практически сохранились. В новых стандартах отсутствуют только два наименования допусков: допуски профиля продольного сечения цилиндрической поверхности; допуски пересечения осей. Вышеуказанное позволяет применять комплекс ГОСТ 6449.1–82 – ГОСТ 6449.5–82 для изделий из древесины и древесных материалов без затруднений, так как на принятую в них терминологию имеется ссылка на другие стандарты (в настоящее время эти ссылки следует адресовать новым стандартам).

Перечень стандартов на допуски геометрических параметров, действующих в настоящее время в РФ и имеющих отношение к изделиям из древесины и древесных материалов, а также машиностроительной продукции, приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Стандарты на допуски геометрических параметров изделий

Группа геометрических параметров	Номер стандарта	Наименование стандарта	Примечания
1	2	3	4
Линейные размеры	ГОСТ 25346–89. Введен с 01.01.1990	Единая система допусков и посадок. Основные положения, ряды допусков и основных отклонений	2.2.2 Прил. 1
	ГОСТ 25347–82. Введен с 01.01.1982	Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки для размеров до 3150 мм	2.2.2
	ГОСТ 25348–82. Введен с 01.01.1982	Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки для размеров свыше 3150 мм	2.2.2
	ГОСТ 6449.1–82. Введен с 01.01.1984	Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков для линейных размеров и посадки	2.2.3 Прил. 2–7
	ГОСТ 6449.5–82. Введен с 01.01.1984	Изделия из древесины и древесных материалов. Неуказанные предельные отклонения и допуски	2.5 Прил. 13
Угловые размеры	ГОСТ 8908–81. Введен с 01.01.1981	Нормальные углы и допуски углов	2.3
	ГОСТ 6449.2–82. Введен с 01.01.1984	Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски углов	2.3 Прил. 8
Характеристики изделий геометрические	ГОСТ Р 31254–2004. Введен с 01.01.2004	Геометрические элементы. Общие термины и определения	2.4.1
	ГОСТ Р 53089–2008. Введен с 01.01.2008	Характеристики изделий геометрические. Установление позиционных допусков	2.4.4
	ГОСТ Р 53090–2008. Введен с 01.01.2008	Характеристики изделий геометрические. Требование максимума материала, минимума материала и взаимодействия	2.4.8 2.7
	ГОСТ Р 53442–2009. Введен с 01.01.2012	Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения	2.4
	ГОСТ 24643–81. Введен с 01.01.1982	Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения	2.4.7

Группа геометрических параметров	Номер стандарта	Наименование стандарта	Примечания
1	2	3	4
Характеристики изделий геометрические	ГОСТ 6449.3–82. Введен с 01.01.1984	Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски формы и расположения поверхностей	2.4.7 Прил. 9–11
	ГОСТ 14140–81. Введен с 01.01.1982	Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей	2.4.8
	ГОСТ 6449.4–82. Введен с 01.01.1984	Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей	2.4.8 Прил. 12
Шероховатость поверхности	ГОСТ 7016–82. Введен с 01.07.1982	Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности	2.6

Примечания.

1. В графе 4 таблицы 2.1 указаны номера разделов, подразделов, пунктов и приложений настоящего учебного пособия, в которых рассмотрены указанные стандарты.

2. При использовании указанных в таблице стандартов рекомендуется убедиться в том, что на данный момент тот или иной стандарт является действующим.

3. Информация об изменениях к стандартам публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок – в ежемесячно издаваемых информационных указателях. Соответствующая информация, уведомления и тексты размещаются также в сети Интернет на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии.

2.2. Допуски линейных размеров

2.2.1. Основные положения

Среди различных видов геометрических параметров в первую очередь выделяют линейные размеры, которые в значительной мере определяют геометрию любых деталей.

Согласно ГОСТ 2.307–68, на чертежах изделий (деталей и сборочных единиц) наносят определенное количество размеров, которое должно быть минимальным, но достаточным для изготовления и контроля изделия [2]. При этом для каждого номинального размера должна быть установлена его требуемая точность, которую указывают в виде его предельных отклонений. Предельные отклонения, согласно данному стандарту, указывают непосредственно после номинального размера, или оговаривают в технических требованиях чертежа (общей записью или путем указания числовых значений предельных отклонений, см. подразделы 2.5 и 2.7).

Согласно ГОСТ Р 53442–2009, размеры, определяющие теоретически точное (номинальное) месторасположение, ориентацию элементов, форму

заданного профиля или форму заданной поверхности, указывают на чертежах без предельных отклонений и заключают в прямоугольные рамки.

Теоретически точные размеры могут также определять ориентацию баз друг относительно друга (или комплекта баз) [26].

Размеры, не подлежащие выполнению по данному чертежу и указываемые для большего удобства пользования чертежом, называются справочными. Справочные размеры на чертеже отмечают знаком «*», а в технических требованиях чертежа записывают: «* Размеры для справок». Предельные отклонения на справочные размеры непосредственно на чертежах не указывают [2].

С учетом своего назначения линейные размеры отдельных деталей или сборочных единиц можно разделить на следующие группы:

- 1) размеры, образующие посадки в соединениях деталей;
- 2) размеры, входящие в размерные цепи;
- 3) координирующие размеры;
- 4) теоретически точные размеры;
- 5) справочные размеры.

Кроме вышеперечисленных различают так называемые «свободные» размеры, точность которых не оказывает существенного влияния на качество изделий. Допуски, ограничивающие погрешности линейных размеров, входящих в вышеперечисленные группы, в каждом конкретном случае должны устанавливаться обоснованно, на основании соответствующих расчетов или результатов экспериментальных исследований. При этом числовые значения допусков (предельных отклонений) рекомендуется выбирать из стандартного ряда, установленного соответствующим нормативным документом.

На допуски размеров гладких элементов деталей и на посадки, образуемые при соединении этих деталей, распространяется Единая система допусков и посадок (ЕСДП). Кроме этого, из стандартов ЕСДП рекомендуется выбирать допуски для любых линейных размеров, если они не установлены другими стандартами [19].

Применение стандартных допусков при конструировании и изготовлении изделий дает большой экономический эффект за счет снижения затрат времени на установление допусков и разработку конструкторской документации, снижение затрат на контроль точности изготовления изделий и других факторов.

2.2.2. Краткая характеристика Единой системы допусков и посадок

На допуски размеров гладких элементов деталей и на посадки, образуемые при соединении этих деталей, распространяется Единая система допусков и посадок (ЕСДП). Международной организацией по стандартизации ИСО в 1962 г. разработана рекомендация ИСО/Р 286 «Единая система допусков и посадок ИСО. Часть 1. Общие сведения. Допуски и отклонения». В дальнейшем на основе данной рекомендации и последующих дополнительных рекомендаций ИСО

большинство стран мира приняло в своих стандартах систему ИСО и внедрило в промышленность.

В Российской Федерации в настоящее время ЕСДП применяется в соответствии с ГОСТ 25346–89, который распространяется на гладкие элементы деталей, цилиндрические и ограниченные параллельными плоскостями, а также на образованные ими посадки и устанавливает термины, определения и условные обозначения, допуски и основные отклонения системы допусков и посадок для размеров до 3150 мм и любых линейных размеров, если они не установлены другими стандартами [19].

Допуски и основные отклонения для номинальных размеров свыше 3150 до 10000 мм установлены ГОСТ 25347–82 [21].

Основные термины и определения, установленные ГОСТ 25346–89, приведены в прил. 1 к настоящему учебному пособию.

Этими стандартами установлено 20 квалитетов: 00, 01, 1–18.

Числовые значения допусков по всем квалитетам для размеров до 3150 установлены по 21 интервалу номинальных размеров, а для размеров свыше 3150 до 10000 мм – по 5 интервалам размеров. При переходе от одного квалитета к другому, более грубому, допуски возрастают примерно на 60 % (5-й ряд предпочтительных чисел). Через каждые пять квалитетов допуски увеличиваются в 10 раз.

Поле допуска определяется его величиной и положением относительно номинального размера.

В ГОСТ 25346–89 и ГОСТ 25348–82 установлены основные отклонения, которые обозначаются буквами латинского алфавита, прописными для отверстий (*A...ZC*) и строчными для валов (*(a...zc)*). *Основное отклонение* – одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В данной системе допусков и посадок основным отклонением является отклонение ближайшее к нулевой линии: для валов от *a* до *h* – верхнее отклонение вала, а от *k* до *ze* – нижнее отклонение вала (см. рис. 2.1 и прил. 1).

Числовые значения основных отклонений установлены по интервалам номинальных размеров и не зависят от номера квалитета.

Формулы для расчета числовых значений основных отклонений приведены в вышеуказанных стандартах.

Примечание. Числовые значения основных отклонений определены с учетом удобства образования соответствующих посадок (с зазором, с натягом и переходных) в изделиях машиностроения и приборостроения путем сочетаний соответствующих полей допусков отверстий и валов в системах отверстия или вала.

2.2.3. Поля допусков для линейных размеров (ГОСТ 6449.1–82) и посадки

Поля допусков для линейных размеров до 10000 мм деталей и сборочных единиц из древесины и древесных материалов и рекомендуемые посадки установлены ГОСТ 6449.1–82 [5].

Стандарт разработан на основе ГОСТ 25346–82 (для размеров до 3150) и ГОСТ 25348–82 (для размеров свыше 3150 до 10000 мм) и является ограничительным по отношению к вышеуказанным стандартам [19; 21].

Примечание. С 01.01.1990 г. взамен ГОСТ 25346–82 введен ГОСТ 25346–89, основное содержание которого осталось без изменений. При этом в новом стандарте уточнены некоторые термины и определения.

Рассмотрим основные качества точности и их применяемость:

- Качества 01; 0 и 1 рекомендуются для ответственных размеров элементов плоскопараллельных концевых мер длины.
- Качества 2; 3 и 4 – для гладких калибров-пробок и калибров-скоб; размеры ответственных деталей суперточных станков (станки класса точности «С») и др.
- Качества 5 и 6 – для размеров деталей высокоточных соединений, например, подшипников качения, шеек коленчатых валов, ответственные детали станков повышенной точности (класс точности «А» и «В») и др.
- Качества 7 и 8 – наиболее используемые для размеров деталей точных ответственных соединений деталей в машиностроении, приборостроении и др. отраслях.
- Качества 9 и 10 – для размеров деталей неответственных соединений, входящих в соединения с другими деталями.
- Качества 11 и 12 – для размеров деталей, получаемых штамповкой, специальным литьем и др.
- Качества 13 и 14 – для размеров деталей, получаемых литьем в земляные формы, ковкой и др.
- Качества 15; 16 и 17 – предназначены для неответственных размеров деталей, не входящих в соединения с другими деталями, а также для межоперационных размеров.

Согласно ГОСТ 6449.1–82 для продукции деревообработки устанавливает девять качеств: 10, 11...18 с обозначениями допусков, соответственно *IT*10, *IT*11...*IT*18. Номера всех качеств и значения соответствующих им допусков по интервалам номинальных размеров до 3150 мм соответствуют ГОСТ 25346–89, а для размеров свыше 3150 до 10000 мм – ГОСТ 25348–82.

Числовые значения допусков приведены в прил. 2.

Отклонения могут быть действительными и предельными. Рассмотрим основные определения:

Отклонение - это алгебраическая разность между размером (действительным, предельным и т. д.) и соответствующим номинальным размером. Например, в размере $30^{+0,15}_{-0,1}$ номинальным размером является 30, а отклонениями будут + 0.15 и – 0.1

Действительное отклонение – это алгебраическая разность между действительным и номинальным размерами.

Предельное отклонение - это алгебраическая разность между предельным

и номинальным размерами.

На примере соединения вала и отверстия можно рассмотреть классификацию отклонений.

Вал – наружный (охватываемый) элемент детали.

Отверстие – внутренний (охватывающий) элемент детали.

Предельные отклонения подразделяют на верхнее и нижнее.

Верхнее – это алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами.

Нижнее отклонение – это алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами.

Допуск – это разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами.

Поле допуска – это поле, ограниченное верхним и нижним отклонениями.

Установлено два положения полей допусков отверстий – H и J_s , и одиннадцать положений полей допусков валов – $a, b, c, h, j_s, k, t, y, za, zc$ и ze (рис. 2.1). Поле допуска определяется его величиной и положением относительно номинального размера. Положения всех полей допусков, кроме J_s и j_s , определяются основными отклонениями, которые обозначаются буквами латинского алфавита, указанными на рисунке 2.1.

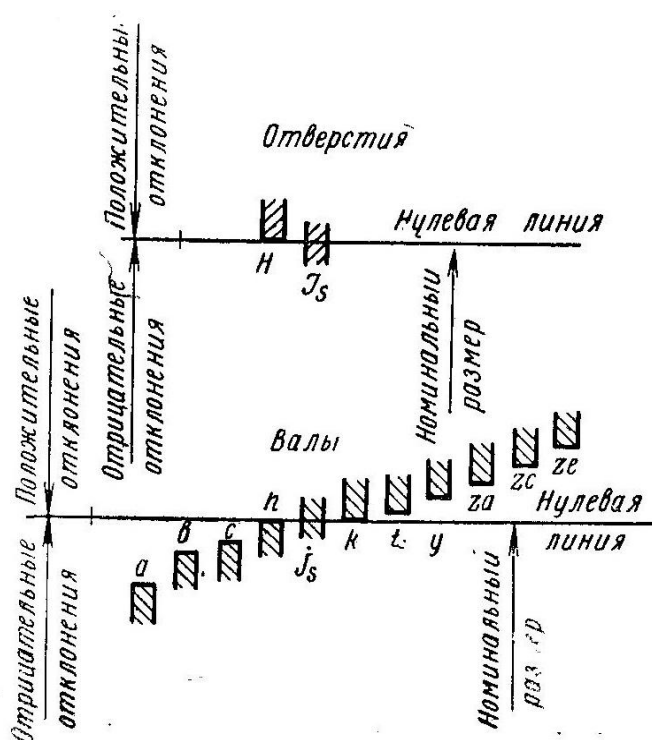


Рисунок 2.1. Относительное положение полей допусков для данного интервала размеров для деталей деревообработки

В стандартах приняты следующие условные обозначения допусков и отклонений:

IT – значение допуска;

ES и es – соответственно верхнее отклонение отверстия и вала;

EI и ei – соответственно нижнее отклонение отверстия и вала.

В соответствии с определением (см. прил. 1), основными отклонениями валов от a до h являются верхние отклонения валов (es), а от k до ze – нижние отклонения валов (ei). Второе отклонение вала определяется из основного с учетом значений допуска IT и знаков этих отклонений:

$ei = es - IT$, для валов от a до h ;

$es = ei + IT$, для валов от k до ze .

Числовые значения основных отклонений установлены по интервалам номинальных размеров и приняты по стандартам [19 и 21] (см. прил. 2 и 3 к ГОСТ 6449.1–82 [5]). Основные отклонения и допуски являются исходными элементами для образования полей допусков.

Основные отклонения отверстий H , валов h и k равны нулю.

У отверстий J_s и валов j_s основного отклонения нет. Их предельные отклонения равны половине допуска IT , т. е.

$$ES = es = + IT/2 ; EI = ei = - IT/2. \quad (2.1)$$

Обозначение поля допуска состоит из обозначения основного отклонения и номера квалитета, например:

$H14$ – поле допуска отверстия, образованное сочетанием основного отклонения H и допуска по 14-му квалитету; $za13$ – поле допуска вала, образованное сочетанием основного отклонения za и допуска по 13-му квалитету.

Обозначение поля допуска указывается после номинального размера, например: $120H14$; $12za13$.

Диапазон номинальных размеров до 10000 мм в ГОСТ 6449.1–82 разделен на определенное количество интервалов (26 интервалов для отверстий и 46 – для валов). Для каждого интервала номинальных размеров установлено определенное количество (от 14 до 18 – для отверстий и от 26 до 34 – для валов) стандартных предельных отклонений.

Примечание. При конструировании изделий конструктору рекомендуется обоснованно выбрать для конкретного номинального размера один вариант стандартных предельных отклонений.

Установленные в ГОСТ 6449.1–82 поля допусков валов, образованные сочетаниями основных отклонений и допусков по соответствующим квалитетам, приведены в прил. 3 (для номинальных размеров до 500 мм) и в прил. 4 (для номинальных размеров свыше 500 до 10000 мм) настоящего учебного пособия.

Для всех полей допусков отверстий и валов в стандарте установлены предельные отклонения по интервалам номинальных размеров.

В настоящем учебном пособии приведены следующие стандартные предельные отклонения полей допусков валов (ГОСТ 6449.1–82):

$a13$, $b13$, $za13$, $zc13$, $ze13$, $a14$ и $b14$ для номинальных размеров до 120 мм – в прил. 5;

$b12$, $c12$, $a13$, $b13$, $za13$, $a14$ и $b14$ для номинальных размеров свыше 120 до 500 мм – в прил. 6;

t_{11} , b_{12} , c_{12} , t_{12} , b_{13} и c_{13} для номинальных размеров свыше 500 до 2500 мм – в прил. 7.

Поля допусков отверстий H и J_s установлены по всем квалитетам и интервалам номинальных размеров, для которых предусмотрены допуски (см. прил. 2).

Числовые значения предельных отклонений отверстий H и J_s , а также валов h , j_s и k в данном учебном пособии не приводятся, так как их можно легко определить по числовым значениям допусков (см. примечания к прил. 2). Нижнее отклонение отверстий H и валов k всегда равно нулю, верхнее имеет знак «+» и равно величине допуска, указанного в прил. 2 для соответствующих квалитетов и номинальных размеров.

Верхнее отклонение вала h всегда равно нулю, а нижнее имеет знак минус и равно величине допуска.

В прил. 4 к ГОСТ 6449.1–82 содержатся рекомендации по образованию, расчету и выбору посадок. Термины и определения, связанные с посадками, приведены в прил. 1 к данному учебному пособию. Посадки рекомендуется образовывать в системе отверстия из полей допусков основных отверстий (H) и соответствующих полей допусков валов по данному стандарту (см. подразделы 3.3 настоящего учебного пособия).

Для деталей машиностроения используется значительно больше квалитетов точности, вследствие этого относительное расположение полей допусков будет иметь более сложную конфигурацию (рис. 2.2.).

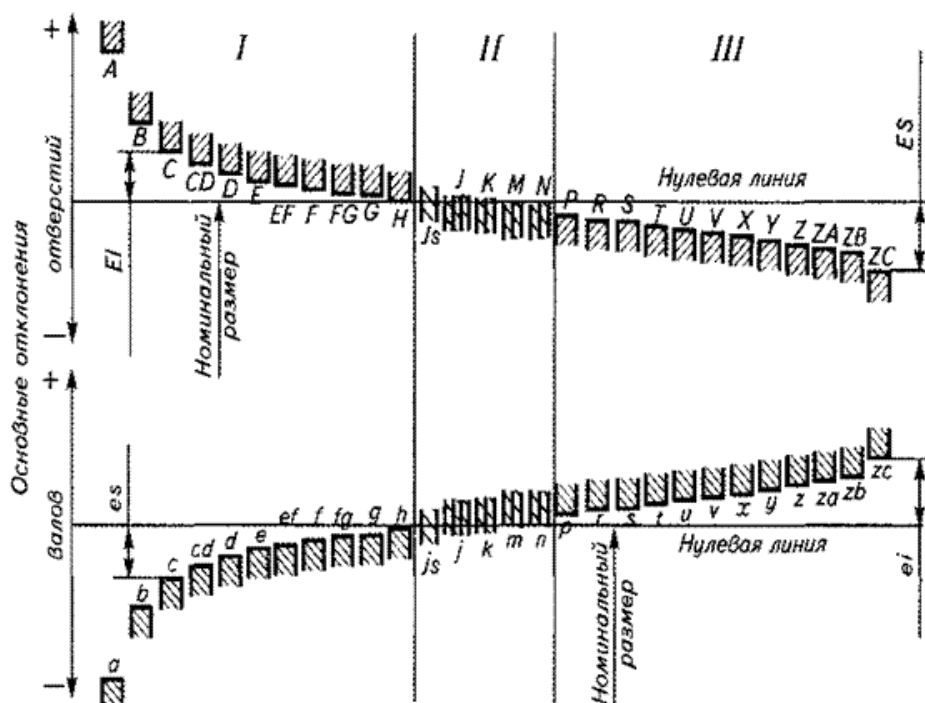


Рисунок 2.2. Расположение обозначения посадок в системе отверстия и вала для деталей машиностроения

2.3. Допуски угловых размеров (ГОСТ 6449.2–82)

Допуски углов призматических элементов деталей и сборочных единиц из древесины и древесных материалов с длиной меньшей стороны угла до 2500 мм установлены ГОСТ 6449.2–82 [6].

Стандарт разработан на основе ГОСТ 8908–81 и является ограничительным по отношению к этому стандарту [11].

Допуском угла σ называется разность между наибольшим $\alpha_{\max}$ и наименьшим $\alpha_{\min}$ предельными углами. Допуски углов должны назначаться в зависимости от номинальной длины L_1 меньшей стороны угла (рис. 2.3).

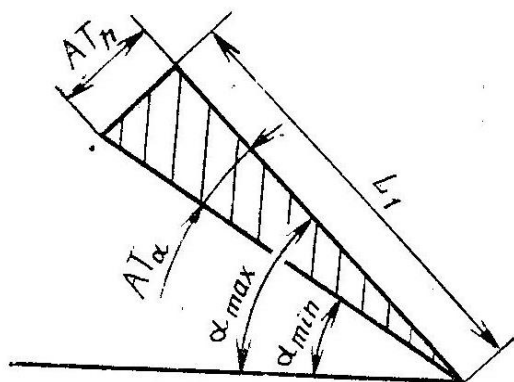
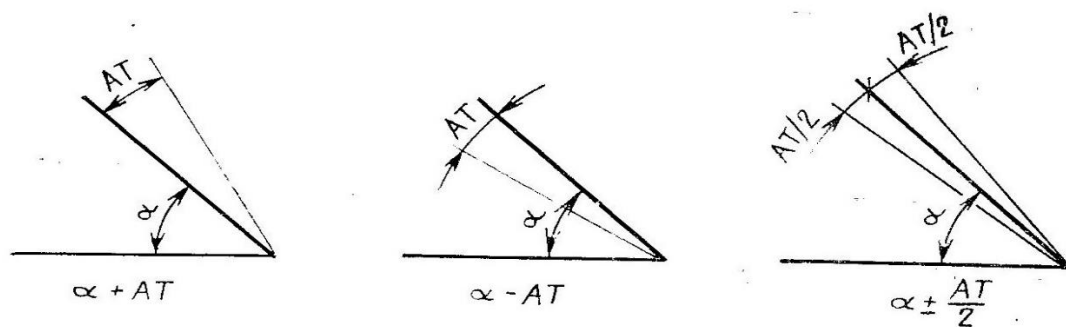


Рисунок 2.3. Графическое изображение допуска угла

Допуски углов могут быть расположены в плюсовую сторону ($+AT$), в минусовую ($-AT$) или симметрично ($\pm AT/2$) относительно номинального угла (рис. 2.4).



α – номинальный угол

Рисунок 2.4. Варианты расположения допуска угла

Условные обозначения допусков углов:

AT_α – допуск угла в мкрад (микроградусах) или в градусах ($^\circ$), минутах ($'$), секундах ($''$);

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

AT_h – допуск угла, выраженный отрезком на перпендикуляре к стороне угла, противолежащем углу AT_α на расстоянии L_1 от вершины этого угла (практически этот отрезок равен длине дуги радиуса L_1 , стягивающей угол AT_α), (рис. 2.2).

Связь между допусками в угловых и линейных единицах выражается следующей формулой:

$$AT_h = AT_\alpha \cdot L_1 \cdot 10^{-3}, \quad (2.2)$$

где AT_h – мкм; AT_α – мкрад; L_1 – мм.

ГОСТ 8908–81 устанавливает семнадцать степеней точности углов:

1, 2, ..., 17 и значения допусков по 13 интервалам длин меньшей стороны угла L_1 в диапазоне от 0 до 2500 мм [11].

Для изделий из древесины и древесных материалов в ГОСТ 6449.2–82 установлено семь степеней точности: 11, 12, ..., 17 с обозначением допусков соответственно AT_{11} , AT_{12} , ..., AT_{17} .

Значения допусков для интервалов длин меньшей стороны угла до 630 мм по 12–17 степеням точности приведены в приложении 8.

Примечание. Кроме вышеуказанного, допуски углов могут нормироваться в линейных единицах (мм) путем назначения: допусков параллельности – для углов 0 и 180°; допусков перпендикулярности для углов 90°; допусков наклона – для всех углов, кроме 0, 90 и 180° (см. п. 2.4.3 настоящего учебного пособия).

2.4. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения

2.4.1. Общие сведения

С 01.01.2012 г. введен в действие ГОСТ Р 53442–2009 (ISO 1101: 2004). Стандарт распространяется на нормирование геометрических характеристик изделий и устанавливает определения и правила указания на чертежах допусков формы, ориентации, месторасположения и биения [26].

Классификация допусков формы, ориентации, месторасположения и биения, установленная ГОСТ Р 53442–2009, приведена в таблице 2.2 [26].

Ниже приведены общие термины и определения, связанные с геометрическими элементами, установленные ГОСТ 31254–2004 [23].

Геометрический элемент – точка, линия, поверхность. *Полный геометрический элемент* – поверхность или линия на поверхности. *Производный геометрический элемент* – средняя точка, средняя линия или средняя поверхность, которые произведены от одного или нескольких полных элементов. *Размерный элемент* – геометрическая форма, определяемая линейным или угловым размером.

Геометрический допуск, установленный для элемента, определяет поле допуска, в пределах которого должен располагаться этот полный, или производный элемент. *Поле допуска* – область на плоскости или в пространстве, ограниченная одной или несколькими идеальными линиями или поверхностями и характеризующаяся линейным размером – *допуском*.

База – производный элемент, относительно которого устанавливается геометрический допуск ориентации или месторасположения рассматриваемого нормируемого элемента. *Базовый элемент* – реальный полный элемент, от которого произведена база.

Таблица 2.2. Группы допусков

Группа допусков	Наименование допуска	Наличие базы	Знак допуска по ГОСТ 2.308–79
1. Допуски формы	1.1. Допуск прямолинейности	Нет	
	1.2. Допуск плоскостности	Нет	
	1.3. Допуск круглости	Нет	
	1.4. Допуск цилиндричности	Нет	
	1.5. Допуск формы заданного профиля	Нет	
	1.6. Допуск формы заданной поверхности	Нет	
2. Допуски ориентации	2.1. Допуск параллельности	Да	
	2.2. Допуск перпендикулярности	Да	
	2.3. Допуск наклона	Да	
	2.4. Допуск формы заданного профиля	Да	
	2.5. Допуск формы заданной поверхности	Да	
3. Допуски месторасположения	3.1. Позиционный допуск	Да или нет	
	3.2. Допуск концентричности	Да	
	3.3. Допуск соосности	Да	
	3.4. Допуск симметричности	Да	
	3.5. Допуск формы заданного профиля	Да	
	3.6. Допуск формы заданной поверхности	Да	
4. Допуски биения	4.1. Допуск биения (радиального или торцового)	Да	
	4.2. Допуск полного биения (радиального или торцового)	Да	

Примечание. Геометрическими характеристиками изделий (согласно ГОСТ Р 53442) являются: прямолинейность; плоскостность; круглость; цилиндричность;

параллельность; перпендикулярность; наклон; позиционирование; концентричность; соосность; симметричность; форма заданного профиля; форма заданной поверхности.

В зависимости от нормируемой геометрической характеристики и указания допуска на чертежах поле допуска представляет собой одну из ниже перечисленных областей: *область между двумя равноотстоящими (эквидистантными) линиями или двумя параллельными прямыми линиями; область между двумя равноотстоящими (эквидистантными) поверхностями или двумя параллельными плоскостями; область между двумя концентрическими окружностями; область внутри окружности; область внутри цилиндра; область между двумя соосными цилиндрами; область внутри сферы.*

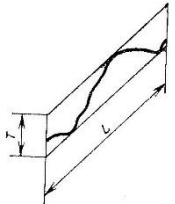
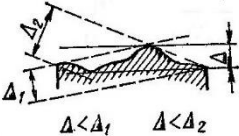
Установленные ГОСТ Р 53442–2009 термины и определения, относящиеся к различным группам допусков (формы, ориентации, месторасположения и биения), приведены в пп. 2.4.2–2.4.6.

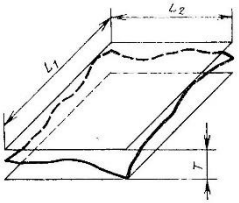
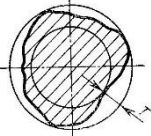
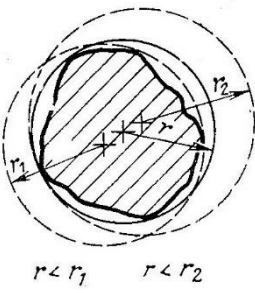
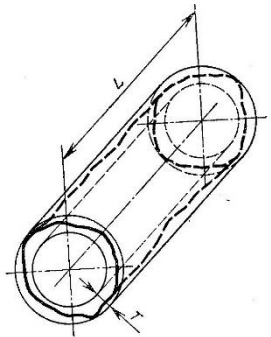
Примечание. В таблице 2.3–2.7 приведены те виды допусков (из установленных ГОСТ Р 53442–2009), которые рекомендуются для широкого применения в изделиях из древесины и древесных материалов.

2.4.2. Допуски формы

Виды допусков формы, а также формы знаков для их условного обозначения на чертежах приведены в таблице 2.2. Определения полей допусков формы (кроме допусков формы заданного профиля и заданной поверхности), их графические изображения и рекомендуемые ГОСТ Р 53442–2009 правила оценки геометрических отклонений приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3. Определения и графические изображения полей допусков формы

Наименование допуска	Определение поля допуска. Оценка геометрических отклонений	Графическое изображение
2.4.2.1. Допуск прямолинейности в плоскости	Поле допуска прямолинейности в рассматриваемой плоскости – поле, ограниченное двумя параллельными прямыми, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска T в указанном на чертеже направлении	
	Считается, что прямолинейность отдельного элемента, для которого установлен допуск, определена корректно, если элемент располагается между двумя прямыми линиями, расстояние между которыми Δ равно или меньше значения установленного допуска T . Ориентация прямых линий должна выбираться так, чтобы максимальное расстояние между ними равнялось возможно наименьшему значению Δ	

2.4.2.2. Допуск плоскостности	Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска T. Считается, что плоскостность отдельного элемента, для которого установлен допуск, определена корректно, если элемент располагается между двумя плоскостями, расстояние между которыми равно или меньше значения установленного допуска T. Ориентация плоскостей должна выбираться так, чтобы максимальное расстояние между ними равнялось возможно наименьшему значению	
2.4.2.3. Допуск круглости	Поле допуска в рассматриваемом поперечном сечении ограничено двумя концентрическими окружностями, разность радиусов которых равно числовому значению допуска T	
	Круглость отдельного элемента, для которого устанавливается допуск, определена корректно, если элемент располагается между двумя концентрическими окружностями, разность радиусов которых не более значения установленного допуска. Положение центров этих окружностей и значения их радиусов должны выбираться так, чтобы разность радиусов двух концентрических окружностей равнялась возможно наименьшему значению	
2.4.2.4. Допуск цилиндричности	Поле допуска ограничено двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна числовому значению допуска T. Считается, что цилиндричность отдельного элемента, для которого установлен допуск, определена корректно, если элемент располагается между двумя соосными цилиндрами так, чтобы разность их радиусов была не более значения установленного допуска. Положение осей этих цилиндров и значения их радиусов должны выбираться так, чтобы разность радиусов двух соосных цилиндров равнялась возможно наименьшему значению	

Примечание. Определения полей допусков формы заданного профиля и допусков заданной поверхности приведены в п. 2.4.6 данного учебного пособия.

2.4.3. Допуски ориентации

Определения полей допусков ориентации и их графические изображения по ГОСТ Р 53442–2009 приведены в табл. 2.4.

Установленные для элемента допуски ориентации помимо ограничения отклонений ориентации также накладывают ограничения на отклонения формы этого элемента.

Согласно табл. 2.2, допуски ориентации задают относительно базы, к которой задается допуск ориентации.

Таблица 2.4. Определения и графические изображения полей допусков ориентации

Наименование допуска	Определение поля допуска	Графическое изображение
2.4.3.1. Допуск параллельности поверхности относительно базовой поверхности	Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска T , и параллельными базовой плоскости	
2.4.3.2. Допуск перпендикулярности поверхности относительно базовой поверхности	Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска T , и перпендикулярными к базе	
2.4.3.3. Допуск наклона поверхности относительно базовой поверхности	Поле допуска ограничивается двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска T . Плоскости расположены под указанным на чертеже углом α относительно базы	

Примечания.

1. Определения полей допусков формы заданного профиля и допусков заданной поверхности приведены в п. 2.4.6 данного учебного пособия.

2. Точность угла между элементами может нормироваться двумя способами:

а) указанием допуска угла в угловых единицах; при этом отклонения могут быть симметричными или односторонними (см. подразделы 2.3 настоящего учебного пособия);

б) указанием допуска расположения в линейных единицах:

- допуска параллельности для углов 0 и 180° ;
- допуска перпендикулярности для угла 90° ;
- допуска наклона для всех углов кроме 0 , 90 и 180° .

Второй способ позволяет устанавливать только симметричные предельные отклонения относительно номинального угла. Этот способ целесообразно назначать в тех случаях, когда по конструктивным условиям должны быть ограничены непосредственно отклонения угла, выраженные в линейных единицах, например, когда эти отклонения связаны с зазорами между соединяемыми элементами.

2.4.4. Допуски месторасположения

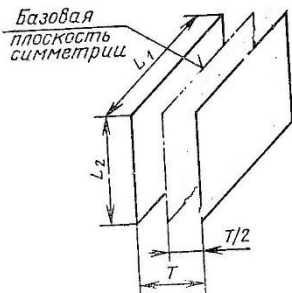
Определения полей допусков месторасположения и их графические изображения по ГОСТ Р 53442–2009 приведены в таблице 2.5.

Установленные для элемента допуски месторасположения помимо ограничения отклонений месторасположения также накладывают ограничения на отклонения ориентации и отклонения формы и этого элемента.

Согласно таблице 2.2, допуски месторасположения задают относительно базы. *База* – элемент детали или выполняющие ту же функцию сочетания элементов, определяющих одну из плоскостей или осей системы координат, по отношению к которой задается допуск месторасположения.

Таблица 2.5. Определения и графические изображения полей допусков месторасположения

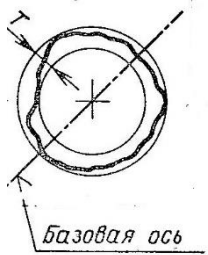
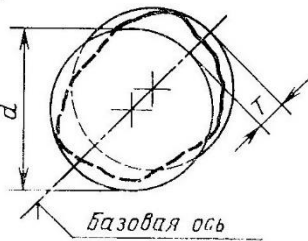
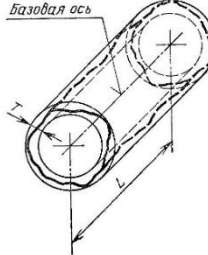
Наименование допуска	Определение поля допуска	Графическое изображение
2.4.4.1. Позиционный допуск линии (оси)	Поле допуска ограничено цилиндром, диаметр которого равен числовому значению допуска T , если перед числовым значением стоит знак диаметра $\varnothing$. Положение оси цилиндра относительно баз A , B и V определяется теоретически точными размерами	
2.4.4.2. Допуск concentricity (цилиндрических поверхностей)	Поле допуска ограничено окружностью, диаметр которой равен числовому значению допуска T . Центр окружности совпадает с базовой точкой. Центр внутренней окружности должен быть расположен в пределах поля допуска $\varnothing T$	
2.4.4.3. Допуск соосности осей двух или нескольких поверхностей вращения	Поле допуска ограничено цилиндром, диаметр которого равен числовому значению допуска T , перед числовым значением должен стоять знак диаметра $\varnothing$, ось цилиндра совпадает с базой. Примечание. Базой может быть общая ось двух или нескольких поверхностей вращения на длине нормируемого L участка (или ось базовой поверхности)	

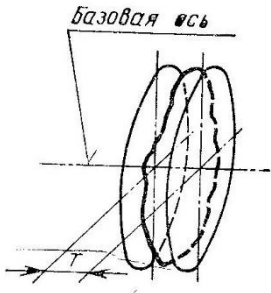
2.4.4.4. Допуск симметричности плоскости симметрии	Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, расстояние между которыми равно числовому значению допуска T . Плоскость симметрии поля допуска совпадает с базовой плоскостью симметрии	
--	---	---

2.4.5. Допуски биения

Виды допусков биения, определения терминов «поле этого допуска» и их графические изображения приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6. Определения и графические изображения полей допусков биения

Наименование допуска	Определение поля допуска	Графическое изображение
2.4.5.1. Допуск радиального биения	Поле допуска ограничено двумя концентрическими окружностями, разность радиусов которых равна числовому значению допуска T . Окружности лежат в плоскости поперечного сечения, перпендикулярной к базовой оси, а их центры совпадают с базой	
2.4.5.2. Допуск торцового биения	Поле допуска представляет собой боковую поверхность любого цилиндра, пересекающего торцовую поверхность и коаксиального базовой оси, ограниченную двумя окружностями на цилиндре, находящимися друг от друга на расстоянии, равном числовому значению допуска T . Примечание. Диаметр d равен заданному или любому (в том числе и наибольшему) диаметру торцовой поверхности	
2.4.5.3. Допуск полного радиального биения	Поле допуска ограничено двумя соосными цилиндрами, разность радиусов которых равна числовому значению допуска T и оси которых совпадают с базой	

2.4.5.4. Допуск полного торцового биения	Поле допуска ограничено двумя параллельными плоскостями, находящимися друг от друга на расстоянии, равном допуску T , и перпендикулярными базовой оси	
--	---	---

2.4.6. Допуски формы заданного профиля и заданной поверхности

В соответствии с ГОСТ Р 53442–2009, допуски формы заданного профиля и заданной поверхности отнесены к трем группам допусков: формы, ориентации и месторасположения.

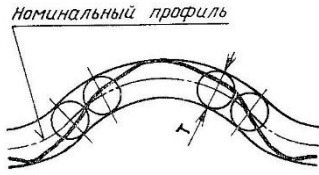
Определения полей допусков формы заданного профиля и заданной поверхности, их графические изображения по ГОСТ Р 53442–2009 приведены в таблице 2.7.

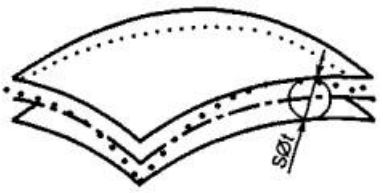
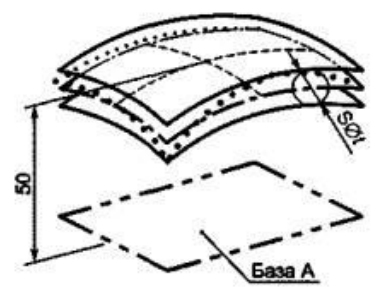
Примечания.

1. Допуски, указанные в пп. 2.4.6.1 и 2.4.6.3, относятся к группе допусков формы. Допуски, указанные в пп. 2.4.6.2 и 2.4.6.4, относятся к группе допусков ориентации (табл. 2.2).

2. Примеры указания допусков, относящихся к допускам месторасположения, приведены в прил. 14.

Таблица 2.7. Определения и графические изображения полей допусков формы заданного профиля и допусков формы заданной поверхности

Наименование допуска	Определение поля допуска	Графическое изображение
2.4.6.1. Допуск формы заданного профиля безотносительно базы	Поле допуска ограничено двумя эквидистантными линиями, огибающими семейство окружностей, диаметр которых равен числовому значению допуска T и центры которых расположены на линии, имеющей теоретически точную форму (номинальный профиль)	
2.4.6.2. Допуск формы заданного профиля относительно комплекта баз	Поле допуска ограничено двумя эквидистантными линиями, огибающими семейство окружностей, диаметр которых равен числовому значению допуска T и центры которых расположены на линии, имеющей теоретически точную геометрическую форму относительно базовой плоскости A и базовой плоскости B	

2.4.6.3. Допуск формы заданной поверхности безотносительно базы	Поле допуска ограничено двумя эквидистантными поверхностями, огибающими семейство сфер, диаметр которых равен числовому значению допуска T и центры которых расположены на поверхности, имеющей теоретически точную геометрическую форму	
2.4.6.4. Допуск формы заданной поверхности относительно базы	Поле допуска ограничено двумя эквидистантными поверхностями, огибающими семейство сфер, диаметр которых равен числовому значению допуска T и центры которых расположены на поверхности, имеющей теоретически точную геометрическую форму относительно базовой плоскости A	

2.4.7. Допуски формы и расположения поверхностей (ГОСТ 6449.3–82)

Принятые в ГОСТ 6449.3–82 термины и определения соответствуют ГОСТ 24642–81, который в РФ утратил силу после введения в действие с 01.01.2012 г. ГОСТ Р 53442–2009 [26]. Поэтому применение ГОСТ 6449.3–82 в РФ следует осуществлять с учетом новых положений и терминологии, установленных новым стандартом. При практическом использовании ГОСТ 6449.3–82 необходимо учитывать, что основные термины и определения для данного объекта стандартизации должны соответствовать установленным ГОСТ Р 53442–2009, а именно:

- термины «отклонение», «допуски расположения» и «суммарные допуски формы и расположения» и ряд других в ГОСТ 53442–2009 отсутствуют, а поэтому их применять не следует;

- наименования групп допусков и допусков, входящих в каждую группу, должны соответствовать наименованиям, указанным в таблице 2.2 настоящего учебного пособия;

- определения и графические изображения полей допусков формы, ориентации, месторасположения и биения должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 53442–2009, (см. пп. 2.4.1–2.4.6).

Примечание. Термины, связанные с наименованиями всех допусков, установленных ГОСТ Р 53442–2009, соответствуют их наименованиям в ГОСТ 6449–82 (ГОСТ 24642–81), кроме термина «допуск пересечения осей», который новым стандартом не предусмотрен, а поэтому его применять не следует.

Установленные ГОСТ 6449.3–81 числовые значения допусков являются ограничительным по отношению к допускам по ГОСТ 24643–81 [18].

Основной ряд числовых значений допусков формы и расположения поверхностей (мм) по ГОСТ 6449.3–82 указан в таблице 2.8.

Таблица 2.8. Основной ряд числовых значений допусков

–	–	–	–	–	–	–	0,05	0,06	0,08
0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80
1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
10	12	16	20	25	30	40	50	60	80

Примечания.

1. В качестве основного ряда значений допусков принят ряд предпочтительных чисел R10 со знаменателем геометрической прогрессии 1,25 (ГОСТ 8032–84).

2. Ряд числовых значений по таблице 2.8 допускается продолжать в сторону меньших или больших значений при соблюдении закономерности построения ряда. В ГОСТ 24643–81 этот ряд установлен для диапазона допусков от 0,1 до 16000 мкм.

3. Числовые значения допусков, не предусмотренные настоящим стандартом, являются специальными. Допускается применять их, если они предусмотрены в других стандартах для соответствующих видов продукции.

Для практического применения рекомендуется нормировать допуски по степеням точности ГОСТ 6449.3–82:

- допуски плоскостности и прямолинейности (см. прил. 9);
- допуски цилиндричности и круглости (см. прил. 10);
- допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцевого биения и полного торцевого биения (см. прил. 11).

Для позиционных допусков, допусков формы заданного профиля и допусков формы заданной поверхности числовые значения допусков должны назначаться по таблице 2.8.

2.4.8. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей (ГОСТ 6449.4–82)

ГОСТ 6449.4–82 распространяется на детали и сборочные единицы из древесины древесных материалов, которые соединяются различными крепежными деталями (болтами, винтами, шурупами, круглыми шипами и т. п.), у которых оси отверстий для крепежных деталей расположены параллельно. Стандарт разработан с учетом требований ГОСТ 14140–81[13].

Стандарт в настоящее время является действующим при соблюдении условий, указанных в п. 2.4.7 настоящего учебного пособия. Эти условия обусловлены изменениями некоторых терминов и определений.

Соединения крепежными деталями подразделяются на три типа (рис. 2.5):

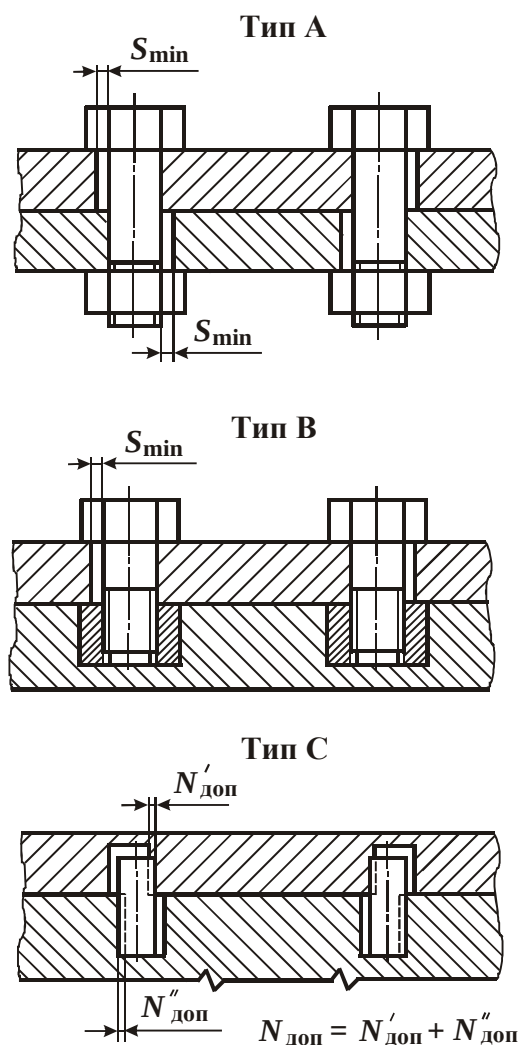


Рисунок 2.5. Типы соединений при помощи крепежных деталей

Типы соединений при помощи крепежных деталей:

- тип *А* – зазоры для прохода крепежных деталей предусмотрены в обеих соединяемых деталях, например, соединение болтами;
- тип *В* – зазоры для прохода крепежных деталей предусмотрены лишь в одной из соединяемых деталей, например, соединение винтами;
- тип *С* – крепежные детали входят в отверстия соединяемых деталей с натягами; при этом по отношению к каждой паре «крепежная деталь – отверстие» натяг является односторонним, например, соединение шкантами.

На качество сборки соединений всех типов и прочность соединения типа *С* влияют следующие факторы:

- а) точность расположения осей отверстий под крепежные детали в обеих соединяемых деталях;
- б) номинальные размеры и поля допусков диаметров отверстий и крепежных деталей.

В соответствии с ГОСТ 6449.4–82 допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей должны устанавливаться одним из двух способов [8]:

- позиционными допусками осей отверстий;
- предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий.

Для отверстий, образующих одну сборочную группу при числе элементов в группе более двух, предпочтительно назначать позиционные допуски их осей.

Позиционные допуски комплексно ограничивают отклонение осей отверстий от номинального расположения и благодаря этому наиболее полно и надежно обеспечивают требования взаимозаменяемости, облегчают её анализ и оформление чертежей.

Формулы для пересчета предельных отклонений размеров, координирующих оси отверстий, на позиционные допуски, в зависимости от вида расположения отверстий, приведены в приложении 12.

Нормирование предельных отклонений координирующих размеров является по отношению к позиционным допускам поэлементным нормированием, которому присущи следующие недостатки:

- примерно на 36 % сокращается допуск на изготовление (поле допуска, определяемое предельными отклонениями координирующих размеров, представляет собой квадрат или прямоугольник, вписанный в круглое поле позиционного допуска);

- усложняется выбор и нанесение предельных отклонений на чертежах, так как необходимо учитывать вид расположения отверстий (см. приложение 12);

- обеспечение взаимозаменяемости становится менее надежным и требует в ряде случаев нормирования и контроля дополнительных параметров, например: отклонения осей отверстий от общей плоскости ряда; отклонения размеров по диагонали между осями отверстий.

Числовые значения позиционных допусков в диаметральном выражении должны соответствовать указанным в таблице 2.9.

Таблица 2.9. Значения позиционных допусков осей отверстий в диаметральном выражении, мм [8]

0,10	0,12	0,16	0,20	0,25	0,30	0,40	0,50	0,60	0,80
1,0	1,2	1,6	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	-

Диаметры сквозных отверстий под крепежные детали в соединениях типов *A* и *B* устанавливают в зависимости от диаметра крепежной детали (болта, винта, шпильки, шурупа) по таблице 2.10.

Предельные отклонения диаметров сквозных отверстий: для 1-го ряда – по *H13*; для 2-го и 3-го рядов – по *H14* (ГОСТ 6449.1–82).

Таблица 2.10. Диаметры сквозных отверстий для соединений типов *A* и *B* (ГОСТ 6449.4–82)

Диаметр стержня крепежной детали d , мм	Диаметры сквозных отверстий D и наименьшие зазоры $S_{\min}$, мм					
	1-й ряд		2-й ряд		3-й ряд	
	D	$S_{\min}$	D	$S_{\min}$	D	$S_{\min}$
3	3,4	0,4	3,6	0,6	4,0	1,0
4	4,5	0,5	4,8	0,8	5,0	1,0
5	5,5	0,5	5,8	0,8	7,0	2,0
6	6,6	0,6	7,0	1,0	8,0	2,0
8	9,0	1,0	10,0	2,0	11,0	3,0
10	11,0	1,0	12,0	2,0	13,0	3,0
12	14,0	2,0	15,0	3,0	16,0	4,0
16	18,0	2,0	19,0	3,0	21,0	5,0
20	22,0	2,0	24,0	4,0	26,0	6,0

Примечание. Приведенные в табл. 2.10 наименьшие зазоры $S_{\min}$ соответствуют условию, когда наибольший предельный диаметр стержня крепежной детали $d_{\max}$ равен номинальному диаметру d .

Критерием выбора позиционного допуска осей отверстий в соединениях типов *A* и *B* является наименьший зазор между гладким отверстием и крепежной деталью $S_{\min}$:

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}, \quad (2.3)$$

где $D_{\min}$ – наименьший предельный размер сквозного отверстия, $D_{\min} = D$; $d_{\max}$ – наибольший предельный размер стержня крепежной детали, $d_{\max} = d$; в соответствии с ГОСТ Р ИСО 4759-1–2009 поле допуска диаметра стержня болта d принимают по $h13$ или $h14$ (ГОСТ 25346–89).

Позиционные допуски осей отверстий в диаметральном выражении ($T_{\text{поз}}$) в обеих соединяемых деталях определяют по следующим формулам:

– для соединений типа *A*

$$T_{\text{поз}} = S_{\min}; \quad (2.4)$$

– для соединений типа *B* с гайкой (резьбовой втулкой)

$$T_{\text{поз}} = 0,5S_{\min} - T_c, \quad (2.5)$$

где T_c – допуск концентричности (см. табл. 2.4, п. 2.4.4.2) резьбового отверстия гайки относительно ее наружной цилиндрической поверхности;

– для соединения типа *B* без гайки, например, для соединения деталей шурупами (при условии, что отверстия под шурупы в обеих соединяемых деталях формируются отдельно)

$$T_{\text{поз}} = 0,5S_{\min}. \quad (2.6)$$

Рассчитанные по формулам (2.4)–(2.6) числовые значения позиционных допусков округляют до ближайшего меньшего стандартного значения, указанного в таблице 2.9.

Номинальные диаметры сопрягаемых отверстий и крепежных деталей в соединениях типа *C* должны быть одинаковыми. Их предельные отклонения рекомендуется принимать: для отверстий – по *H13* или *H14*; для крепежных деталей (шкантов) – по *k13* или *k14* (ГОСТ 6449.1–82).

Критерием выбора позиционных допусков осей отверстий для соединений типа *C* является допускаемый односторонний натяг $N_{\text{доп}}$ между крепежной деталью и соединяемыми деталями, зависящий от материалов этих деталей и требований к качеству соединений (прочность, отсутствие трещин и т. п.). Рекомендуемые позиционные допуски осей отверстий под шканты в изделиях мебели приведены в таблице 2.11 [8].

Таблица 2.11. Рекомендуемые позиционные допуски осей отверстий под шканты

Материал соединяемых деталей (сборочных единиц)	Позиционный допуск осей отверстий в диаметральном выражении, мм
Древесина твердых лиственных пород и березы	0,20
Древесина хвойных и мягких лиственных пород	0,25
Древесностружечные плиты	0,30

Примечание. Количество шкантов, применяемых в одном соединении деталей (сборочных единиц), $n \geq 2$.

Позиционные допуски расположения осей отверстий в обеих соединяемых деталях для соединений типов *A*, *B* и *C* устанавливают с учетом требования максимума материала по ГОСТ Р 53090–2008 [25].

Размер максимума материала – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует больший объем материала детали, т. е. наибольшему предельному размеру крепежной детали и наименьшему предельному размеру отверстия. Согласно ГОСТ Р 53442–2009, требования максимума материала указывают на чертеже знаком $\textcircled{M}$ [26].

Примечание. Ранее, согласно ГОСТ 24642–81 и ГОСТ 2.308–79, применялся термин «зависимый допуск расположения».

Пример. Рассчитать допуски расположения осей отверстий под крепежные детали для соединения типа *A*: вид расположения отверстий, III (по прил. 12); диаметр болтов 10 мм; диаметр отверстий 13 мм, и выполнить чертежи детали при нормировании точности расположения осей отверстий позиционным допуском и предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий.

Решение

1. Рассчитывают наименьший зазор $S_{\min}$ между отверстием и крепежной деталью по формулам (2.3) и (2.4):

$$T_{\text{поз}} = S_{\min} = D_{\min} - d_{\max} = 13 - 10 = 3 \text{ мм.}$$

2. Рассчитывают предельные отклонения размеров, координирующих оси отверстий по формулам, приведенным в прил. 12 (III вид расположения отверстий)

$$\delta L_{\Sigma} = T_{\text{поз}}/1,4 = 3/1,4 \approx 2,2 \text{ мм}; \delta_y = 0,5 \delta L_{\Sigma} = 0,5 \cdot 2,2 = 1,1 \text{ мм.}$$

Чертеж детали для двух способов нормирования допусков расположения осей отверстий под болты показан на рисунке 2.6.

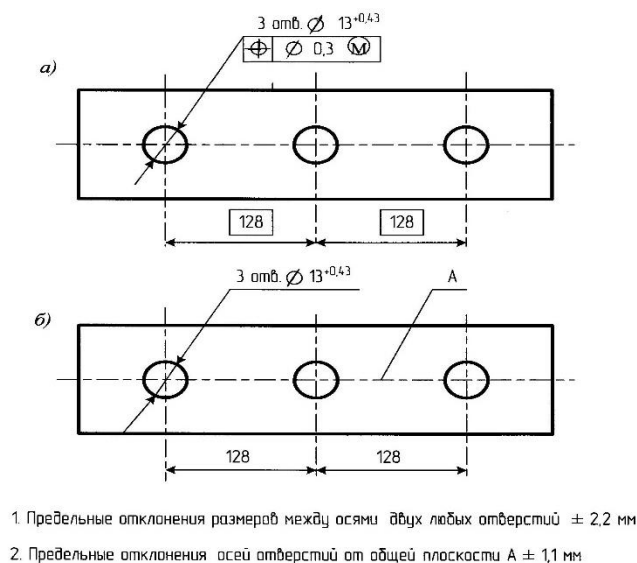


Рисунок 2.6. Чертеж детали с размерами и допусками:

а – при нормировании позиционных допусков осей отверстий;

б – при нормировании предельных отклонений координирующих размеров

2.5. Неуказанные предельные отклонения и допуски (ГОСТ 6449–82)

Непосредственно на чертеже указывают, как правило, наиболее ответственные допуски геометрических параметров изделий. Однако для повышения качества изделий и экономичности их изготовления необходимо обеспечить единое понимание требований к точности и в тех случаях, когда допуски геометрических параметров не указаны на чертеже.

Неуказанные предельные отклонения линейных размеров и углов для изделий из древесины и древесных материалов установлены ГОСТ 6449.5–82.

Неуказанными являются предельные отклонения относительно низкой точности, которые не указывают непосредственно после номинальных размеров, а оговаривают общей записью в технических требованиях чертежа. Стандартом предусмотрены два способа установления неуказанных предельных отклонений линейных размеров: по квалитетам (ГОСТ 6449.1–82); по классам точности,

которые условно называются «точный», «средний», «грубый» и «очень грубый». Предпочтительным является вариант назначения неуказанных симметричных предельных отклонений линейных размеров отверстий, валов, а также размеров элементов, не относящихся к отверстиям и валам по классам точности: «точный» $\pm \frac{t_1}{2}$; «средний» $\pm \frac{t_2}{2}$; «грубый» $\pm \frac{t_3}{2}$; и «очень грубый» $\pm \frac{t_4}{2}$.

Числовые значения неуказанных симметричных предельных отклонений линейных размеров классам точности приведены в приложении 13 к настоящему учебному пособию.

Если допуски формы не указаны на чертеже, то допускаются любые отклонения формы в пределах допуска размера рассматриваемого элемента. Неуказанные отклонения формы, ограниченные полем допуска размера, допускаются для жестких сопрягаемых по всей поверхности элементов деталей.

Если допуски параллельности не указаны, то допускаются любые отклонения от параллельности в пределах поля допуска размера между рассматриваемыми поверхностями или осями.

Неуказанные допуски наклона и позиционные допуски, а также допуски формы заданного профиля или заданной поверхности не устанавливаются. Во всех случаях, когда необходимо назначить эти виды допусков, они должны быть установлены и указаны на чертеже.

2.6. Шероховатость поверхностей

Различают поверхности номинальные и реальные.

Номинальная поверхность – это идеальная поверхность, номинальная форма которой задана чертежом или другой технической документацией.

Реальная поверхность – это поверхность, ограничивающая деталь (заготовку и т. п.) и отделяющая ее от окружающей среды. Реальные поверхности деталей (заготовок) вследствие неизбежных погрешностей их формирования отличаются от номинальных. При совмещении профиля реальной поверхности с профилем номинальной поверхности имеют место отклонения отдельных элементов (точек, участков) реального профиля от номинального, т. е. неровности в виде выступов и впадин.

В зависимости от размеров неровностей их условно подразделяют на неровности большой протяженности (*макронеровности*) и микронеровности (*шероховатость*).

Макронеровности ограничивают допусками формы поверхностей (прямолинейности, плоскостности и др.), а микронеровности – параметрами шероховатости поверхности.

На поверхностях деталей (заготовок и т. п.) из древесины и древесных материалов встречаются следующие виды неровностей [10]:

– *анатомические неровности* обработанной поверхности древесины, образованные вскрытыми полостями сосудов или клеток;

– *структурные неровности* на поверхности плит и деталей, изготовленных из древесных частиц со связующим или без него, обусловленные формой, размерами и расположением этих частиц на поверхности;

– *неровности упругого восстановления*, образующиеся в результате неодинаковой величины упругого восстановления после обработки режущим инструментом поверхностного слоя древесины на участках различной плотности и твердости;

– *неровности разрушения*, образующиеся в результате выколов и вырывов пучков волокон древесины;

– *ворсистость* поверхности древесины – наличие на поверхности часто расположенных неполностью отделенных волокон древесины;

– *мшистость* поверхности древесины – наличие на поверхности часто расположенных пучков неполностью отделенных отдельных волокон и мелких частиц древесины;

– *риски* на поверхности древесины – периодически повторяющиеся следы режущего инструмента в виде гребешков и канавок, направление и форма которых зависят от кинематики процесса резания и формы лезвия;

– *волнистость* поверхности древесины – неровности на поверхности в виде закономерно чередующихся возвышений и впадин дугообразного профиля, обусловленных кинематикой резания; высота волны H поверхностей деталей (заготовок), обработанных методом цилиндрического фрезерования с достаточной для практических целей точностью, рассчитывается по формуле, мм:

$$H \approx \frac{l^2}{8R}, \quad (2.7)$$

где l – длина волны, равная величине подачи на нож (резец) вращающегося режущего инструмента, мм; R – радиус резания, мм.

Риски и волнистость являются кинематическими неровностями, которые не допускаются на поверхностях деталей, подлежащих отделке.

Шероховатость поверхностей деталей (материалов, заготовок и т. п.) из древесины и древесных материалов характеризуют числовыми значениями параметров неровностей (структурных; упругого восстановления; разрушения; риски; волнистость) и наличием или отсутствием ворсистости и мшистости на обработанных поверхностях.

Требования к шероховатости поверхности не включают требований к механическим повреждениям и порокам в виде резко выделяющихся отдельных неровностей (царапин, выколов и др.). Анатомические неровности древесины учитывают только в случаях повышенных требований к качеству поверхностей.

Параметры шероховатости поверхностей из древесины и древесных материалов (один или несколько) выбирают из следующей номенклатуры, установленной ГОСТ 7016–82 [10]:

– $Rm_{\max}$ – среднее арифметическое высот отдельных наибольших неровностей на поверхности, вычисляемое по формуле

$$Rm_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{\max i}, \quad (2.8)$$

где $H_{\max i}$ – расстояние от высшей до низшей точки i -й наибольшей неровности (рис. 2.7); n – число измерений (не менее 5);

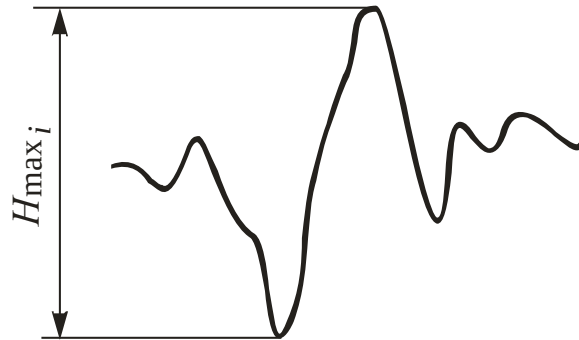


Рисунок 2.7. Высота отдельной наибольшей неровности на поверхности

– Rm – наибольшая высота неровностей профиля в пределах базовой длины (расстояние между линией выступов профиля и линией впадин), определяемая по формуле (рис. 2.7)

$$Rm = Y_{p_{\max}} + Y_{v_{\max}}, \quad (2.9)$$

где $Y_{p_{\max}}$ – расстояние от средней линии профиля m до высшей точки профиля в пределах базовой длины; $Y_{v_{\max}}$ – расстояние от средней линии профиля m до низшей точки профиля в пределах базовой длины;

– Rz – высота неровностей профиля по десяти точкам в пределах базовой длины, определяемая по формуле (рис. 2.8)

$$Rz = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 h_{\max \cdot i} - \sum_{i=1}^5 h_{\min \cdot i} \right), \quad (2.10)$$

где $h_{\max \cdot i}$ – расстояние от высших точек пяти наибольших максимумов до линии, параллельной средней и не пересекающей профиль; $h_{\min \cdot i}$ – расстояние от низших точек пяти наибольших минимумов до этой же линии;

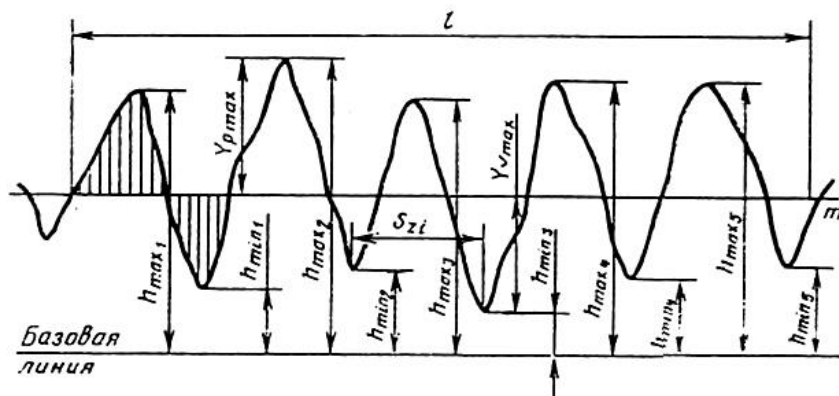


Рисунок 2.8. Условное изображение профилограммы поверхности и ее измеряемых величин

– Ra – среднее арифметическое отклонение профиля в пределах базовой длины, определяемое по формуле

$$Ra = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx, \quad (2.11)$$

или приближенно:

$$Ra = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i|, \quad (2.12)$$

где $|y_i|$ – ордината i -й точки профилограммы поверхности, отсчитываемая от средней линии профиля m вверх или вниз по абсолютной величине (см. деления в левой части профилограммы на рисунке 2.7);

– Sz – средний шаг неровностей профиля по впадинам, определяемый по формуле

$$Sz = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Sz_i, \quad (2.13)$$

где Sz_i – шаг i -й неровности по впадинам; n – число шагов неровностей по впадинам (см. рис. 2.6).

Параметр Sz является вспомогательным и применяется совместно с одним из параметров Rz или Ra .

Числовые значения параметров шероховатости $Rm_{\max}$, Rm и Rz выбирают из ряда, указанного в табл. 2.12.

Таблица 2.12. Ряд числовых значений параметров $Rm_{\max}$, Rm и Rz , мкм

–	–	–	2,5	<u>3,2</u>	4,0	5,0	<u>6,3</u>	8,0	10
<u>12,5</u>	16,0	20	<u>25</u>	32	40	<u>50</u>	63	80	100
125	160	<u>200</u>	250	320	<u>400</u>	500	630	<u>800</u>	1000
1250	<u>1600</u>	–	–	–	–	–	–	–	–

Числовые значения параметра шероховатости Ra выбирают из ряда, указанного в таблице 2.13.

Таблица 2.13. Ряд числовых значений параметра Ra , мкм

–	–	–	–	–	–	0,50	0,63	<u>0,80</u>	1,00
1,25	<u>1,6</u>	2,0	2,5	<u>3,2</u>	4,0	5,0	<u>6,3</u>	8,0	10,0
<u>12,5</u>	16	20	<u>25</u>	32	40	<u>50</u>	63	80	<u>100</u>

Примечание. Подчеркнутые в таблицах 2.12 и 2.13 числовые значения являются предпочтительными.

Числовые значения параметров шероховатости Rm , Rz и Ra должны определяться на базовой длине l , устанавливаемых из соотношения значений этих параметров и базовой длины, приведенных в табл. 2.14 и 2.15.

Таблица 2.14. Значения параметров шероховатости R_m , R_z

R_m, R_z , мкм	От 2,5 до 16	Св. 16 до 50	Св. 50 до 160	Св. 160 до 500
l , мм	0,8	2,5	8,0	25

Таблица 2.15. Значения параметров шероховатости R_a

R_a , мкм	От 0,5 до 3,2	Св. 3,2 до 12,5	Св. 12,5 до 100
l , мм	0,8	2,5	8,0

Базовая длина – это длина базовой линии, используемая для выделения неровностей, характеризующих шероховатость поверхностей, и для количественного определения ее вышеуказанных параметров.

Для определения параметра $R_{m_{\max}}$ измерение $H_{\max}$ выполняют в пределах шага каждой из выбранных наибольших неровностей.

В рабочей конструкторской документации изделий из древесины и древесных материалов (мебель, оконные блоки и пр.) шероховатость поверхностей нормируют путем указания параметра шероховатости R_m .

В ходе различной механической обработки (точение, свершение, шлифование и пр.) неровности (шероховатость) могут принимать различный вид. Основные виды неровностей представлены в таблице 2.16.

Таблица 2.16. Виды и обозначение неровностей

	Тип направлений неровностей	Схематичное изображение	Обозначение
1	Параллельное		
2	Перпендикулярное		
3	Перекрещивающееся		
4.	Произвольное		
5	Точечное		
6	Кругообразное		
7	Радиальное		

В конструкторской и технологической документации изделий при указании параметров шероховатости должны быть оговорены случаи, когда ворсистость и мшистость на поверхности не допускаются.

2.7. Указание допусков геометрических параметров на чертежах

Согласно ГОСТ 2.307–68 предельные отклонения размеров следует указывать непосредственно после номинальных размеров [2].

Предельные отклонения линейных размеров указывают на чертежах условными обозначениями полей допусков в соответствии с ГОСТ 6449.1–82, например, $12H13$, $10za12$, $30j_s14$ или числовыми значениями, например: $12^{+0,27}$, $10^{+0,20}_{+0,05}$, $30\pm 0,26$ или условными обозначениями полей допусков с указанием справа в скобках их числовых значений, например: $12H13(^{+0,27})$, $10za12(^{+0,20}_{+0,05})$, $30j_s14(\pm 0,26)$.

При записи предельных отклонений числовыми значениями верхние отклонения помещают над нижними. Предельные отклонения равные нулю не указывают.

Предельные отклонения угловых размеров указывают только числовыми значениями. Например: $60^\circ\pm 20'$, $60^\circ^{+40'}$, $60^\circ_{-40'}$.

Предельные отклонения размеров деталей, изображенных на чертеже в сборе и образующих посадку, указывают в виде дроби одним из следующих способов:

$$\text{а) } 12 \frac{H13}{za13}; 16 \frac{H14}{h14}; \quad \text{б) } 12 \frac{^{+0,27}}{^{+0,33}_{+0,06}}; 16 \frac{^{+0,43}}{-0,43}; \quad \text{в) } 12 \frac{H13(^{+0,27})}{za13(^{+0,33}_{+0,06})}; 16 \frac{H14(^{+0,43})}{h14(-0,43)}.$$

Предельные отклонения линейных и угловых размеров относительно низкой точности допускается не указывать непосредственно после номинальных размеров, а оговаривать общей записью в технических требованиях чертежа при условии, что эта запись однозначно определяет значения и знаки предельных отклонений (см. подраздел 2.5).

Неуказанные предельные отклонения линейных размеров изделий из древесины и древесных материалов установлены ГОСТ 6449.4–82, в котором представлены варианты сочетаний в одной общей записи неуказанных предельных отклонений для размеров различных элементов (отверстий; валов; элементов, не относящихся к отверстиям и валам).

Предпочтительным является третий вариант, предусматривающий установление симметричных предельных отклонений по классам точности ГОСТ 6449.5–82. При этом в технических требованиях на чертеже указывают, например, «Неуказанные предельные отклонения размеров $\pm t_2/2$ ».

Примечание. Краткая характеристика ГОСТ 6449.5–82 приведена в подразделе 2.5 настоящего учебного пособия.

Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения указывают на чертежах изделий всех отраслей промышленности по ГОСТ 2.308–79, с учетом изменений, установленных ГОСТ Р 53442–2009 [26].

При условном обозначении данные о допусках формы, ориентации, месторасположения и биения указывают в прямоугольной рамке, разделенной на две и более частей, в которых помещают:

в первой – знак допуска по ГОСТ 2.308–89 (см. таблицу 2.2 настоящего учебного пособия);

во второй – числовое значение допуска в мм;

в третьей и последующих – буквенное обозначение базы (баз), с которой связан допуск ориентации, месторасположения или биения.

Перед числовым значением допуска ориентации, месторасположения или биения во второй части рамки следует указывать:

– символ $\varnothing$, если круговое или цилиндрическое поле допуска указывают его диаметром;

– символ R , если круговое или цилиндрическое поле допуска указывают радиусом;

– символ T , если допуски симметричности, формы заданного профиля и заданной поверхности, а также позиционные допуски (если поле позиционного допуска ограничено двумя параллельными прямыми или плоскостями) указывают в диаметральном выражении;

– символ $T/2$ для тех же видов допусков, если их указывают в радиусном выражении;

– слово «сфера» и символы $\varnothing$ или R , если поле допуска сферическое.

Требования максимума материала обозначают условным знаком $\textcircled{M}$, который помещают после числового значения допуска.

Примечание. Ранее вышеуказанным условным знаком обозначали зависимый допуск. Термин «зависимый допуск» новыми стандартами не предусмотрен [25; 26].

Рамки следует выполнять сплошными тонкими линиями. Высота цифр, букв и знаков, вписываемых в рамки, должна быть равна размеру шрифта размерных чисел.

Рамку располагают горизонтально и соединяют с элементом, к которому относится допуск, сплошной тонкой линией, заканчивающейся стрелкой. Не допускается пересекать рамку какими-либо линиями.

Базу обозначают зачерненным (или незачерненным) треугольником и указывают прописную букву.

Примеры указания на чертежах допусков формы и расположения поверхностей приведены в приложении 14 к настоящему учебному пособию.

В обозначении шероховатости поверхности по ГОСТ 2.309–73 применяют следующие знаки:

а) знак $\sqrt{\quad}$ с указанием значения параметра шероховатости поверхности, способ обработки которой конструктором не устанавливается;

б) знак ∇ с указанием значения параметра шероховатости поверхности, которая должна быть образована удалением слоя материала;

в) знак ∇ :

– с указанием значения параметра шероховатости поверхности, которая должна быть образована без удаления слоя материала;

– без указания параметра шероховатости детали, не подлежащей по данному чертежу дополнительной обработке; состояние этой поверхности должно соответствовать требованиям, установленным соответствующим стандартом или техническими условиями на материал детали.

Над знаком указывают обозначение параметра шероховатости и его числовые значения (наибольшее или наименьшее или пределы значений).

На чертежах изделий из древесины и древесных материалов указывают параметр шероховатости поверхностей R_m (наибольшая высота неровностей профиля) по ГОСТ 7016–82 [10].

Методы определения параметров шероховатости установлены ГОСТ 15612–85. Эти методы изложены в лабораторном практикуме [35].

3. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ИЗДЕЛИЙ

3.1. Основные положения

Качество изделий в значительной степени зависит от точности их изготовления, характеризуемой погрешностями геометрических параметров (линейных и угловых размеров; формы, ориентации, месторасположения геометрических элементов; шероховатости поверхностей) их составных частей. При конструировании изделия для каждой его составной части необходимо установить и указать в рабочей конструкторской документации такие номинальные значения и допуски соответствующих геометрических параметров, соблюдение которых в условиях производства гарантирует требуемое качество всей изготовленной партии изделий после их сборки. Таким образом, обеспечивают взаимозаменяемость составных частей изделия при его конструировании.

Современная методика установления допусков при конструировании изделия базируется на установлении непосредственной взаимосвязи между точностью изготовления составных частей изделия и его функциональными параметрами (единичными показателями качества). С этой целью при конструировании изделий проводят их размерный анализ, используя чертежи их общего вида или конструктивные схемы.

В процессе размерного анализа изделия необходимо:

- а) установить номенклатуру и требуемые числовые значения функциональных параметров изделия, зависящих от точности геометрических параметров его составных частей;
- б) выявить конкретные геометрические параметры или взаимосвязанные группы параметров составных частей изделия, от погрешностей которых зависит каждый из установленных функциональных параметров;
- в) расчетным путем установить такие допуски на выявленные геометрические параметры, которые с учетом их суммарного влияния обеспечивают заданные значения функциональных параметров изделия;
- г) установить допуски на геометрические параметры, погрешности которых не оказывают существенного влияния на качество изделия.

Под термином «номенклатура» в данном случае понимают обоснованный перечень функциональных параметров изделия, зависящих от точности изготовления его составных частей и обеспечивающих его соответствие своему назначению (техническим условиям).

Примечание. Конкретные рекомендации по вышеуказанным вопросам рассмотрены в учебном пособии «Конструирование изделий из древесины» [34].

При проведении размерного анализа в первую очередь выявляют взаимосвязанные линейные размеры, образующие посадки или размерные цепи. Основные термины и определения, а также методы расчета посадок и размерных цепей приведены соответственно в подразделах 3.3 и 3.4 настоящего учебного

пособия. Наряду с этим необходимо обоснованно установить для каждой составной части изделия определенные виды допусков формы, ориентации, месторасположения и биения и их числовые значения. Методика выбора допусков формы, ориентации, месторасположения и биения геометрических элементов изделий при конструировании изделий приведена в подразд. 3.5 настоящего учебного пособия.

3.2. Значение базирования для обеспечения взаимозаменяемости

К составным частям изделий (деталям, сборочным единицам) предъявляются определенные требования, обусловленные их функциональным назначением.

Каждая составная часть изделия (деталь; неразборная сборочная единица) состоит из соответствующих элементов (номинально плоских или профильных поверхностей, отверстий, осей и т. п.), которые определяют конструкцию этой составной части в целом.

Для оценки точности расположения элементов, как правило, назначают базы. Базой может быть поверхность (например, плоскость), ее образующая, и пр. Если базой является поверхность вращения, то в качестве базы рассматривают ее ось. База определяет привязку детали к плоскости или оси координат, относительно которой задаются допуски ориентации, месторасположения, биения ее геометрических элементов. Базой может служить и сочетание нескольких элементов, например, общая ось или общая плоскость симметрии нескольких элементов детали.

В ряде случаев для правильной и однозначной оценки точности расположения отдельных элементов деталь может быть ориентирована одновременно по двум или трем базам, образующим систему координат. Такая совокупность баз называется комплектом баз. Примером комплекта баз могут служить три взаимно перпендикулярные плоскости.

Таким образом, геометрическая точность каждой составной части изделия регламентируется допусками ее линейных и угловых размеров, а также соответствующими (при необходимости) допусками формы, ориентации, месторасположения и биения ее элементов (поверхностей, осей и пр.), и шероховатостью поверхностей.

Кроме вышеизложенного, составные части (детали, сборочные единицы), входящие в состав изделия, должны занимать определенное положение, определяемое его функциональным назначением. Это положение определяют обычно по отношению к выбранной системе координат.

Известно, что свободное тело имеет шесть степеней свободы: три перемещения вдоль координатных осей OX , OY и OZ и три поворота относительно этих же осей. Тело становится неподвижным при наложении на него двухсторонних геометрических связей, лишаящих его всех степеней свободы, что достигается соприкосновением поверхностей тела с поверхностями

других тел (другого тела), к которым (которому) оно присоединяется, и приложением сил и пар сил для обеспечения контакта между ними.

Тело, ограниченное реальными поверхностями, может контактировать с телами, определяющими его положение, в общем случае, лишь по отдельным элементарным площадкам, условно считаемым точками контакта. Шесть связей, лишаящих тело движения в шести направлениях, могут быть созданы контактом соединяемых тел в шести точках.

В готовом изделии (сборочной единице) деталь должна занимать определенное положение по отношению к другим деталям (сборочным единицам). С этой целью в деталях, образующих сборочную единицу, предусматривают соответствующие контактные элементы (например, в деревянных деталях – шипы, проушины, гнезда и т. п.), по которым они соприкасаются друг с другом при сборке изделия. От точности размеров этих элементов, формы и их расположения относительно других элементов детали во многом зависит качество изделия в целом.

Для обеспечения взаимозаменяемости и требуемого качества изделий необходимо учитывать преемственность между тремя процессами: конструированием, изготовлением и контролем (измерением).

Деталь является сначала объектом конструирования, затем изготовления и измерения. Как составная часть изделия (сборочной единицы) деталь должна соответствовать своему функциональному назначению.

Преемственность между указанными процессами должна обеспечиваться обоснованным выбором баз для базирования заготовки и детали.

Базирование – придание заготовке или детали требуемого положения относительно выбранной системы координат. *База* – поверхность или выполняющее ту же функцию сочетание поверхностей, ось, точка, принадлежащая заготовке или детали и используемая для базирования.

В соответствии с ГОСТ 21495 базы классифицируют: по назначению (конструкторская (основная и вспомогательная); технологическая; измерительная); по лишаемым степеням свободы (установочная; направляющая; опорная и др.); по характеру проявления (явная; скрытая).

Конструкторская база – база, используемая для определения положения детали или сборочной единицы в изделии при его конструировании. *Основная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения их положений в изделии. *Вспомогательная база* – конструкторская база, принадлежащая данной детали или сборочной единице и используемая для определения положения присоединяемого к ним изделия (детали или сборочной единицы).

Технологическая база – база, используемая для определения положения заготовки или изделия при изготовлении или ремонте.

Измерительная база – база, используемая для определения относительного положения заготовки или изделия и средств измерения.

Базы или комплект баз и их последовательность должны назначаться конструктором с учетом условий базирования детали в сборочной единице. Конструкторские базы являются основанием для выбора технологических баз

(при обработке заготовок) и измерительных баз (при измерении детали). Для повышения точности изделий важно соблюдать принцип единства конструкторских, технологических и измерительных баз.

Установочная база – база, лишаящая заготовку трех степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси (OZ) и поворота вокруг двух других осей (OX и OY) – рисунок 3.1 (три точки на плоскости A).

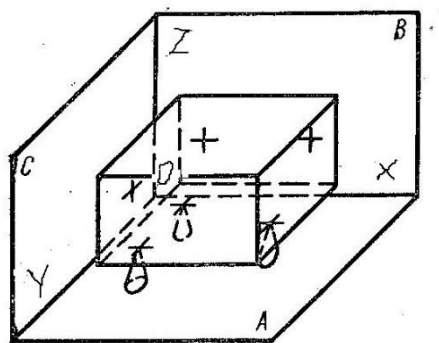


Рисунок 3.1. Комплект баз для призматической детали

Направляющая база – база, лишаящая заготовку или деталь двух степеней свободы – перемещения вдоль одной координатной оси (OY) и поворота вокруг другой оси – рисунок 3.1 (две точки на плоскости B).

Опорная база – база, лишаящая заготовку или деталь одной степени свободы – перемещения вдоль одной координатной оси (OX) – рисунок 3.1 (одна точка на плоскости C).

Явная база – база в виде реальной поверхности, разметочной метки или точки пересечения рисок.

Скрытая база – база в виде воображаемой плоскости, оси или точки.

В процессе выполнения работ по обеспечению взаимозаменяемости при конструировании и в производстве изделий необходимо обоснованно назначать базы с учетом вышеуказанных общих рекомендаций.

3.3. Выбор и расчет посадок

Посадки образуются в одноэлементных соединениях двух деталей (неразборных сборочных единиц). При этом должны выполняться следующие условия:

- а) соединительный элемент одной детали – вал (шип, гребень) при сборке изделия входит в отверстие (гнездо, проушину, паз) другой детали;
- б) номинальные размеры отверстия и вала одинаковы;
- в) характер соединения определяется величиной зазора или натяга, зависящих только от действительных размеров отверстия и вала.

Вышеперечисленным условиям соответствуют следующие типы соединений деталей по ГОСТ 9330–76: на шип одинарный (цельный или вставной любой формы), в паз и гребень, в паз и на рейку.

Согласно ГОСТ 6449.1–82, посадки рекомендуется образовывать в системе отверстия, т. е. путем сочетания основных отверстий (H) с соответствующими полями допусков валов. При этом допуски отверстия и вала могут быть одинаковыми (одного квалитета) или разными. При разных допусках отверстия и вала в посадке рекомендуется, чтобы больший допуск был у отверстия, и допуски отверстия и вала отличались не более чем на два квалитета [5].

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала посадка может быть с зазором или с натягом, или переходной, при которой возможны как зазоры, так и натяги.

Критерием выбора посадки является допускаемый диапазон изменения зазоров или натягов в партии соединяемых деталей, обеспечивающий требуемое качество соединений (прочность соединений или свободу относительного перемещения деталей после их сборки).

С учетом результатов ранее проведенных экспериментов разработаны рекомендации по выбору посадок для типовых соединений деталей из древесины и древесных материалов [34].

Известно, что действительные размеры отверстий (ширина проушин, гнезда, паза) и валов (толщина шипа, рейки) в партии собираемых деталей неодинаковы вследствие неизбежного их рассеяния в процессе изготовления. При проектных расчетах посадок считают, что рассеяния размеров отверстий и валов подчиняются закону нормального распределения (закону Гаусса).

Различают два метода расчета посадок: на максимум-минимум и вероятностный. При расчете на максимум-минимум определяют предельные значения зазоров или натягов при самых неблагоприятных сочетаниях отверстий и валов: наибольший предельный размер отверстия – наименьший предельный размер вала; наименьший предельный размер отверстия – наибольший предельный размер вала.

По вероятностному методу расчета посадок определяют вероятностные предельные зазоры и натяги с учетом рассеяния размеров отверстий и валов и вероятности их различных сочетаний при сборке.

Согласно ГОСТ 6449.1–82, посадки рекомендуется рассчитывать по вероятностному методу, позволяющему без ущерба для качества соединения (с риском 0,27 %) расширить допуски на сопрягаемые размеры примерно на 25–35 % по сравнению с расчетом на максимум-минимум, что снижает себестоимость изготовления изделий [5; 27].

Выбранную из нормативно-справочного документа (ГОСТ, ОСТ, РТМ и т. п.) рекомендуемую для конкретного соединения посадку при необходимости можно рассчитать:

а) на максимум-минимум с целью определения предельных значений зазоров или натягов: для посадок с зазором – наибольшего $S_{\max}$ и наименьшего $S_{\min}$ предельных зазоров; для переходных посадок – наибольшего зазора $S_{\max}$ и наибольшего натяга $N_{\max}$; для посадок с натягом – наибольшего $N_{\max}$ и наименьшего $N_{\min}$ натягов;

б) по вероятностному методу с целью определения вероятностных предельных зазоров и натягов.

Формулы для расчета предельных, средних и вероятностных предельных зазоров и натягов для всех типов посадок приведены в таблице 3.1, в которой приняты следующие обозначения:

ES – верхнее отклонение отверстия;

ei – нижнее отклонение вала;

es – верхнее отклонение вала;

$IT_{\text{пос. вер}}$ – вероятностный допуск посадки, который рассчитывают по формуле

$$IT_{\text{пос.вер}} = \sqrt{IT_o^2 + IT_b^2}, \quad (3.1)$$

где IT_o и IT_b – допуски отверстия и вала соответственно.

В некоторых случаях, при отсутствии обоснованных рекомендаций по выбору посадок для соединений деталей (например, для нетиповых соединений деталей и т. п.), рациональную посадку устанавливают на основании результатов экспериментальных исследований.

Таблица 3.1. Формулы для расчета зазоров и натягов

Тип посадки	Формулы для расчета предельных зазоров $S_{\max}$, $S_{\min}$ и натягов $N_{\max}$, $N_{\min}$	Формулы для расчета средних зазора S_c и натяга N_c	Формулы для расчета вероятностных предельных зазоров $S_{\max \text{ вер}}$, $S_{\min \text{ вер}}$ и натягов $N_{\max \text{ вер}}$, $N_{\min \text{ вер}}$
Посадка с зазором	$S_{\max} = ES - ei$ $S_{\min} = -es$	$S_c = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}$	$S_{\max \text{ вер}} = S_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$ $S_{\min \text{ вер}} = S_c - \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$
Переходная посадка	$S_{\max} = ES - ei$ $N_{\max} = es$	при $N_{\max} > S_{\max}$	
		$N_c = \frac{N_{\max} - S_{\max}}{2}$	$S_{\max \text{ вер}} = -N_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$ $N_{\max \text{ вер}} = N_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$
		при $S_{\max} > N_{\max}$	
		$S_c = \frac{S_{\max} - N_{\max}}{2}$	$S_{\max \text{ вер}} = S_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$ $N_{\max \text{ вер}} = -S_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$
Посадка с натягом	$N_{\max} = es$ $N_{\min} = ei - ES$	$N_c = \frac{N_{\max} + N_{\min}}{2}$	$N_{\max \text{ вер}} = N_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$ $N_{\min \text{ вер}} = N_c - \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2}$

Примечания.

1. Значения предельных отклонений отверстия ES и вала ei и es подставляют в формулы таблицы 3.1 с учетом их знаков.

2. Тип посадки определяется положительными числовыми значениями двух величин: $S_{\max}$ и $S_{\min}$ – посадка с зазором; $S_{\max}$ и $N_{\max}$ – переходная посадка; $N_{\max}$ и $N_{\min}$ – посадка с натягом.

3. Необходимые справочные данные для расчета посадок (значения допусков линейных размеров и предельные отклонения валов по ГОСТ 6449.1–82) приведены в прил. 2; 5–7.

Пример

Рассчитать посадку $8H13/ze13$ на максимум-минимум и по вероятностному методу.

1. Устанавливают предельные отклонения и допуски по ГОСТ 6449.1–82: – отверстия $8H13$ (см. примечание к прил. 2):

$$ES = +0,22 \text{ мм}; \quad IT_o = ES = 0,22 \text{ мм};$$

– вала $8ze13$ (см. прил. 5):

$$ei = +0,15 \text{ мм}; \quad es = +0,37 \text{ мм}; \quad IT_v = es - ei = 0,37 - 0,15 = 0,22 \text{ мм}.$$

2. Подставляют значения отклонений ES , ei и es в формулы табл. 3.1 для определения предельных зазоров и натягов и устанавливают, что данная посадка является переходной, так как она характеризуется положительными значениями наибольших зазора $S_{\max}$ и натяга $N_{\max}$:

$$S_{\max} = ES - ei = 0,22 - 0,15 = 0,07 \text{ мм};$$

$$N_{\max} = es = 0,37 \text{ мм}.$$

3. Определяют средний натяг N_c по формуле, приведенной в таблице 3.1 (при $N_{\max} > S_{\max}$):

$$N_c = (N_{\max} - S_{\max}) / 2 = (0,37 - 0,07) / 2 = 0,15 \text{ мм}.$$

4. Рассчитывают вероятностный допуск посадки по формуле (3.1):

$$IT_{\text{пос.вер}} = \sqrt{IT_o^2 + IT_v^2} = \sqrt{0,22^2 + 0,22^2} \approx 0,31 \text{ мм}.$$

5. Рассчитывают вероятностные наибольшие зазоры и натяги по формулам, приведенным в таблице 3.1:

$$S_{\max \text{ вер}} = -N_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2} = -0,15 + \frac{0,31}{2} \approx 0,01 \text{ мм};$$

$$N_{\max \text{ вер}} = N_c + \frac{IT_{\text{пос.вер}}}{2} = 0,15 + \frac{0,31}{2} \approx 0,31 \text{ мм}.$$

3.4. Размерные цепи

3.4.1. Основные положения

Основные положения, термины, обозначения и определения размерных цепей установлены ГОСТ 16319–80 [16].

Размерной цепью называется совокупность размеров, непосредственно участвующих в решении поставленной задачи и образующих замкнутый контур. Размерная цепь состоит из отдельных звеньев (размеров). Любая размерная цепь имеет одно замыкающее звено и не менее двух составляющих звеньев.

Замыкающим звеном размерной цепи называется звено, являющееся исходным при постановке задачи; это звено является функциональным параметром изделия. *Составляющим* называется звено размерной цепи, функционально связанное с замыкающим звеном.

Составляющее звено может быть увеличивающим (если при его увеличении замыкающее звено увеличивается) или уменьшающим (если при его увеличении замыкающее звено уменьшается).

Размерные цепи используются для решения *прямой* и *обратной* задач. При решении *прямой задачи* определяют параметры составляющих звеньев размерной цепи при конструировании изделия исходя из заданного параметра замыкающего звена. *Обратную задачу* решают, когда известны указанные на чертеже параметры составляющих звеньев размерной цепи и требуется определить параметры замыкающего звена, т. е. проверяют правильность решения прямой задачи.

Расчеты размерных цепей могут производиться:

а) *методом максимума-минимума*, учитывающим только предельные отклонения составляющих звеньев и самые неблагоприятные их сочетания;

б) *вероятностным методом*, учитывающим рассеяние размеров и вероятность различных сочетаний отклонений составляющих звеньев при сборке изделий.

Существуют следующие методы достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи по ГОСТ 16319–80 [16]:

а) *метод полной взаимозаменяемости*, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у всех объектов путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их параметров; расчет размерной цепи производится методом максимума-минимума;

б) *метод неполной взаимозаменяемости*, при котором требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается у заранее обусловленной части объектов путем включения в нее составляющих звеньев без выбора, подбора или изменения их параметров; расчет размерной цепи производится вероятностным методом;

в) *метод групповой взаимозаменяемости*, при котором требуемая точность замыкающего звена достигается путем включения в размерную цепь составляющих звеньев, принадлежащих к одной из групп, на которые они

предварительно рассортированы; расчет размерных цепей производится обычно методом максимума-минимума;

г) *метод пригонки*, при котором требуемая точность замыкающего звена достигается изменением размера компенсирующего звена путем удаления с компенсатора определенного слоя материала; расчет размерных цепей производится методом максимума-минимума или вероятностным методом;

д) *метод регулирования*, при котором требуемая точность замыкающего звена достигается изменением размера компенсирующего звена без удаления материала с компенсатора; расчет размерных цепей производится методом максимума-минимума или вероятностным методом.

При выборе метода достижения заданной точности замыкающего звена необходимо учитывать назначение изделия, его конструктивные и технологические особенности, стоимость изготовления и сборки, эксплуатационные требования, тип производства, его организацию и др.

Заданная точность замыкающего звена должна достигаться с наименьшими технологическими и эксплуатационными затратами. В первую очередь рекомендуется выбирать методы полной и неполной взаимозаменяемости, при которых сборка изделий производится без подбора, пригонки и регулирования.

Метод полной взаимозаменяемости неприемлем в тех случаях, когда необходимая точность составляющих звеньев размерной цепи выходит за пределы экономической точности, и тем более – за пределы достижимой точности. В этих случаях следует проверить возможность использования метода неполной взаимозаменяемости, при котором значительно снижаются требования к точности составляющих звеньев за счет незначительного риска выхода замыкающего звена размерной цепи за установленные границы. Допускаемый процент риска должен устанавливаться техническими требованиями (условиями) на конкретные виды изделий. Так, например, для изделий из древесины и древесных материалов (мебельные изделия; деревянные оконные блоки и т. п.) и допускаемый процент риска рекомендуется принимать преимущественно $P = 0,27 \%$.

Чем выше принятый процент риска, тем ниже требования к точности составляющих звеньев размерной цепи. Однако, если требуемая точность замыкающего звена размерной цепи достигается без каких-либо дополнительных производственных и эксплуатационных затрат при более низком проценте риска по сравнению с допускаемым или даже при полной взаимозаменяемости ($P = 0 \%$), то при расчете такой цепи принимают соответствующий процент риска, который может быть значительно ниже рекомендуемого. Кроме этого, аналогичная ситуация может иметь место при расчете параллельно связанных размерных цепей, имеющих одно или несколько общих звеньев. Требуемая точность (допуск) общего звена должна устанавливаться при расчете той размерной цепи, для решения которой требуется меньшее значение допуска; при этом допуски замыкающих звеньев

для других размерных цепей могут быть значительно ниже их нормативных значений.

Если требуемая точность замыкающего звена размерной цепи не может быть достигнута методом неполной взаимозаменяемости, то следует применять другие методы (групповой взаимозаменяемости; пригонки или регулирования).

Различают линейные и угловые размерные цепи; они могут быть плоскими или пространственными. В данном учебном пособии рассматриваются плоские линейные размерные цепи с параллельными звеньями.

Размерные цепи, имеющие одно или несколько общих звеньев, называют параллельно связанными. Размерные цепи, имеющие одну общую базу, называют последовательно связанными.

3.4.2. Методика решения прямой задачи с помощью размерной цепи

Размерные цепи отражают объективные размерные связи в конструкции изделия. Поэтому в процессе проведения размерного анализа изделия очень важно правильно выявить эти связи и четко сформулировать задачи, для решения которых должны быть использованы размерные цепи. Количество таких задач для конкретного изделия может быть различным. При этом для решения каждой задачи используют одну размерную цепь. В пределах одного изделия размерные цепи обозначают прописными буквами русского алфавита: *А, Б, ..., Я*, за исключением букв *Й, О, Х, Ъ, Ы, Ь*.

ГОСТ 16320 установлена следующая последовательность расчетов размерных цепей при решении прямой задачи [17]:

1. Формулируется задача и устанавливается замыкающее звено.

2. Исходя из поставленной задачи (на основании нормативных данных, аналитических расчетов, экспериментальных данных и т. п.), устанавливают требуемые (нормативные) параметры замыкающего звена размерной цепи, которые могут быть заданы одним из двух вариантов (например, для размерной цепи *А*):

а) нормируемыми пределами значений в партии изготавливаемых изделий (наименьшим $A_{\Delta \min}$ и наибольшим $A_{\Delta \max}$); например, $A_{\Delta} = 0,4 - 3,0$ мм;

б) номинальным размером (A_{Δ}) и его предельными отклонениями (верхним $\Delta_{\text{в}A\Delta}$ и нижним $\Delta_{\text{н}A\Delta}$); например, $A_{\Delta} = (2 \pm 0,5)$ мм.

При этом допуски замыкающего звена рассчитывают по формулам:

для первого варианта

$$\delta_{A\Delta} = A_{\Delta \max} - A_{\Delta \min} = 3,0 - 0,4 = 2,6 \text{ мм}; \quad (3.2)$$

для второго варианта

$$\delta_{A\Delta} = \Delta_{\text{в}A\Delta} - \Delta_{\text{н}A\Delta} = 0,5 - (-0,5) = 1,0 \text{ мм}. \quad (3.3)$$

Примечание. Между вышеуказанными вариантами нормирования параметров замыкающего звена имеется простая взаимосвязь, например, в нашем случае:

для первого варианта $A_{\Delta} = 0,4 - 3,0$ мм или $A_{\Delta} = (1,7 \pm 1,3)$ мм;

для второго варианта $A_{\Delta} = (2 \pm 0,5)$ мм или $A_{\Delta} = 1,5 - 2,5$ мм.

3. Выявляют составляющие звенья и строят схему размерной цепи.

Примечания.

1. После нахождения замыкающего звена приступают к выявлению составляющих звеньев размерной цепи. Первое составляющее звено размерной цепи ограничивает замыкающее с одной стороны, а последнее – с другой.

Таким образом, получается замкнутый контур звеньев (размеров) размерной цепи, включающий одно замыкающее звено и не менее двух составляющих звеньев.

2. Примеры проведения размерного анализа изделий из древесины и древесных материалов, включая вышеуказанные рекомендации, приведены в учебном пособии по дисциплине «Конструирование изделий из древесины» [34]. В соответствии с рабочей программой, в процессе изучения дисциплины «Взаимозаменяемость в деревообработке» студенту предлагаются уже составленные схемы размерных цепей, с помощью которых требуется решить определенные задачи (см. примеры в конце настоящего подраздела).

4. Рассчитывают номинальные размеры всех звеньев размерной цепи по формуле

$$A_{\Delta} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_{Ai} A_i, \quad (3.4)$$

где A_{Δ} – номинальный размер замыкающего звена размерной цепи; ξ_{Ai} – передаточное отношение i -го составляющего звена размерной цепи A ; для линейных размерных цепей с параллельными звеньями передаточные отношения равны: для увеличивающих составляющих звеньев $\xi_i = +1$, для уменьшающих $\xi_i = -1$; A_i – номинальный размер i -го составляющего звена размерной цепи A ; $i = 1, 2, \dots, m$ – порядковый номер звена (количество составляющих звеньев равно $m - 1$; одно звено замыкающее).

5. Выбирают метод достижения требуемой точности замыкающего звена с учетом рекомендаций, приведенных в п. 3.4.1.

6. На основе технико-экономических соображений (или по имеющимся рекомендациям) устанавливают допуски и предельные отклонения на размер каждого составляющего звена размерной цепи. В зависимости от назначения размера допуски принимают: а) по квалитетам ГОСТ 6449.1–82 – для размеров деталей и их элементов, при этом рекомендуется принимать симметричные поля допусков j_s ; б) по ГОСТ 6449.3–82 из следующего ряда, $\pm$ мм: 0,1; 0,12; 0,16; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,80; 1,0; 1,2; 1,6 и т. д.

7. Проверяют правильность принятых полей допусков составляющих звеньев размерной цепи.

На первом этапе проверяют соответствие расчетного значения допуска замыкающего звена его нормативному значению. При этом расчетное значение замыкающего звена определяют по формулам:

а) при методе полной взаимозаменяемости

$$\delta_{\Delta p} = \sum_{i=1}^{m-1} \delta_i, \quad (3.5)$$

где $\delta_{\Delta p}$ – расчетное значение допуска замыкающего звена; δ_i – допуск i -го составляющего звена;

б) при методе неполной взаимозаменяемости

$$\delta_{\Delta p} = t_{\Delta} \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \lambda_i^2 \delta_i^2}, \quad (3.6)$$

где t_{Δ} – коэффициент риска, который при нормальном законе распределения отклонений и равновероятностном их выходе за обе границы поля допуска замыкающего звена выбирают в зависимости от принятого процента риска P из таблицы 3.2; λ_i – относительное среднеквадратическое отклонение (коэффициент относительного рассеяния) i -го звена; значение λ_i принимают в зависимости от предполагаемого закона распределения звена, который при проектных расчетах обычно считают соответствующим закону нормального распределения ($\lambda = 1/3$).

Таблица 3.2. Зависимость коэффициента t_{Δ} от процента риска P

$P, \%$	0,1	0,27	0,5	1	2	3	5	10	32
t_{Δ}	3,29	3,0	2,81	2,57	2,32	2,17	1,96	1,65	1,0

При риске $P = 0,27 \%$ ($t_{\Delta} = 3$) и $\lambda = 1/3$ формула (3.6) принимает следующий вид:

$$\delta_{\Delta p} = \sqrt{\sum_{i=1}^{m-1} \delta_i^2}. \quad (3.7)$$

Расчетное значение допуска замыкающего звена размерной цепи $\delta_{\Delta p}$ сравнивают с его заданным значением $\delta_{\Delta н}$:

а) при $\delta_{\Delta p} = (0,9-1,0)\delta_{\Delta н}$ считают, что допуски на составляющие звенья размерной цепи установлены правильно;

б) при $\delta_{\Delta p} > \delta_{\Delta н}$ следует соответственно уменьшить допуски на составляющие звенья (все или некоторые из них), а при невозможности этого (когда уменьшение допусков экономически необоснованно или реально недостижимо) применяют другие методы достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи;

в) при $\delta_{\Delta p} < 0,9\delta_{\Delta н}$ необходимо проверить возможность увеличения допусков на все или некоторые составляющие звенья размерной цепи.

При выборе допусков необходимо учитывать, что допуски общих звеньев параллельно связанных размерных цепей устанавливают при расчете той размерной цепи, для которой требуется его наименьшее значение. В связи с этим возможны случаи, когда для некоторых размерных цепей расчетные значения допусков замыкающих звеньев будут значительно ниже их нормативных значений. Кроме этого, на составляющие звенья рекомендуется устанавливать стандартные допуски (предельные отклонения), поэтому вариант, при котором $\delta_{\Delta p} = \delta_{\Delta н}$, маловероятен. С учетом вышеизложенного при расчете размерных цепей необходимо стремиться устанавливать возможно большие значения допусков на составляющие звенья.

Выполнение вышеуказанных рекомендаций подтверждает правильность решения прямой задачи при условиях, если:

- нормативные параметры замыкающего звена заданы его номинальным размером и симметричными предельными отклонениями;
- предельные отклонения всех составляющих звеньев размерной цепи приняты симметричными относительно их номинальных размеров.

Если вышеуказанные условия полностью или частично не выполняются, то необходим второй этап проверки правильности принятых полей допусков составляющих звеньев размерной цепи с учетом координат середины поля допуска звеньев с несимметричными предельными отклонениями относительно их номинального размера. Данный этап проверки осуществляют в следующей последовательности:

а) рассчитывают координату середины поля допуска замыкающего звена $\Delta'_{0\Delta p}$ по формуле:

$$\Delta'_{0\Delta p} = \sum_{i=1}^{m-1} \xi_i \Delta_{0i}, \quad (3.8)$$

где Δ_{0i} – координата середины поля допуска i -го составляющего звена, определяемая по формуле

$$\Delta_{0i} = (\Delta_{Bi} + \Delta_{Hi}) / 2, \quad (3.9)$$

где Δ_{Bi} и Δ_{Hi} – соответственно верхнее и нижнее отклонения i -го составляющего звена размерной цепи (с учетом их знаков);

б) определяют расчетные предельные отклонения замыкающего звена по формулам:

верхнее

$$\Delta_{B\Delta p} = \Delta'_{0\Delta p} + (\delta_{\Delta p} / 2), \quad (3.10)$$

нижнее

$$\Delta_{H\Delta p} = \Delta'_{0\Delta p} - (\delta_{\Delta p} / 2); \quad (3.11)$$

в) определяют расчетные пределы изменения замыкающего звена по формулам (например, для размерной цепи A):

наименьшее значение

$$A_{\Delta \min p} = A_{\Delta} + \Delta_{H\Delta p}, \quad (3.12)$$

наибольшее значение

$$A_{\Delta \max p} = A_{\Delta} + \Delta_{B\Delta p}. \quad (3.13)$$

Полученные значения $A_{\Delta \min p}$ и $A_{\Delta \max p}$ сравнивают с заданными пределами изменения замыкающего звена, при этом должны соблюдаться следующие условия:

$$A_{\Delta \min p} \geq A_{\Delta \min n}, \quad (3.14)$$

$$A_{\Delta \max p} \leq A_{\Delta \max n}. \quad (3.15)$$

Если условия 3.14 и 3.15 не выполняются при первоначальном расчете размерных цепей, то рекомендуется изменить ранее принятые поля допусков (выбрать из ГОСТ 6449.1–82 другие предельные отклонения) для одного или нескольких составляющих звеньев размерной цепи. При этом может оказаться целесообразным изменение номинальных размеров нескольких звеньев размерной цепи при обязательном соблюдении условия замкнутости размерного контура по формуле (3.4).

Примеры решения прямых задач с помощью размерных цепей

Решить прямые задачи с помощью размерных цепей A , B и B , схемы которых представлены на рисунке 3.2, по заданным параметрам их замыкающих звеньев, и номинальным размерам некоторых составляющих звеньев (кроме одного):

1) $A_{\Delta} = (834 \pm 0,80)$ мм, при риске $P = 0,27\%$; номинальные размеры составляющих звеньев (кроме звена A_2): $A_1 = A_3 = 16$ мм (рис. 3.2, а);

2) $B_{\Delta} = (2 \pm 0,75)$ мм, при риске $P = 3\%$; номинальные размеры составляющих звеньев (кроме звена B_3), мм: $B_1 = 16$; $B_2 = 8$; $B_4 = 750$; $B_5 = 750$ (рис. 3.2, б);

3) $B_{\Delta} = (1,1 - 3,1)$ мм, при риске $P = 0,27\%$; заданное поле допуска составляющего звена $B_1 - 10h13$; номинальные размеры составляющих звеньев (кроме звена B_5), мм: $B_2 = 400$; $B_3 = 410$; $B_4 = 20$ – размер координирующий (рис. 3.2, в).

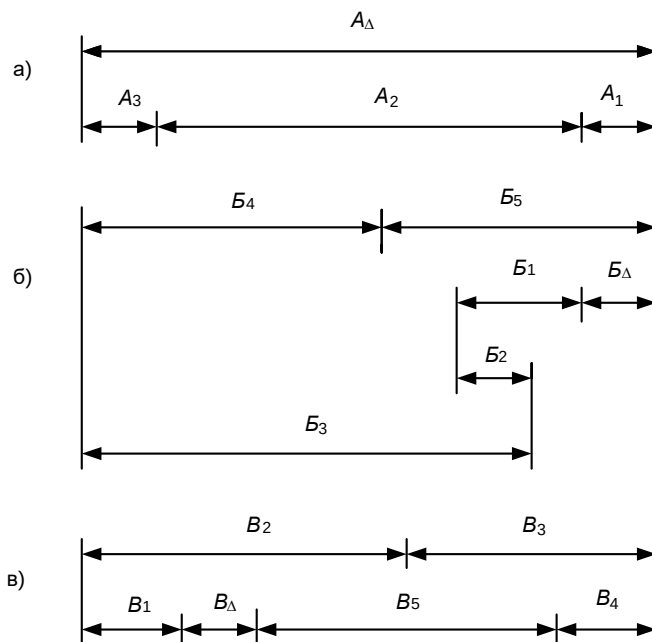


Рисунок 3.2. Схемы размерных цепей:

а – цепь A ; б – цепь B ; в – цепь B

Расчет размерных цепей рекомендуется выполнять в табличной форме, которая весьма наглядна и компактна (табл. 3.3). Таблица состоит из 9 граф,

содержание которых приведено в их заголовках. Последовательность решения задач (заполнение таблицы 3.3):

Заполнение граф 1 и 2 не требует пояснений.

В графе 3 указывают для увеличивающих составляющих звеньев $+1$; для уменьшающих -1 .

В графу 4 записывают значения номинальных размеров всех составляющих звеньев (кроме одного), а также замыкающих звеньев всех размерных цепей. Для цепей A и B номинальные размеры замыкающих звеньев заданы непосредственно (см. условия задач). Номинальный размер замыкающего звена размерной цепи B рассчитывают по ее заданным наименьшим и наибольшим значениям, как среднее значение этого звена (см. п. 2 настоящей методики) – $B_{\Delta} = (1,1 + 3,1)/2 = 2,1$ мм.

Не заданные в условиях задач номинальные размеры составляющих звеньев (A_2 – размерной цепи A ; B_3 – размерной цепи B ; B_5 – размерной цепи B) рассчитывают, с учетом замкнутости размерного контура каждой размерной цепи, по формуле (3.4).

В графе 5 для всех размеров (кроме координирующих) указывают симметричные поля допусков j_s и номер качества по ГОСТ 6449.1–82; а для координирующих размеров проставляют тире (–).

В графу 6 записывают предельные отклонения всех звеньев размерной цепи. При этом сначала следует в графе 7 указать значения допусков по качествам ГОСТ 6449.1–82, а затем рассчитать симметричные предельные отклонения (j_s), как $\pm$ половина допуска, указанного в приложении 2 к данному учебному пособию.

Примечание. Указанные в графе 7 таблицы 3.3 допуски всех составляющих звеньев каждой размерной цепи подобраны (номера качеств и допуски координирующих размеров) таким образом, чтобы рассчитанные по формуле (3.6) допуски замыкающих звеньев не превышали заданных значений.

Координаты середины полей допусков (гр. 8) всех звеньев размерных цепей A , B и B (кроме звеньев B_1 и B_{Δ}) равны «нулю», так как предельные отклонения у этих звеньев симметричные относительно их номинальных размеров. Координаты середины полей допусков звеньев B_1 и B_{Δ} рассчитаны по формулам (3.8) и (3.9).

Расчетные предельные размеры замыкающего звена размерной цепи B : наименьшее значение ($B_{\Delta \min p} = 2 - 0,84 = 1,16$ мм) $>$ ($B_{\Delta \min n} = 1,10$ мм); наибольшее значение ($B_{\Delta \max p} = 2 + 1,06 = 3,06$ мм) $<$ ($B_{\Delta \max n} = 3,10$ мм). Следовательно, условия правильности решения размерной цепи B (3.14) и (3.15) выполнены.

В гр. 9 указаны методы достижения заданной точности замыкающих звеньев размерных цепей. При этом приняты следующие условные обозначения:

НВ – метод неполной взаимозаменяемости (метод достижения заданной точности замыкающего звена размерной цепи – согласно условию заданий);

$\lambda = 1/3$ предполагается нормальный закон распределения отклонений составляющих звеньев размерных цепей (закон Гаусса);

P – заданный по условию задачи процент риска;

t_{Δ} – коэффициент риска, выбираемый из таблице 3.2 в зависимости от заданного процента риска.

Правильность решения прямых задач с помощью размерных цепей A , B и B подтверждается данными, указанными в таблице 3.4.

Таблица 3.3. Результаты расчета размерных цепей

Размерная цепь	Звено	Передаточное отношение	Номинальный размер, мм	Поле допуска по ГОСТ 6449.1-82	Предельные отклонения, мм	Допуск, мм	Координата середины поля допуска, мм	Метод достижения заданной точности замыкающего звена
1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	A ₁	+1	16	j _s 14	±0,21	0,43	0	НВ: λ = 1/3 P = 0,27 % t _Δ = 3
	A ₂	+1	802	j _s 13	±0,70	1,40	0	
	A ₃	+1	16	j _s 14	±0,21	0,43	0	
	A _Δ		834		±0,76	1,52	0	
B	B ₁	-1	16	j _s 13	±0,21	0,43	0	НВ: λ = 1/3 P = 3 % t _Δ = 2,17
	B ₂	+1	8	—	±0,20	0,40	0	
	B ₃	-1	1310	—	±0,50	1,00	0	
	B ₄	+1	750	j _s 13	±0,62	1,25	0	
	B ₅	+1	570	j _s 13	±0,55	1,10	0	
	B _Δ		2		±0,72	1,44	0	
B	B ₁	-1	10	h13	0 -0,22	0,22	-0,11	НВ: λ = 1/3 P = 0,27 % t _Δ = 3
	B ₂	+1	400	j _s 13	±	0,89	0	
	B ₃	+1	410	j _s 13	±	0,97	0	
	B ₄	-1	20	—	±	0,50	0	
	B ₅	-1	778	j _s 13	±	1,25	0	
	B _Δ		2		+1,06 -0,84	1,90	+0,11	

Таблица 3.4. Оценка правильности решения размерных цепей

Размерная цепь	Параметры замыкающего звена, мм		Соотношение между расчетным и заданным значением допусков замыкающего звена
	нормативные (заданные)	расчетные	
A	A _{Δн} = 834 ±0,80, при P = 0,27 %; δ _{AΔн} = 1,60	A _{Δр} = 834 ±0,76, При P = 0,27 % δ _{AΔр} = 1,52	δ _{AΔр} = 0,95 δ _{AΔн}
B	B _{Δн} = 2 ±0,75 при P = 3 % δ _{BΔн} = 1,50	B _{Δр} = 2 ±0,72 при P = 3 % δ _{BΔр} = 1,44	δ _{BΔр} = 0,96 δ _{BΔн}
B	B _{Δн} = 1,1 – 3,1 при P = 0,27 %; δ _{BΔн} = 2,00	B _{Δр} = 1,16 – 3,06 при P = 0,27 %; δ _{BΔр} = 1,90	δ _{BΔр} = 0,95 δ _{BΔн}

3.5. Методика выбора допусков формы, ориентации, месторасположения и биения

3.5.1. Общие сведения

В подразделе 3.1 настоящего учебного пособия приведены общие методические положения по выбору допусков при конструировании изделий путем проведения размерного анализа. В результате проведения размерного анализа изделия в целом, для каждой его составной части (детали и неразборной сборочной единицы, далее – детали) должны быть обоснованно установлены номинальные значения и предельные отклонения линейных и угловых размеров, а также (при необходимости) соответствующие допуски формы, ориентации, месторасположения и биения элементов.

Формы и конструкции различных деталей обычно образуются расположенными в определенном порядке друг относительно друга поверхностями, которые могут быть у конкретной детали плоскими и (или) профильными. Кроме этого, в зависимости от функционального назначения в составных частях изделий предусматривают различные конструктивные элементы (отверстия, гнезда, шипы, пазы и т. п.), которые должны занимать определенное положение относительно базовых элементов детали или друг относительно друга.

В подразделах 3.3 и 3.4 приведены методики установления номинальных значений и допусков (предельных отклонений) линейных размеров, образующих посадки или входящих в размерные цепи.

В подразделе 2.4 настоящего учебного пособия приведена классификация допусков формы, ориентации, месторасположения и биения (табл. 2.2), а также основные термины и определения, относящиеся к отдельным видам допусков.

Геометрические допуски следует устанавливать в соответствии с функциональными требованиями, предъявляемыми к изделию. При этом необходимо также принимать во внимание требования к изготовлению и контролю изделий [26].

Из указанных в таблице 2.2 видов допусков по ГОСТ Р 53442–2009 для нормирования геометрической точности составных частей изделий из древесины и древесных материалов, а также применяемого дереворежущего инструмента наиболее актуальными являются следующие:

- допуски формы – прямолинейности и плоскостности;
- допуски ориентации – параллельности, перпендикулярности и наклона;
- допуски месторасположения – позиционные.

Примечания.

1. Допуски concentричности, соосности и симметричности могут иметь весьма ограниченное практическое применение для деревянных деталей, однако их применение актуально для нормирования геометрической точности различной фурнитуры (петель; деталей мебельных стяжек; запорных устройств оконных блоков и т. п.); деталей деревообрабатывающего оборудования и режущего инструмента и т. п.

2. Допуски биения (радиального и торцового) весьма актуальны для нормирования геометрической точности вращающегося дереворежущего инструмента.

Относящиеся к трем группам допусков (табл. 2.2) допуски формы заданного профиля и формы заданной поверхности актуальны для деталей криволинейных форм (например, задних ножек стульев и т. п.), а также для проектирования и изготовления инструмента для формирования профильных поверхностей на заготовках из древесины и древесных материалов (см. подраздел 4.5 настоящего учебного пособия).

Допуски биения (радиального, торцового, полного радиального и полного торцового биения) устанавливают в технических условиях на соответствующие виды продукции: дереворежущий инструмент (круглые пилы, фрезы и т. п.); вращающиеся составные части оборудования (шпиндели станков, шкивы приводов и т. п.). В обоснованных случаях допуски биения могут устанавливаться и для деталей из древесины и древесных материалов цилиндрической формы.

В процессе изучения данной дисциплины студент должен освоить терминологию по вышеуказанным видам допусков формы, ориентации, месторасположения и биения. Более глубокие практические знания учащийся должен получить в процессе изучения дисциплины «Конструирование изделий из древесины».

Ниже (в пп. 3.5.2–3.5.5) приведены общие методические рекомендации по выбору геометрических допусков, входящих в определенные группы (табл. 2.2).

3.5.2. Выбор допусков формы

Виды допусков формы приведены в таблице 2.2 (см. также п. 2.4.2).

Отклонения формы номинально плоских поверхностей могут ограничиваться: 1) допуском плоскостности – при необходимости ограничить отклонения формы всей поверхности или ее участка; 2) допуском прямолинейности – если достаточно ограничить отклонения в сечении поверхности заданного или любого направления. Наиболее определенно отклонения формы любых плоских поверхностей деталей могут быть ограничены допусками плоскостности. Однако нормирование этих допусков не всегда оправдано по конструктивным и технологическим соображениям, а их контроль связан с определенными трудностями.

Поэтому допуски плоскостности рекомендуется нормировать прежде всего в тех случаях, когда отклонения формы поверхности не могут быть достаточно определенно ограничены допусками прямолинейности, как, например, для рамочных элементов изделий (оконных створок и т. п.).

В общем случае допуски формы поверхностей рекомендуется выбирать с учетом следующих соображений [27; 30]:

- для жестких (особенно являющихся конструкторскими базами изделия, см. подраздел 3.2) поверхностей допуск плоскостности или прямолинейности должен составлять примерно 40–60 % от допуска размера, координирующего данную поверхность. Например: допуск плоскостности граней шипа должен быть меньше допуска на толщину шипа; допуск прямолинейности кромки оконной створки должен быть меньше допуска на ширину или длину створки; допуск прямолинейности кромок мебельного щита должен быть меньше допуска на ширину или длину щита и т. п.;

- допуски плоскостности и прямолинейности пластей деталей средней жесткости (например: стенок, полок и т. п. изделий мебели; створок оконных блоков и т. п.) должны быть больше допуска на толщину этих деталей;
- допуски плоскостности и прямолинейности для деталей малой жесткости рекомендуется не устанавливать (например: для задних стенок изделий мебели из ДВП или фанеры, наличников и т. п.);
- если для плоского элемента назначается допуск ориентации (параллельности, перпендикулярности, наклона и др.), то допуск формы данного элемента должен быть не более допуска ориентации.
- числовые значения допусков параллельности и прямолинейности рекомендуется назначать по степеням точности ГОСТ 6449.3–82 (см. приложение 9 к настоящему учебному пособию).

Отклонения формы цилиндрических поверхностей могут быть ограничены допусками: круглости; цилиндричности; прямолинейности образующей. Для любых цилиндрических поверхностей допуск круглости не должен превышать допуска диаметра в любом поперечном сечении детали, а допуск цилиндричности – на длине нормируемого участка.

Числовые значения допусков цилиндричности и круглости рекомендуется назначать по степеням точности ГОСТ 6449.3–82 (см. приложение 10).

3.5.3. Выбор допусков ориентации

Виды допусков ориентации, установленные ГОСТ Р 53442–2009, приведены в таблице 2.2 и рассмотрены в п. 2.4.3 настоящего учебного пособия.

Допусками ориентации ограничивают погрешности расположения рассматриваемого элемента (плоскости и др.) относительно базового элемента (плоскости и др.).

Теоретически точная (номинальная) ориентация рассматриваемого элемента относительно базового элемента может быть параллельной (под углом 0 или 180°), перпендикулярной (под углом 90°) или с наклоном (под любым углом кроме 0, 90 и 180°). В соответствии с этим, погрешности ориентации элементов ограничивают допуском параллельности, перпендикулярности или наклона.

Допуск параллельности ограничивается полем допуска линейного размера между рассматриваемым и базовым элементами детали, а поэтому его назначают только в тех случаях, когда он должен быть меньше допуска размера; обычно его принимают равным от 40 до 60 % от допуска размера.

Отклонения от перпендикулярности и наклона непосредственно полями допусков размеров не ограничиваются, поэтому их рекомендуется ограничивать соответствующими допусками. Числовые значения этих допусков рекомендуется назначать по степеням точности ГОСТ 6449.1–82 (см. приложение 11).

Нормирование допусков ориентации в линейных единицах (мм) имеет определенные преимущества по сравнению с нормированием допусков углов в угловых единицах (градусах, минутах, секундах) по ГОСТ 6449.2–82 (см. подраздел 2.3). Связь между этими способами нормирования точности угловых размеров выражается формулой (2.2) (см. подраздел 2).

При конструировании изделий конструктору удобнее устанавливать допуски ориентации в мм по степеням точности ГОСТ 6449.3–82, чем угловые допуски по ГОСТ 6449.2–82 в угловых единицах. Кроме этого, для первого случая нормирования допусков (по степеням точности) для конкретных видов изделий могут быть разработаны соответствующие рекомендации (см. [34]).

3.5.4. Выбор допусков месторасположения

На практике часто встречаются детали с повторяющимися одинаковыми или различными элементами, например, с отверстиями под крепежные детали (болты, шурупы, круглые шипы и т. п.). Точность расположения таких элементов рекомендуется нормировать позиционными допусками. Поле позиционного допуска оси в пространстве представляет собой область, ограниченную цилиндром, диаметр которого равен позиционному допуску в диаметральном выражении, а ось совпадает с номинальным расположением рассматриваемой оси (табл. 2.4).

Вопросы нормирования точности расположения осей отверстий для крепежных деталей позиционными допусками осей рассмотрены в подразделе 2.4.8 настоящего учебного пособия.

В конструкциях различных деталей и сборочных единиц иногда встречаются две или несколько поверхностей вращения, оси которых номинально должны совпадать. Различают *смежное* (например: ступенчатое отверстие; ступенчатый вал), *вписанное* (например: втулка; кольцо и т. п.) и *разнесенное* (когда соосные поверхности расположены на некотором расстоянии друг от друга вдоль оси) расположения соосных поверхностей.

Отклонения от соосности определяются относительно базовой оси, за которую в зависимости от условий базирования детали при сборке может быть принята: ось базовой поверхности, по которой осуществляется базирование детали при сборке, например, ось наружной поверхности втулки, запрессованной в отверстие детали; общая ось двух или нескольких поверхностей при их смежном или разнесенном базировании, когда ни одна из соосных поверхностей не является базовой (табл. 2.5).

Допусками симметричности ограничивают отклонения между номинально совпадающими плоскостями симметрии [26; 29]. В качестве базы при нормировании допусков симметричности может быть принята плоскость симметрии одного (базового) элемента или общая плоскость симметрии двух или нескольких элементов (табл. 2.5).

3.5.5. Выбор допусков формы заданного профиля

Основные термины и определения по допускам формы заданного профиля и допускам формы заданной поверхности расположения приведены в п. 2.4.6 (см. также приложение 14).

Геометрическую точность профилей и поверхностей сложной формы (криволинейных или состоящих из нескольких простых элементов) нормируют одним из следующих двух способов:

- допуском формы заданного профиля или заданной поверхности;
- предельными отклонениями координат отдельных точек профиля (или поверхности).

В первом способе профиль задают на чертеже: координатами точек относительно комплекта баз (*A* и *B*) и допуском формы заданного профиля (рис. 3.3, *a*) или размерами (например, радиусами кривизны) и взаимным расположением отдельных составляющих элементов и допуском формы заданного профиля (рис. 3.3, *б*) [27].

Точки криволинейного участка профиля детали выбирают через определенный интервал, отсчитываемый от базы (на рис. 3.3, *a* интервал равен 7 мм и отсчитывается от базы *B*). Значение интервала выбирают таким, чтобы точки профиля однозначно определяли его номинальную геометрическую форму с учетом характера кривизны этого профиля.

Отклонения формы заданного профиля (или поверхности) оцениваются от номинального профиля (или поверхности). Поле допуска формы при данном способе нормирования всегда располагается симметрично относительно номинального профиля, а его ширина (допуск) отсчитывается по нормали к номинальному профилю (табл. 2.7).

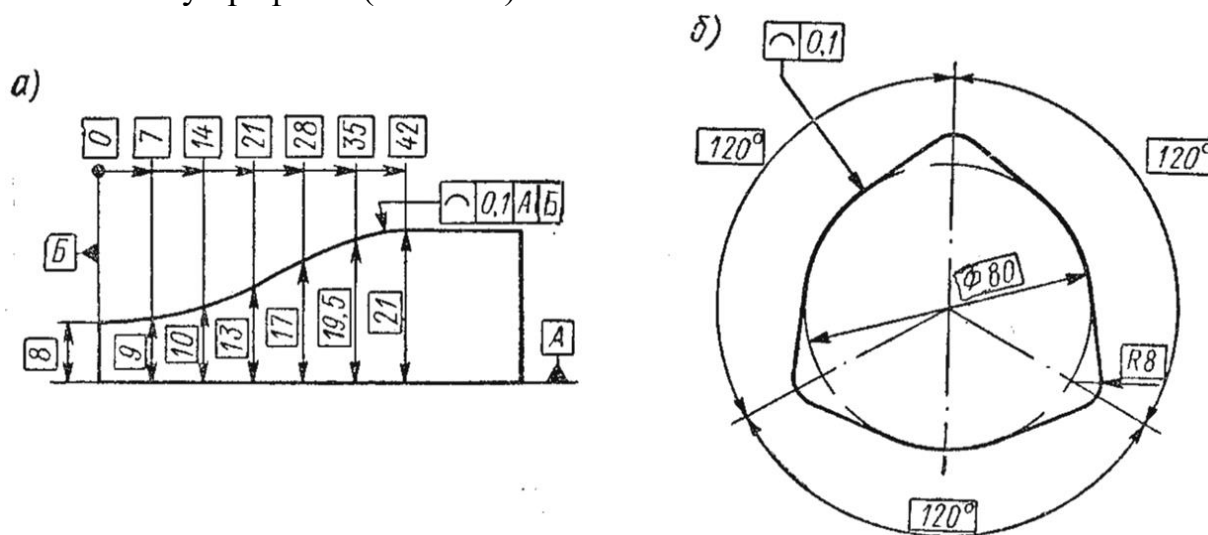


Рисунок 3.3. Нормирование точности криволинейных профилей допуском формы заданного профиля, при задании профиля:
a – координатами его точек; *б* – размерами составляющих элементов и их взаимным расположением

Нормирование криволинейного профиля предельными отклонениями координат его точек отличается от приведенного на рис. 3.1, *a* тем, что у номинальных размеров координат точек указывают их предельные отклонения (без рамок).

Примечание.

Примеры нормирования допусков формы заданного профиля приведены в подразделе 4.5 «Калибры профильные». На рисунке 4.23 показан вариант нормирования допусков формы заданного профиля для криволинейной детали, а на рисунке 4.24 – примеры нормирования допусков формы заданного профиля для профильных калибров, предназначенных для контроля допусков формы заданного профиля детали.

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ

4.1. Основные положения

Процесс производства изделия на предприятии должен быть организован так, чтобы фактические погрешности геометрических параметров его составных частей (деталей и сборочных единиц) не превышали значений допусков, указанных в конструкторской документации изделия.

Для обеспечения допусков при изготовлении конкретного изделия необходимо выполнить определенный комплекс мероприятий на стадии технологической подготовки производства и в процессе непосредственного изготовления изделия.

На стадии технологической подготовки производства осуществляют:

- анализ рабочей конструкторской документации на изделие и предъявляемых к нему технических требований;
- анализ предполагаемых показателей точности и стабильности технологических операций при изготовлении изделий;
- мероприятия по метрологическому обеспечению производства.

В результате анализа рабочей конструкторской документации на изделие устанавливают обоснованность установленных в ней требований к точности изготовления составных частей изделия с учетом рекомендаций, приведенных в разделе 3 настоящего учебного пособия.

Оценку предполагаемых показателей точности и стабильности технологических операций выполняют с целью установления возможности обеспечения заданной точности изготовления составных частей изделия с использованием имеющегося на предприятии оборудования. Методика экспериментального определения точности линейных размеров партии деталей, изготовленных на станке, приведена в лабораторном практикуме [35]. Оценку предполагаемой точности определяют по значению коэффициента запаса точности K_T .

Мероприятиями по метрологическому обеспечению производства должны быть предусмотрены методы и средства контроля всех видов геометрических параметров составных частей намечаемого к выпуску изделия (см. подраздел 4.2–4.5).

Для обеспечения допусков в производстве изделий осуществляют:

- контроль точности настройки оборудования (см. подраздел 4.6);
- контроль качества заготовок и температурно-влажностных параметров в производственных помещениях (см. подраздел 4.7).

4.2. Средства измерений и контроля линейных размеров

4.2.1. Меры длины концевые плоскопараллельные

Меры длины концевые плоскопараллельные предназначены для использования в качестве:

– рабочих мер для регулировки и настройки показывающих измерительных приборов и для непосредственного измерения линейных размеров промышленных изделий;

– образцовых мер для передачи размера единицы длины от первичного эталона концевым мерам меньшей точности и для поверки и градуировки измерительных приборов.

Меры длины имеют форму прямоугольного параллелепипеда с двумя плоскими отполированными взаимно параллельными поверхностями, расстояние между которыми называется длиной меры. Меры изготавливают по ГОСТ 9038–90 из хромистых сталей марок 20ХГ, ХГ, ШХ-15 и Х и из твердого сплава (ВК6М). Номинальные значения длины концевых мер и их градации, мм (ГОСТ 9038–90) приведены в таблице 4.1.

Длина концевой меры (в любой точке) – длина перпендикуляра, опущенного из данной точки измерительной поверхности концевой меры на ее противоположную измерительную поверхность.

Концевые меры изготавливают следующих классов точности: 0; 1; 2 и 3. Кроме этого, для рабочих мер, находящихся в эксплуатации, дополнительно установлены 4-й и 5-й классы точности.

Таблица 4.1. Номинальные значения длины концевых мер

Номинальные значения длины концевых мер	Градация концевых мер	Номинальные значения длины концевых мер	Градация концевых мер
1,005	–	От 9,9 до 10,1	0,01
От 0,99 до 1,01	0,001	От 0,1 до 3	0,1
От 1,99 до 2,01		От 0,5 до 25	0,5
От 0,99 до 10,01		От 1 до 25	1
От 0,40 до 0,41	0,005	От 10 до 100	10
От 0,1 до 0,7	0,01	От 25 до 200	25
От 0,9 до 1,5		От 50 до 300	50
От 2 до 3		От 100 до 1000	100

Классы точности установлены по интервалам номинальных длин мер в зависимости от допускаемых отклонений от номинального размера длины меры и допускаемых отклонений от плоскопараллельности (см. фрагмент из ГОСТ 9038–90 в таблице 4.2).

Таблица 4.2. Классы точности концевых мер

Номинальные значения длины концевых мер, мм	Допускаемые отклонения											
	длины от номинального значения ±, мкм, для классов точности						от плоскопараллельности, мкм, для классов точности					
	00	01	0	1	2	3	00	01	0	1	2	3
До 0,29	–	–	–	0,20	0,40	0,80	–	–	–	0,16	0,30	0,30
Св. 0,29 до 0,9	–	–	0,12	0,20	0,40	0,80	–	–	0,10	0,16	0,30	0,30
Св. 0,9 до 10	0,06	0,20	0,12	0,20	0,40	0,80	0,05	0,05	0,10	0,16	0,30	0,30
Св. 10 до 25	0,07	0,30	0,14	0,30	0,60	1,20	0,05	0,05	0,10	0,16	0,30	0,30
Св. 25 до 50	0,10	0,40	0,20	0,40	0,80	1,60	0,06	0,06	0,10	0,18	0,30	0,30

Примечания

1. Концевые меры классов точности 00 и 01 изготавливают по согласованию между потребителем и изготовителем.

2. Отклонение от плоскопараллельности концевой меры длины – разность между наибольшей и наименьшей длинами данной меры.

Концевые меры длины поставляют потребителям наборами или отдельными мерами и комплектами наборов. ГОСТ 9038–90 установлено 19 наборов мер; количество мер в одном наборе – от 2 до 112 шт. При этом в каждый набор включены меры различных классов точности. Класс точности набора определяется низшим классом отдельной меры, входящей в набор.

Измерительные поверхности мер должны обладать свойством притираемости, обеспечивающим прочное сцепление концевых мер между собой, а также с плоской металлической, стеклянной пластинами при прикладывании или надвигании одной концевой меры на другую или концевой меры на пластину. Притираемость характеризуется усилием сдвига, которое должно составлять для стальных мер длиной от 0,6 до 100 мм – от 29,4 до 78,5 Н.

Поверка (аттестация) мер длины осуществляется в соответствии с Методическими указаниями (МИ 1604–87) с присвоением соответствующего разряда. Установлено 5 разрядов мер – 1; 2; 3; 4 и 5 в зависимости от допускаемой погрешности измерения длины меры при ее аттестации и допускаемого отклонения от плоскопараллельности (табл. 4.3).

Таблица 4.3 Разряды концевых мер

Номинальные значения длины концевых мер, мм	Пределы допускаемых погрешностей измерения длины, мкм, ± для разрядов мер					Допускаемые отклонения от плоскопараллельности, мкм, для разрядов мер				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
До 10	0,02	0,06	0,11	0,25	0,60	0,09	0,09	0,10	0,30	0,60
Св. 10 до 25	0,02	0,06	0,12	0,25	0,60	0,10	0,10	0,16	0,30	0,60
Св. 25 до 50	0,03	0,08	0,15	0,30	0,80	0,10	0,10	0,18	0,30	0,60

В качестве средств измерения при проведении аттестации мер применяют интерферометры, оптиметры и др. (МИ 1604–87).

В аттестате каждой меры указываются действительные отклонения от нанесенного на ней номинального размера. Поэтому при пользовании концевыми мерами, которые имеют разряд, размер берут не только по номинальному значению, но и учитывают действительное отклонение, приведенное в аттестате. Используя свойство притираемости, меры можно собирать в различные блоки. Блок следует составлять из возможно меньшего количества мер. Для закрепления блоков мер и удобного пользования при наружных и внутренних измерениях выпускаются наборы специальных принадлежностей к плоскопараллельным мерам [36].

Аттестованные концевые меры длины являются рабочими эталонами соответствующих разрядов.

4.2.2. Микрометры

По ГОСТ 6507–90 микрометры изготавливают следующих типов:

МК – гладкие для измерения наружных размеров изделий (рис. 4.1);

МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент (рис. 4.2);

МТ – трубные для измерения толщины стенок труб (рис. 4.3);

МГ – микрометрические головки для измерения перемещения (рис. 4.4);

МЗ – зубомерные для измерения длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм и более;

МП – микрометры для измерения толщины проволоки (рис. 4.5).

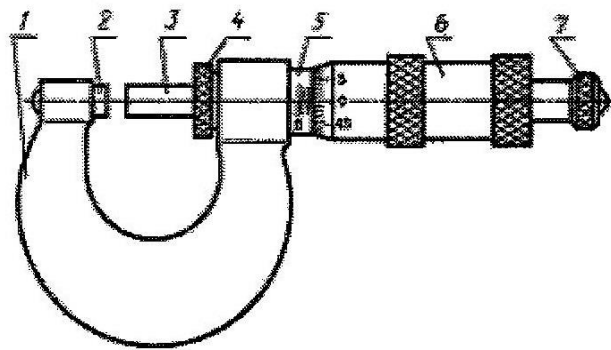


Рисунок 4.1. Микрометр гладкий типа МК:

1 – скоба; 2 – пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стопор;
5 – стержень; 6 – барабан; 7 – трещотка

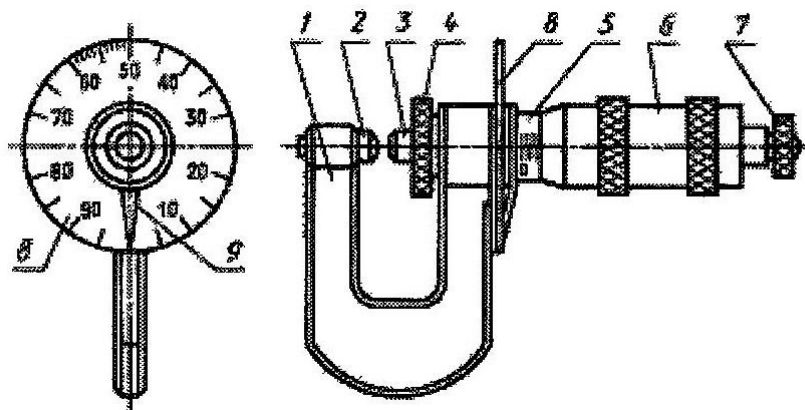


Рисунок 4.2. Микрометр типа МЛ:

1 – скоба; 2 – пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стопор; 5 – стержень;
6 – барабан; 7 – трещотка; 8 – циферблат; 9 – стрелка

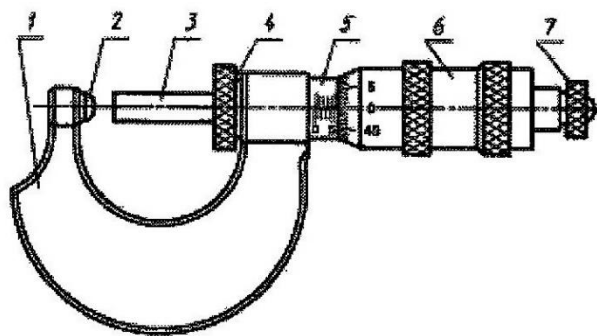


Рисунок 4.3. Микрометр типа МТ:
1 – скоба; 2 – пятка; 3 – микрометрический винт; 4 – стопор
5 – стебель; 6 – барабан; 7 – трещотка

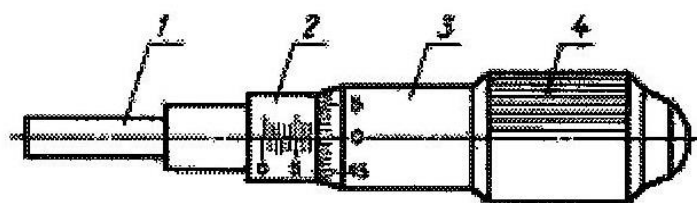


Рисунок 4.4. Микрометрическая головка типа МГ:
1 – микрометрический винт; 2 – стебель;
3 – барабан; 4 – трещотка

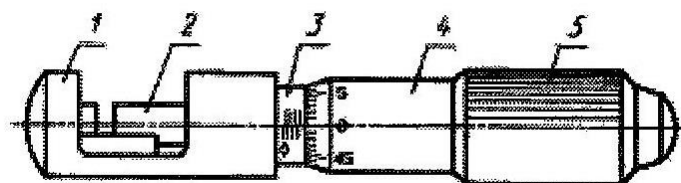


Рисунок 4.5. Микрометр типа МП:
1 – корпус; 2 – микрометрический винт; 3 – стебель;
4 – барабан; 5 – трещотка

Микрометры изготавливают:

- с ценой деления 0,01 мм – для всех диапазонов измерений, при отсчете показаний по шкалам стебля и барабана (рис. 4.1–4.5);
- со значением отсчета по нониусу 0,001 мм – для диапазонов измерения от 0 до 300 мм, при отсчете показаний по шкале стебля и барабана с нониусом (рис. 4.6);
- с шагом дискретности 0,001 мм – для диапазонов измерений от 0 до 100 мм, при отсчете показаний по электронному отсчетному устройству и шкалам стебля и барабана (рис. 4.7).

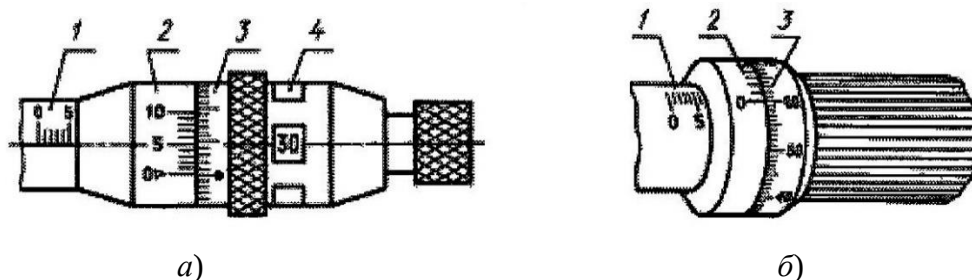


Рисунок 4.6. Микрометры с отсчетом показаний по шкалам стебля и барабана с нониусом: *а* – с цифровым отсчетным устройством; *б* – без цифрового отсчетного устройства;
1 – стебель; 2 – нониус; 3 – барабан; 4 – цифровое отсчетное устройство

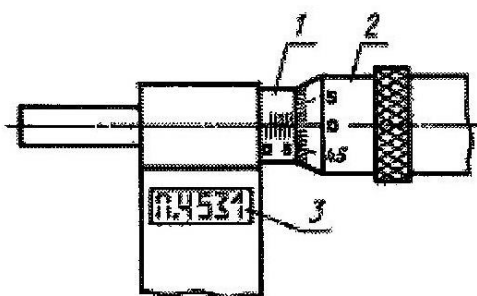


Рисунок 4.7. Микрометры с отсчетом по электронному цифровому отсчетному устройству и шкалам стебля и барабана:
1 – стебель; 2 – барабан; 3 – электронное цифровое отсчетное устройство

Основные параметры, размеры и классы точности микрометров типа МК, мм, приведены в таблице 4.4.

Предел допускаемой погрешности микрометра типа МК в любой точке диапазона измерений при нормируемом измерительном усилии (не менее 5 и не более 10 Н) и температуре, а также допускаемое изменение показаний микрометра от изгиба скобы при усилии 10 Н, направленном по оси винта, должны соответствовать установленным в таблице 4.5.

Таблица 4.4. Основные параметры, размеры и классы точности микрометров

Диапазон измерений микрометра с отсчетом показаний				
по шкалам стебля и барабана классов точности		по шкалам стебля и барабана с нониусом	по электронному цифровому устройству классов точности	
1	2		1	2
0–25; 25–50; 50–75; 75–100				
100–125; 125–150; 150–175; 175–200; 200–225; 225–250; 250–275; 275–300			—	
300–400; 400–500; 500–600		—		

Примечания

- Шаг микрометрического винта 0,5 мм.
- Измерительное перемещение микровинта 25 мм.

Таблица 4.5. Предел допускаемой погрешности микрометра

Верхний предел измерений микрометра, мм	Предел допускаемой погрешности микрометра с отсчетом показаний, мкм					Допускаемое изменение показаний микрометра от изгиба шкалы при усилии 10 Н			
	по шкалам стебля и барабана классов точности		по шкалам стебля и барабана с нониусом	по электронному цифровому устройству классов точности					
	1	2		1	2				
25	±2,0	±4,0	±2,0	±2,0	±4,0	2,0			
50	±2,5					±3,0	±3,0	—	3,0
75									
100									
125; 150	±3,0	±5,0	±4,0	—		4,0			
175; 200							5,0		
225; 250 275; 300	±4,0	±6,0	±4,0			6,0			
400	±5,0	±8,0	—			8,0			
500						10,0			
600						±6,0	±10,0	12,0	

Микрометрические головки для измерения перемещения типа МГ изготавливают с диапазонами измерения, мм: 0–15; 0–25; 0–50.

Пример условного обозначения гладкого микрометра с диапазоном измерения 25–50 мм 1-го класса точности:

Микрометр МК50–I ГОСТ 6507–90

То же, микрометрической головки с нониусом с диапазоном измерения 0–25 мм

Микрометр МГ Н25 ГОСТ 6507–90

То же, гладкого микрометра с электронным цифровым отсчетным устройством с диапазоном измерения 50–75 мм

Микрометр МК Ц75 ГОСТ 6507–90

В комплект микрометра типа МК должны входить установочные меры (для микрометра с верхним пределом измерения 50 мм и более) и соединительные гильзы (для микрометра с верхним пределом измерения более 300 мм). Измерительные поверхности установочных мер длиной до 300 мм должны быть плоскими, а более 300 мм – сферическими.

4.2.3. Штангенциркули

Для измерений линейных размеров деталей применяют штангенциркули по ГОСТ 166–89 (ИСО 3599–76) следующих типов:

I – двухсторонние с глубиномером (рис. 4.8); Т-1 – односторонние с глубиномером с измерительными поверхностями из твердых сплавов;

II – двухсторонние (рис. 4.9);

III – односторонние (рис. 4.10).

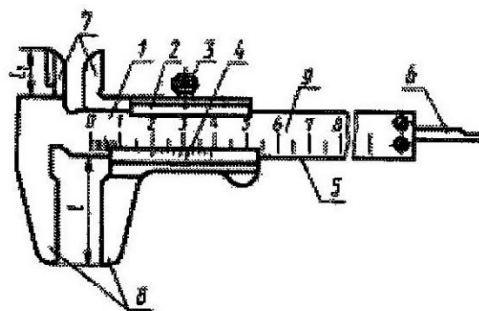


Рисунок 4.8. Штангенциркуль типа ШЦ-I:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – глубиномер; 7 – губки с кромочными измерительными поверхностями для измерения внутренних размеров; 8 – губки с плоскими измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 9 – шкала штанги

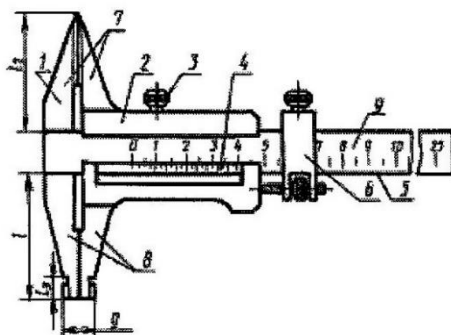


Рисунок 4.9. Штангенциркуль типа ШЦ-II:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – устройство точной установки рамки; 7 – губки с кромочными измерительными поверхностями для измерения наружных размеров; 8 – губки с плоскими и цилиндрическими измерительными элементами для измерения наружных и внутренних размеров соответственно; 9 – шкала штанги

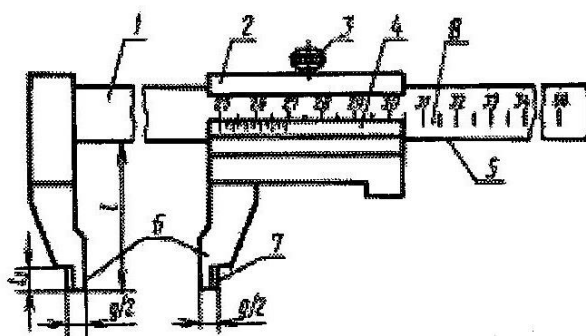


Рисунок 4.10. Штангенциркуль типа ШЦ-III:

1 – штанга; 2 – рамка; 3 – зажимающий элемент; 4 – нониус; 5 – рабочая поверхность штанги; 6 – плоские измерительные поверхности губок для измерения наружных размеров; 7 – цилиндрические измерительные поверхности губок для измерения внутренних размеров; 8 – шкала штанги

Штангенциркули изготавливают с отсчетом по нониусу (ШЦ, рис. 4.8–4.10), или с отсчетом по круговой шкале (ШЦК, рис. 4.11, *а*), или с цифровым отсчетным устройством (ШЦЦ, рис. 4.11, *б*).

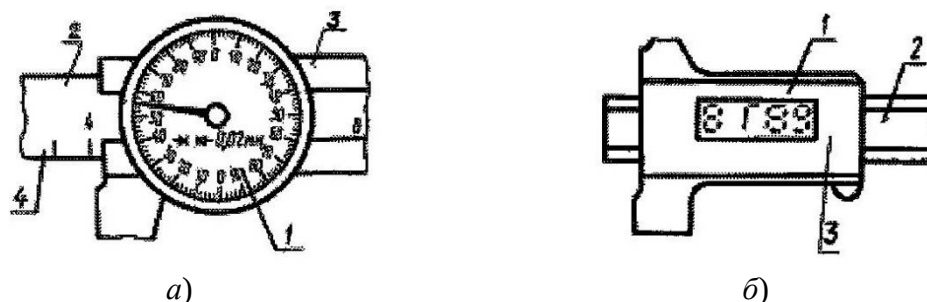


Рисунок 4.11. Отсчет показаний штангенциркулей:

а) с круговой шкалой: 1 – круговая шкала; 2 – штанга; 3 – рамка; 4 – шкала штанги; *б*) с цифровым отсчетным устройством: 1 – цифровое отсчетное устройство; 2 – штанга; 3 – рамка

Диапазон измерений, значения отсчета по нониусу, цена деления круговой шкалы и шаг дискретности цифрового дискретного устройства штангенциркулей, мм, приведены в таблице 4.6.

Штангенциркули типов II и III с губками для измерения внутренних размеров должны иметь цилиндрическую измерительную поверхность с радиусом не более половины суммарной толщины губок (не более $g/2$). Для штангенциркулей с пределом измерения до 400 мм размер g (рис. 4.9–4.10) не должен превышать 10 мм, а для штангенциркулей с верхним пределом измерения свыше 400 мм – 20 мм.

Таблица 4.6. Параметры цифрового дискретного устройства штангенциркулей

Диапазон измерения штангенциркулей	Значение отсчета по нониусу	Цена деления круговой шкалы отсчетного устройства	Шаг дискретности цифрового отсчетного устройства
0–125; 0–135; 0–150; 0–160; 0–200; 0–250; 0–300	0,05; 0,1	0,02; 0,05; 0,1	0,01
0–400; 0–500; 250–630; 250–800; 320–1000	0,05; 0,1	–	0,01
500–1250; 500–1600; 800–2000	0,1	–	–

Примечание.

Нижний предел измерений у штангенциркулей с верхним пределом до 400 мм установлен для измерения наружных размеров.

Примеры условного обозначения:

Штангенциркули типа II с диапазоном измерения 0–250 мм и значением отсчета по нониусу 0,05 мм:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89

То же, штангенциркули типа II с диапазоном измерения 250–630 мм и значением отсчета по нониусу 0,1 мм, класса точности 1:

Штангенциркуль ШЦ-II-250-630-0,1-1 ГОСТ 166-89

То же, штангенциркули типа I с диапазоном измерения 0–150 мм с ценой деления круговой шкалы 0,02 мм:

Штангенциркуль ШЦК-I-150-0,02 ГОСТ 166-89

То же, штангенциркули типа I с диапазоном измерения 0–125 мм с шагом дискретности цифрового отсчетного устройства 0,01 мм:

Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,01 ГОСТ 166-89

Предел допускаемой погрешности штангенциркулей при температуре окружающей среды (20 ± 5) °С должен соответствовать указанному в таблице 4.7.

Таблица 4.7. Предел допускаемой погрешности штангенциркулей

Измеряемая длина, мм	Предел допускаемой погрешности штангенциркулей (±), мм							
	при значении отсчета по нониусу			с ценой деления круговой шкалы отсчетного устройства			с шагом дискретности цифрового отсчетного устройства	
	0,05	0,1 для класса точности		0,02	0,05	0,1 для класса точности		0,01
		1	2			1	2	
До 100	0,05	0,05	0,10	0,03	0,04	0,05	0,08	0,03
Св. 100 до 200				0,04				
Св. 200 до 300								
Св. 300 до 400	0,05	0,10	0,10	—	—	—	—	0,04
Св. 400 до 600	0,10		—					0,05
Св. 600 до 800			—	—	—	—	—	0,06
Св. 800 до 1000			—					0,07
Св. 1000 до 1100	—	0,15	—	—	—	—	—	—
Св. 1100 до 1200		0,16						
Св. 1200 до 1300		0,17						
Св.1300 до 1400		0,18						
Св. 1400 до 1500		0,19						
Св. 1500 до 2000		0,20						

Усилие перемещения рамки по штанге штангенциркуля должно быть не более значений, указанных в таблице 4.8.

Таблица 4.8. Усилие перемещения рамки по штанге штангенциркуля

Верхний предел измерения штангенциркуля, мм, не более	125; 135; 150	250	400	2000
Усилие перемещения рамки, Н, не более	10; 15	15	20	30

Примеры практического использования штангенциркулей с величиной отсчета по нониусу 0,1 и 0,05 мм приведены в методических указаниях по выполнению лабораторных работ [31].

4.2.4. Нутромеры индикаторные

Индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 мм (ГОСТ 868–82) предназначены для измерения внутренних размеров от 6 до 1000 мм (рис. 4.12). Основные параметры индикаторных нутромеров указаны в таблице 4.9.

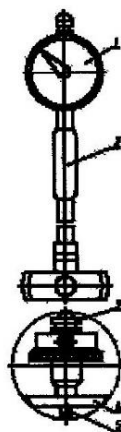


Рисунок 4.12. Нутромер индикаторный:

1 – индикатор; 2 – ручка; 3 – неподвижный измерительный стержень;
4 – центрирующий мостик; 5 – подвижный измерительный стержень

Таблица 4.9. Основные параметры индикаторных нутромеров

Диапазон измерений, мм	6–10	10–18	18–50	50–100	100–160	160–250	250–450	450–700
Наибольшая глубина измерения, мм	60, 100	130	150	300	300	400	500	–
Наименьшее перемещение измерительного стержня, мм	0,6	0,8	1,5	4,0			6,0	8,0
Измерительное усилие нутрометра, Н	2,5–4,5			4,0–7,0	5,0–9,0			
Усилие центрирующего мостика, Н	5,0–8,5			7,5–12,0	9,5–16,0			
Масса, кг, не более	0,2	0,3	0,4	0,6	1,2	1,5	1,8	3,0

Примечание. Параметры нутромеров с диапазоном измерений 700–1000 мм и 450–700 мм одинаковы.

Пример условного изображения индикаторного нутромера с диапазоном измерений 10–18 мм, класса точности 1

Нутромер НИ 10–18 – I ГОСТ 868–82

Размах показаний нутромеров не должен превышать 1/3 цены деления шкалы индикатора.

Примечание. Под размахом показаний понимают наибольшую разность между отдельными повторными показаниями нутромера, соответствующими одному и тому же действительному значению измеренной величины (из 10 измерений) при неизменных внешних условиях.

Погрешность нутромеров, включая погрешность индикатора, при температуре $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности до 80 % не должна превышать значений, указанных в таблице 4.10.

Таблица 4.10. Погрешность нутромеров

Диапазон измерений, мм	Предел допускаемой погрешности, мм					
	на любом участке диапазона измерений				при перемещении измерительного стержня на величину нормируемого наименьшего значения	
	0,1		1		Класс 1	Класс 2
	Класс 1	Класс 2	Класс 1	Класс 2		
6–10; 10–18	0,005	0,008	–	–	0,008	0,012
18–50			0,010	0,012	0,012	0,013
50–100; 100–160; 160–250	–	–			0,015	0,018
250–450; 450–700; 700–1500	–	–	–	0,014	–	0,022

Примечания.

1. За погрешность принимают сумму наибольших абсолютных значений положительных и отрицательных значений показаний на любом проверяемом участке диапазона измерений.

2. В комплект нутромеров должны входить:

- индикатор исполнения ИЧ класса точности 0 или 1 по ГОСТ 577;
- два набора сменных измерительных стержней для нутромеров с диапазоном измерений до 50 мм и один набор для нутромеров с диапазоном более 50 мм;
- инструмент для крепления и регулирования измерительных стержней.

4.2.5. Порядок выбора измерительных средств

Выбор контрольно-измерительных средств зависит от масштаба производства и других факторов. В опытном и мелкосерийном производствах применяют преимущественно универсальные измерительные средства. В крупносерийном и массовом производствах предпочтительно применять специализированные средства контроля и измерений.

Для контроля годности деталей (сборочных единиц) по геометрическим параметрам в условиях серийного и массового производства широко применяют различные калибры и шаблоны, которые позволяют установить, находятся ли

действительные значения геометрических параметров или их погрешности в пределах допуска.

Порядок выбора универсальных измерительных средств установлен руководящим нормативным документом РД 50-98-86 [29]. При выборе измерительного средства необходимо учитывать вид измеряемого линейного размера: наружный (вал); внутренний (отверстие); элемент, не относящийся к отверстиям и валам (глубина, высота уступов и т. п.); диапазон измерения; допускаемую погрешность измерения линейного размера $\delta_{\text{доп}}$, установленную ГОСТ 26214-84 [22] (см. табл. 4.11); предельную погрешность измерения $\delta_{\text{пр}}$ выбранным измерительным средством (см. табл. 4.12).

При выборе конкретного измерительного средства должно соблюдаться следующее условие:

$$\delta_{\text{пр}} \leq \delta_{\text{доп}}.$$

В качестве универсальных измерительных средств для линейных измерений в деревообработке применяют: меры длины концевые плоскопараллельные (ГОСТ 9038-90); микрометры гладкие (ГОСТ 6507-90); штангенциркули (ГОСТ 166-89; линейки измерительные металлические (ГОСТ 425-75); рулетки измерительные металлические (ГОСТ 7502-98) и др.

Таблица 4.11. Допускаемые погрешности измерения линейных размеров, мм, (ГОСТ 26214) [22]

Интервалы размеров, мм	Квалитеты по ГОСТ 6449.1-82					
	11-й	12-й	13-й	14-й	15-й	16-й
Св. 6 до 10	—	0,04	0,06	0,10	0,15	0,25
Св. 10 до 18	—	0,05	0,08	0,12	0,20	0,30
Св. 18 до 30	—	0,06	0,09	0,16	0,20	0,35
Св. 30 до 50	—	0,06	0,10	0,18	0,25	0,40
Св. 50 до 80	0,05	0,08	0,13	0,20	0,30	0,50
Св. 80 до 120	0,06	0,09	0,16	0,20	0,35	0,50
Св. 120 до 180	0,06	0,10	0,18	0,25	0,40	0,60
Св. 180 до 250	0,08	0,13	0,21	0,30	0,40	0,80
Св. 250 до 315	0,09	0,16	0,23	0,35	0,50	0,90
Св. 315 до 400	0,10	0,16	0,23	0,35	0,60	1,00
Св. 400 до 500	0,10	0,18	0,25	0,40	0,60	1,00
Св. 500 до 630	0,14	0,23	0,25	0,40	0,70	1,10
Св. 630 до 800	0,15	0,26	0,30	0,50	0,80	1,30
Св. 800 до 1000	0,18	0,30	0,35	0,60	0,90	1,40
Св. 1000 до 1250	0,20	0,35	0,45	0,70	1,00	1,70
Св. 1250 до 1600	0,25	0,40	0,50	0,80	1,30	2,10
Св. 1600 до 2000	0,30	0,50	0,60	1,00	1,60	2,50

Таблица 4.12. Предельные погрешности измерения линейных размеров универсальными измерительными средствами [29; 36]

Средства измерения	Предельные погрешности измерения, мм, для диапазона размеров, мм					
	до 50	св. 50 до 120	св. 120 до 250	св. 250 до 500	св. 500 до 1000	св. 1000 до 2000
1. Линейка измерительная	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	—
2. Рулетка измерительная	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,75
3. Штангенциркуль: с отсчетом. 0,1 мм	<u>0,15</u> 0,20	<u>0,20</u> 0,25	<u>0,20</u> 0,30	<u>0,25</u> 0,30	<u>0,30</u> 0,35	<u>0,40</u> 0,45
с отсчетом. 0,05 мм	<u>0,10</u> 0,15	<u>0,10</u> 0,20	<u>0,10</u> 0,20	—	—	—
4. Микрометр гладкий; скоба микрометрическая	0,010	0,015	0,025	0,050	0,070	0,080
5. Скоба индикаторная	0,015	0,020	0,030	0,060	0,080	—
6. Нутромер индикаторный	0,020	0,025	0,025	0,030	0,050	—
7. Нутромер микрометрич.	—	0,015	0,020	0,030	0,040	0,075

Примеры практического выбора универсальных измерительных средств приведены в методических указаниях [1].

Наиболее широко применяемые универсальные средства измерений линейных размеров изделий из древесины и древесных материалов рассмотрены в пп. 4.2.1–4.2.4 настоящего учебного пособия. Кроме этого, с учетом указанных в таблице 4.12 применяют следующие универсальные измерительные средства:

– линейки измерительные металлические (ГОСТ 427–75) длиной, мм: 150; 300; 500; 1000; 1500; 2000; 3000;

– рулетки измерительные металлические (ГОСТ 7202–98) длиной, м: 1, 2, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100;

– скобы индикаторные (ГОСТ 11098–75), цена деления 0,01 мм, типы: СИ-50; СИ-100; СИ-200; СИ-300; СИ-400; СИ-500; СИ-600; СИ-700; СИ-800 и СИ-1000. Диапазон измерения: СИ-50 – 0–50 мм; СИ-100 – 50–100 мм; СИ-200 – 100–200 мм и т. п.;

– скобы микрометрические, цена деления 0,01 мм; применяются для измерения наружных размеров до 2000 мм; диапазон измерения конкретной модели скобы зависит от применяемой микрометрической головки; головка типа МГ по ГОСТ 6507–78 имеет диапазон измерения 0–25 мм; установка скобы на нуль осуществляется по установочной мере;

– нутромеры микрометрические (ГОСТ 10–75), цена деления 0,01 мм, тип: НМ 50-75; НМ 75-175; НМ 75-600; НМ 150-1250; НМ 800-2500. (диапазон измерения: НМ 50-75 – 50–75 мм; НМ 75-175 – 75–175 мм).

4.3. Калибры нормальные и предельные

Нормальными называются калибры, размеры которых соответствуют номинальным размерам контролируемого объекта. В настоящее время нормальные калибры практически не используют для контроля размеров гладких элементов деталей, а используют некоторые их виды, такие как шаблоны, щупы и т. п.

В машиностроении широкое распространение получили радиусные шаблоны для проверки радиусов кривизны выпуклых и вогнутых поверхностей, резьбовые шаблоны и пр. [36].

Щупом называется нормальный калибр для измерения зазоров. Щупы выпускают в виде набора, состоящего из шарнирно соединенных друг с другом (с помощью винта) накладки и мерных пластинок длиной 70, 100 или 200 мм, шириной 10 мм и толщиной от 0,02 до 1,0 мм (рис. 4.13). Пластины в наборе расположены в порядке возрастания их толщины. По специальному заказу могут поставляться отдельные пластины. Некоторые наборы щупов по ТУ 2-034-225–87 приведены в таблице 4.13.

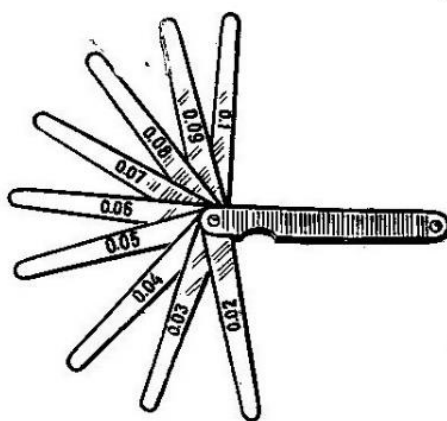


Рисунок 4.13. Набор щупов

Таблица 4.13. Параметры наборов измерительных щупов

Номер набора	Номинальная толщина щупа, мм	Количество щупов в наборе	Длина щупа, мм
1	0,02; 0,02; 0,03; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1	11	70
2	0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50	17	70; 100
3	0,55; 0,60; 0,65; 0,70; 0,75; 0,80; 0,85; 0,90; 0,95; 1,00	10	70
4	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0	10	70

Допускаемые отклонения толщины щупов и их желобчатости не должны превышать значений, указанных в таблице 4.14.

Таблица 4.14. Допускаемые отклонения толщины измерительных щупов

Толщи -на плас- тин, мм	Класс точности							
	1				2			
	Допускаемые отклонения толщины щупов, мкм			Допускае -мая желобча- тость, мкм	Допускаемые отклонения толщины щупов, мкм			Допускае- мая жело- бчатость, мкм
	новых		изношен- ных		новых		изношен- ных	
	верх- ние	ниж- ние			верх- ние	ниж- ние		
От 0,02 до 0,06	+3	−1,5	−3	—	+5	−3	−5	—
Св. 0,06 до 0,10	+4	−2	−4	—	+6	−4	−6	—
Св. 0,10 до 0,18	+5	−2	−5	4	+8	−4	−8	6
Св. 0,18 до 0,30	+6	−3	−6	4	+9	−5	−9	7
Св. 0,30 до 0,50	+7	−4	−7	5	+11	−6	−11	8
Св. 0,50 до 0,60	+8	−5	−8	6	+13	−7	−13	10
Св. 0,60 до 0,80	+9	−5	−9	7	+14	−8	−14	11
Св. 0,80 до 1,00	+10	−5	−10	7	+16	−9	−16	12

Предельными называются калибры, размеры которых соответствуют предельным размерам контролируемых деталей, т. е. наибольшему и наименьшему предельным размерам элементов деталей, и предназначены для контроля этих размеров.

Различают следующие виды элементов деталей: отверстия (внутренние размеры); валы (наружные размеры); элементы, не относящиеся к отверстиям и валам (глубины и высоты уступов и т. п.). В соответствии с этим различают предельные калибры для контроля отверстий, валов, глубин и высот уступов.

С помощью предельных калибров устанавливают, находятся ли контролируемые линейные размеры элементов детали в пределах установленных полей допусков. При этом числовое значение действительного размера детали не определяют.

Различают проходные и непроходные калибры. Проходные калибры предназначены для контроля предельных размеров, соответствующих

максимуму материала контролируемой детали, – наименьшего предельного размера отверстия или наибольшего предельного размера вала. Непроходные калибры применяют для контроля предельных размеров, соответствующих минимуму материала контролируемой детали, – наибольшего предельного размера отверстия или наименьшего предельного размера вала.

Для контроля размеров отверстий и валов применяют два калибра (один для контроля наибольшего предельного размера, второй – наименьшего предельного размера) или, чаще всего, один калибр, имеющий проходную и непроходную стороны.

На практике для контроля небольших размеров элементов деталей применяют нерегулируемые калибры-пробки для контроля отверстий (рис. 4.14) и калибры-скобы для контроля валов (рис. 4.15).

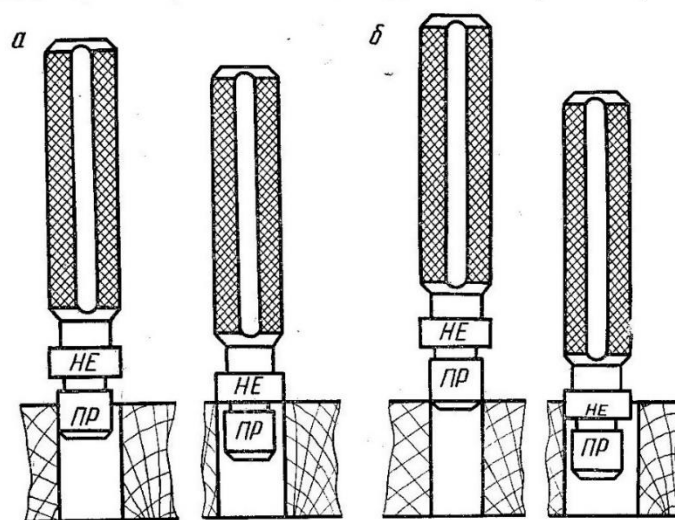


Рисунок 4.14. Схема контроля размеров деталей калибрами-пробками:

а – деталь годная; *б* – деталь негодная

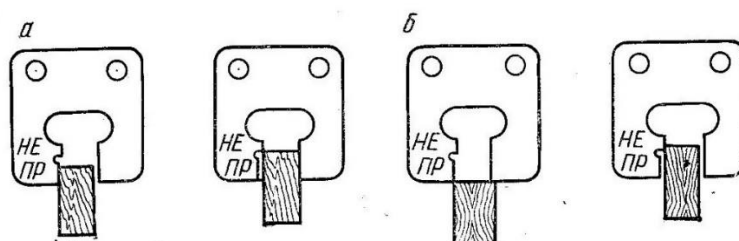


Рисунок 4.15. Схема контроля размеров деталей калибрами-скобами:

а – деталь годная; *б* – деталь негодная

У калибров, показанных на рис. 4.14 и 4.15 предусмотрены проходные (ПР) и непроходные (НЕ) стороны.

Для контроля линейных размеров в деревообработке широкое распространение получили регулируемые предельные калибры (рис. 4.16).

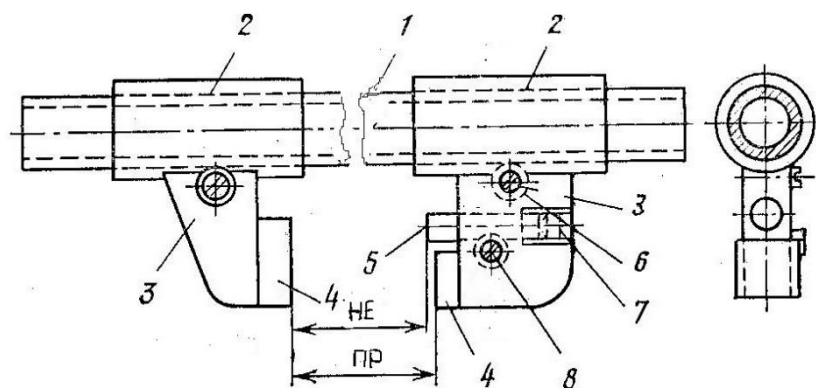


Рисунок 4.16. Регулируемый предельный калибр для контроля наружных размеров:

1 – корпус; 2 – втулка; 3 – кронштейн; 4 – губки проходные; 5 – непроходной измерительный стержень; 6 – крепление втулки к корпусу; 7 – установочный винт для измерительного стержня; 8 – затяжной винт

Размеры проходной (ПР) и непроходной (НЕ) сторон калибра устанавливают в процессе его настройки путем передвижения губок 3 и регулировки расположения непроходного измерительного стержня 5 с помощью установочного винта 7 и его фиксирования затяжным винтом 8. Для настройки калибров на заданный размер применяют концевые меры длины, микрометрические и другие измерительные средства.

У калибров для контроля глубин и высот уступов в деталях предусмотрены две предельные стороны (большая Б предназначена для контроля наибольшего предельного размера, малая М – для контроля наименьшего предельного размера (рис. 4.17).

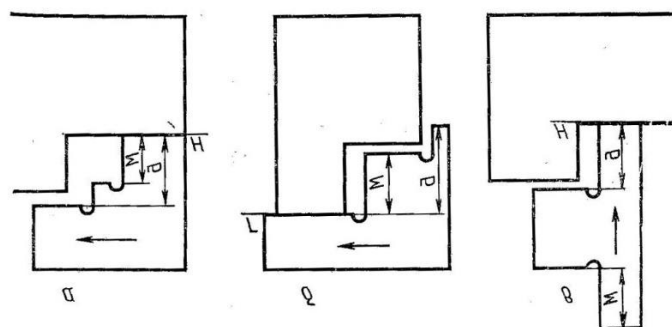


Рисунок 4.17. Схемы контроля размеров калибрами-уступомерами:

- а – схема 1, размеры сторон Б и М при износе уменьшаются;
- б – схема 2, размеры сторон Б и М при износе увеличиваются;
- в – схема 3, размер стороны Б при износе уменьшается, а М увеличивается

Допуски калибров для контроля отверстий, валов и калибров-уступомеров установлены ГОСТ 14025–84 [12]. Размеры проходных и непроходных сторон предельных гладких калибров для контроля отверстий и валов рассчитывают по формулам, приведенным в таблице 4.15. Размеры большой (Б) и малой (М)

сторон предельных калибров для контроля глубин и высот уступов рассчитывают по формулам (табл. 4.16.)

Таблица 4.15. Размеры сторон предельных гладких калибров

Обозначения		Формулы для расчета калибров	
сторон	размеров	для отверстий	для валов
ПР	ПР _{max}	$D_{\min} + ES_1$	$D_{\max} + es_1$
	ПР _{min}	$D_{\min} + EI_1$	$D_{\max} + ei_1$
	ПР _{изн}	$D_{\min} + EW_1$	$D_{\max} + ew_1$
НЕ	НЕ _{max}	$D_{\max} + ES_2$	$D_{\min} + es_2$
	НЕ _{min}	$D_{\max} + EI_2$	$D_{\min} + ei_2$

Таблица 4.16. Формулы для расчета размеров стороны калибров

Формулы для расчета размеров стороны калибра Б	Формулы для расчета размеров стороны калибра М
$B_{\max} = D_{\max} + es_3$	$M_{\max} = D_{\min} + es_4$
$B_{\min} = D_{\max} + ei_3$	$M_{\min} = D_{\min} + ei_4$
$B_{\text{изн}} = D_{\max} + ew_3$	$M_{\text{изн}} = D_{\min} + ew_4$

Примечание.

В таблицах 4.15 и 4.16 приняты следующие обозначения:

ПР, НЕ – соответственно проходная и непроходная стороны калибров для контроля отверстий и валов;

Б, М – соответственно «большая» и «малая» стороны калибров для контроля глубин и высот уступов;

ПР_{max}, НЕ_{max}, ПР_{min}, НЕ_{min} – соответственно наибольшие и наименьшие предельные размеры сторон ПР и НЕ нового калибра;

Б_{max}, Б_{min}, М_{max}, М_{min} – соответственно наибольшие и наименьшие предельные размеры сторон Б и М нового калибра для контроля глубин и высот уступов;

ПР_{изн}, Б_{изн}, М_{изн} – соответственно предельные размеры стороны ПР изношенного калибра для контроля отверстий и валов, сторон Б и М для контроля глубин и высот уступов;

$D_{\max}$, $D_{\min}$ – соответственно наибольший и наименьший предельные размеры контролируемого изделия;

ES_1 , EI_1 – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров проходных сторон калибров для отверстий;

ES_2 , EI_2 – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров непроходных сторон калибров для отверстий;

es_1 , ei_1 – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров проходных сторон калибров для валов;

es_2 , ei_2 – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров непроходных сторон калибров для валов;

es_3 , ei_3 – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения размеров стороны Б калибров для контроля глубин и высот уступов;

es_4 , ei_4 – соответственно верхнее и нижнее предельные отклонения стороны М калибров для контроля глубин и высот уступов;

EW_1 , ew_1 – предельные отклонения износа калибров для контроля, соответственно, отверстий и валов;

ew_3 , ew_4 – предельные отклонения износа калибров для контроля глубин и высот уступов для сторон, соответственно, Б и М.

Предельные отклонения размеров сторон Б и М калибров для контроля глубин и высот уступов приведены в прил. 15 (для 15-го – 18-го квалитетов допуска контролируемого изделия) к настоящему учебному пособию.

4.4. Калибры для контроля расположения осей отверстий

В соответствии с ГОСТ 6449.4–82, точность расположения осей отверстий для крепежных деталей рекомендуется нормировать позиционными допусками осей отверстий (см. п. 2.4.8).

Позиционные допуски расположения осей отверстий в обеих соединяемых деталях для соединений типов А и В устанавливают с учетом требования максимума материала по ГОСТ Р 53090–2008 [25].

Размер максимума материала – термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует больший объем материала детали. В нашем случае – к наибольшему предельному размеру крепежной детали (болта, винта и т. п.) и наименьшему предельному размеру отверстия для крепежной детали. Согласно ГОСТ Р 53442–2009, требования максимума материала указывают на чертеже знаком $\textcircled{M}$ [26].

Для контроля позиционных допусков осей отверстий в изделиях из различных материалов (металлов, древесины, древесных и других материалов) применяют проходные калибры с допусками по ГОСТ 16085–80 [15].

Для контроля позиционных допусков осей отверстий в деталях и неразборных сборочных единицах из древесины и древесных материалов рекомендуется применять следующие типы калибров:

- калибры типа КО-1 (по ОСТ 13-233–87 [32]) для контроля осей отверстий, расположенных в один ряд и принадлежащих одному соединению деталей (соединение тип III по ГОСТ 6449.4–82, см. приложение 12);

- комплекты калибров-скоб по ГОСТ 16085–80:

- а) комплект калибров для контроля размера между осью отверстия и плоскостью – КОП (калибр – отверстие – плоскость); в комплект входят калибр КОП-А и калибр КОП-В;

- б) комплект калибров для контроля размеров между осями двух отверстий – КОО (калибр – отверстие – отверстие); в комплект входит калибр КОО-А и калибр КОО-В.

Калибры типа КО-1 обычно изготавливают регулируемыми, состоящими из корпуса в виде металлической трубы, на которой установлены передвижные втулки с закрепленными на них измерительными элементами в виде цилиндрических пробок. Передвижные втулки могут перемещаться по корпусу калибра и крепиться в требуемом положении; при этом в процессе настройки калибра достигается требуемое расположение измерительных элементов друг относительно друга (рис. 4.16).

Расположение осей отверстий должно контролироваться после того, когда установлено, что диаметры отверстий выполнены в пределах заданных полей допусков.

Калибры являются проходными. Изделие считается годным, если все пробки калибров проходят в соответствующие отверстия контролируемого изделия.

При проектировании калибров типа КО-1 рассчитывают предельные размеры их измерительных элементов (диаметров пробок) и устанавливают точность взаимного расположения этих элементов.

Предельные размеры диаметров пробок калибров типа КО-1 рассчитывают по следующим формулам [15]:

$$d_{k \max} = D_{\min} - T_p + F; \quad (4.1)$$

$$d_{k \min} = d_{k \max} - H; \quad (4.2)$$

$$d_{k-w} = d_{k \min} - W, \quad (4.3)$$

где $d_{k \max}$, $d_{k \min}$ – соответственно наибольший и наименьший предельные размеры диаметров пробок нового калибра; d_{k-w} – диаметр предельно изношенной пробки калибра; $D_{\min}$ – наименьший предельный размер отверстия изделия; T_p – позиционный допуск оси отверстия контролируемого изделия в диаметральном выражении; F – основное отклонение размера измерительного элемента калибра; H – допуск на изготовление измерительного элемента калибра; W – величина износа измерительного элемента калибра.

Числовые значения параметров F , H и W устанавливают по таблице 4.17 в зависимости от позиционного допуска осей отверстий контролируемого изделия T_p .

Таблица 4.17. Отклонения и допуски калибров для контроля расположения осей отверстий [15]

Позиционный допуск осей отверстий изделия T_p , мм	Отклонения и допуски измерительных элементов калибров, мм			
	основное отклонение F	допуск на изготовление H	величина износа W	позиционный допуск T_{pk}
От 0,08 до 0,12	0,02	0,01	0,01	0,01
Св. 0,12 до 0,20	0,03	0,01	0,01	0,02
Св. 0,20 до 0,30	0,03	0,01	0,01	0,02
Св. 0,30 до 0,50	0,05	0,01	0,02	0,03
Св. 0,50 до 0,80	0,07	0,02	0,02	0,03
Св. 0,80 до 1,20	0,08	0,02	0,03	0,04
Св. 1,20 до 2,00	0,10	0,03	0,03	0,05
Св. 2,00 до 3,00	0,13	0,03	0,04	0,06
Св. 3,00 до 5,00	0,17	0,04	0,05	0,08
Св. 5,00	0,21	0,05	0,06	0,10

Примечание. Если допуски расположения заданы предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий контролируемого изделия, то предварительно следует определить позиционный допуск осей по формулам, приведенным в приложении 12.

Точность взаимного расположения измерительных элементов калибра (пробок) нормируется позиционным допуском осей этих пробок в диаметральной выразении T_{pk} , устанавливаемым по таблице 4.18. В случае нормирования этой точности предельными отклонениями осей пробок калибра на чертеже калибра указывают параметры, рассчитываемые по следующим формулам:

– предельные отклонения между осями двух любых пробок

$$\delta L_{\Sigma} = T_{pk}/1,4; \quad (4.4)$$

– предельные отклонения осей пробок от общей плоскости

$$\delta y = 0,5 \cdot \delta L_{\Sigma}. \quad (4.5)$$

После расчета предельных размеров диаметра пробок калибра выполняют его схему, на которой указывают: диаметр и предельные отклонения пробок; размеры, определяющие номинальное расположение осей пробок и их предельные отклонения. В качестве примера на рисунках 4.18 и 4.19 приведены схемы контролируемого изделия и калибра типа КО-1 (расчет данного калибра приведен в методических указаниях [1]).

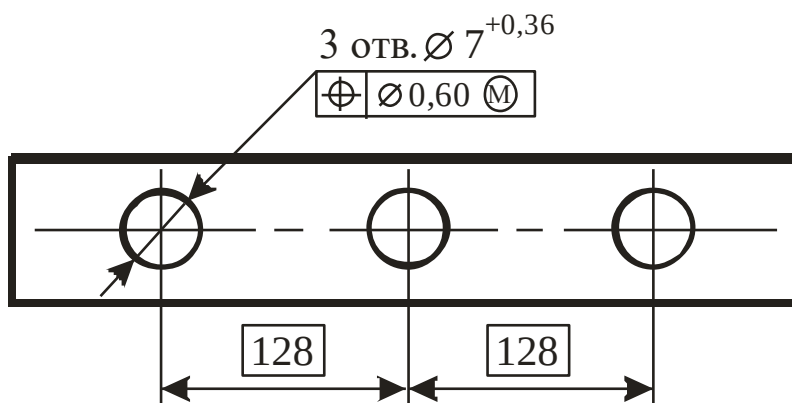


Рисунок 4.18. Схема контролируемого изделия

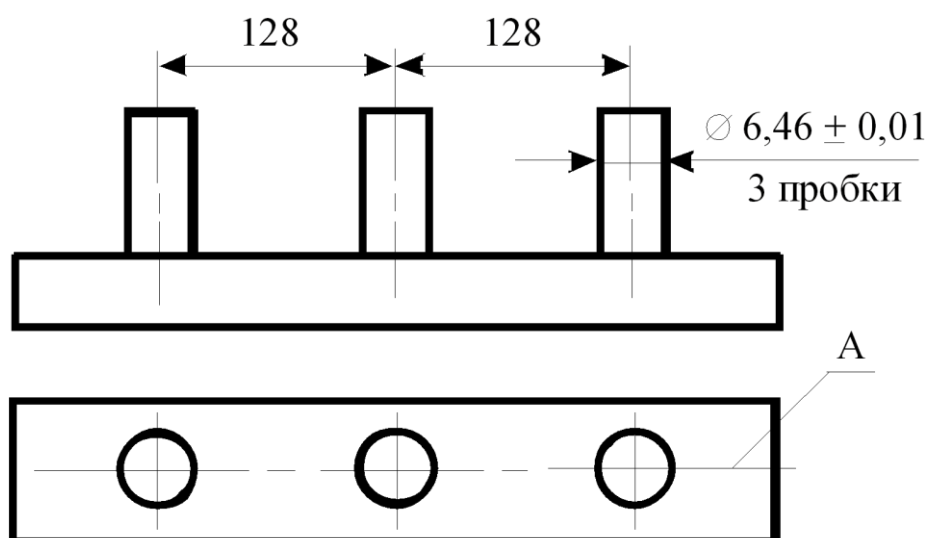


Рисунок 4.19. Схема калибра типа КО-1 для контроля расположения осей отверстий:

1 – предельные отклонения размера между осями двух любых пробок $\pm 0,021$ мм; 2 – предельные отклонения осей пробок от общей плоскости А $\pm 0,010$ мм

Схемы контроля изделия комплектами калибров-скоб КОП и КОО и формулы для расчета размеров этих калибров приведены соответственно в таблицах 4.18 и 4.19.

Таблица 4.18. Комплект калибров-скоб для контроля размера между плоскостью и осью отверстия

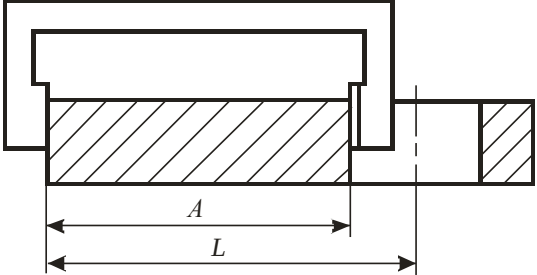
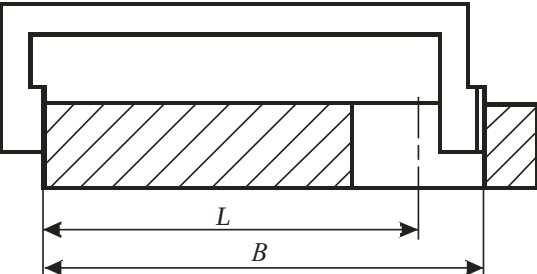
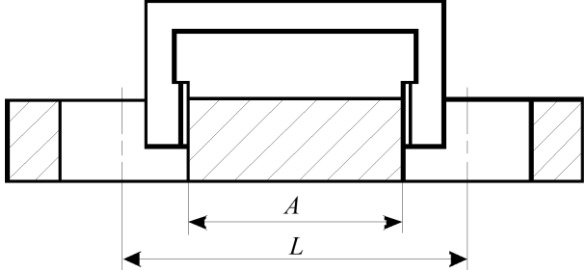
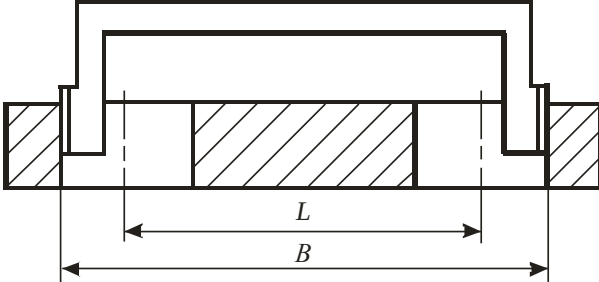
Условное обозначение калибра	Схема контроля изделия калибром. Формулы для расчета предельных размеров калибра
КОП-А	 $A_{\min} = L - \frac{D_{\min}}{2} + \frac{T_p}{2} - \frac{F}{2}$ $A_{\max} = L - \frac{D_{\min}}{2} + \frac{T_p}{2} - \frac{W}{2}$ $A_w = L - \frac{D_{\min}}{2} + \frac{T_p}{2}$
КОП-В	 $B_{\max} = L + \frac{D_{\min}}{2} - \frac{T_p}{2} + \frac{F}{2}$ $B_{\min} = L + \frac{D_{\min}}{2} - \frac{T_p}{2} + \frac{W}{2}$ $B_{w \min} = L + \frac{D_{\min}}{2} - \frac{T_p}{2}$ $B_{w \max} = L + \frac{D_{\min}}{2} - \frac{T_p}{2} + \frac{F}{2} + \frac{W}{2}$

Таблица 4.19. Комплект калибров-скоб для контроля размера между осями двух отверстий

Условное обозначение калибра	Схема контроля изделия калибром. Формулы для расчета предельных размеров калибра
КОО-А	 $A_{\min} = L - D_{\min} + T_p - F$ $A_{\max} = L - D_{\min} + T_p - W$ $A_w = L - D_{\min} + T_p$
КОО-В	 $B_{\max} = L + D_{\min} - T_p + F$ $B_{\min} = L + D_{\min} - T_p + W$ $B_w = L + D_{\min} - T_p$

Примечания.

1. В таблицах 4.18 и 4.19 приняты следующие условные обозначения:

КОП-А, КОП-В – комплект калибров-скоб для контроля размера между плоскостью и осью отверстия;

КОО-А, КОО-В – комплект калибров-скоб для контроля размеров между осями двух отверстий;

A – номинальные размеры между измерительными элементами калибров КОП-А и КОО-А;

B – номинальный размер между измерительными элементами калибров КОП-В и КОО-В;

$A_{\max}$, $A_{\min}$ – соответственно наибольшие и наименьшие предельные размеры между измерительными элементами калибров КОП-А и КОО-А;

$B_{\max}$, $B_{\min}$ – соответственно наибольшие и наименьшие предельные размеры между измерительными элементами калибров КОП-В и КОО-В;

A_w – размеры между измерительными элементами предельно изношенных калибров КОП-А и КОО-А;

B_w – размеры между измерительными элементами предельно изношенного калибра КОО-В;

$B_{w \min}$, $B_{w \max}$ – соответственно наименьший и наибольший размеры предельно изношенного калибра КОП-В;

L – номинальное значение контролируемого размера изделия соответственно между плоскостью и осью отверстия (калибры КОП-А и КОП-В) или между осями двух отверстий (калибры КОО-А и КОО-В);

$D_{\min}$ – наименьший предельный размер отверстия изделия;

T_p – позиционный допуск осей отверстий изделия;

F – основное отклонение размера измерительного элемента калибра;

W – величина износа измерительного элемента калибра.

2. Если диаметры отверстий неодинаковы, а позиционные допуски их осей одинаковы, то в формулы, указанные в таблице 12, вместо $D_{\min}$ следует подставлять полусумму этих диаметров, т. е. $\frac{D_{1\min} + D_{2\min}}{2}$, где $D_{1\min}$ и $D_{2\min}$ – наименьший предельный размер соответственно первого и второго отверстия.

3. Числовые значения параметров F и W устанавливают по таблице 14.15 в зависимости от позиционного допуска осей отверстий T_p в диаметральной выражении. Если на чертеже изделия зависимый допуск расположения осей отверстий задан предельными отклонениями координирующего размера $\pm \delta L$, то их следует пересчитать на позиционные допуски по следующим формулам (см. прил. 7 [2]):

– для вида расположения отверстий – I

$$T_{\text{поз}} = 2 \cdot \delta L, \quad (4.6)$$

– для вида расположения отверстий – II

$$T_{\text{поз}} = \delta L. \quad (4.7)$$

Примеры расчетов калибров-скоб типов КОП-А и КОП-Б и схемы контроля изделия этим комплектом калибров приведены в методических указаниях по данной дисциплине [1].

Примечание.

ОСТ 13-233–87 устанавливает следующие три типа калибров для контроля позиционных допусков осей отверстий, расположенных в один ряд [32]:

- КО-1 – калибр без базовых измерительных элементов для контроля осей отверстий, расположенных в один ряд, когда сборочная база отсутствует (см. рис. 4.19);

- КО-2 – калибр с цилиндрическим базовым элементом для контроля осей отверстий, координированных относительно оси базового отверстия, являющегося сборочной базой;

- КО-3 – калибр с плоским базовым измерительным элементом для контроля осей отверстий, координированных относительно плоской поверхности изделия, являющейся сборочной базой.

Наибольшее практическое применение получили калибры типа КО-1.

4.5. Калибры профильные

Профильные калибры предназначены для контроля геометрической точности криволинейных профилей изделий.

Нормирование точности размеров и формы профилей на чертежах контролируемых изделий может осуществляться одним из следующих способов (см. пп. 2.4.6 и 3.5.5):

- указанием допуска формы заданного профиля по ГОСТ Р 53442–2009;
- нанесением предельных отклонений координат отдельных точек профиля или размеров отдельных участков.

ОСТ 2 БВ 63-1–81 устанавливает 6 видов калибров (табл. 4.20) [32].

Таблица 4.20. Виды калибров

Номер	Наименование вида калибра	Определение
1	Нормальный профильный калибр	Калибр, воспроизводящий номинальный профиль контролируемого изделия, т. е. профиль, определяемый номинальным значением координат его точек или номинальными размерами его элементов (участков)
2	Предельный профильный калибр максимума материала	Калибр, воспроизводящий тот предельный профиль изделия, при котором изделие имеет наибольшее количество материала. Данный калибр должен иметь полный профиль и базовые элементы, соответствующие профилю изделия и базам, относительно которых заданы его размеры
3	Предельный профильный калибр минимума материала	Калибр, воспроизводящий тот предельный профиль (или участок профиля) изделия, при котором изделие имеет наименьшее количество материала
4	Контрольный профильный калибр для нормального профильного калибра	Примечания. 1. Контрольные калибры номеров 4, 5 и 6 – калибры, воспроизводящие номинальные профили, соответственно, калибров 1, 2 и 3 и применяемые для их припасовки и контроля износа. 2. Взамен калибров 4, 5 и 6 допускается применение универсальных измерительных средств для контроля элементов калибров при изготовлении и в процессе эксплуатации
5	Контрольный профильный калибр для предельного профильного калибра максимума материала	
6	Контрольный профильный калибр для предельного профильного калибра минимума материала	

В зависимости от расположения материала калибра относительно профиля изделия различают калибры с позитивным и негативным профилем (рис. 4.20).

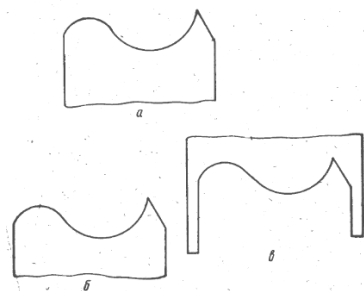


Рисунок 4.20. Конфигурации калибров:

- a* – контролируемое изделие; *б* – калибр с позитивным профилем;
в – калибр с негативным профилем

Нормальные калибры

Годность изделия по нормальному калибру определяется путем визуальной оценки отклонения профиля изделия от профиля калибра.

Схема контроля изделия нормальным калибром с негативным профилем на просвет показана на рисунке 4.21.



Рисунок 4.21. Схема контроля калибром с негативным профилем на просвет

При оценке годности изделия на просвет калибр прикладывается к изделию так, чтобы совместились базовые поверхности изделия и калибра. Если базы не заданы, то выбирают такое положение калибра, при котором величина просвета минимальная. Величину просвета следует сопоставлять с половиной допуска формы заданного профиля в направлении, перпендикулярном профилю, или с предельным отклонением координат точки профиля по направлению координаты.

Схема контроля изделия нормальным калибром с позитивным профилем показана на рисунке 4.22.

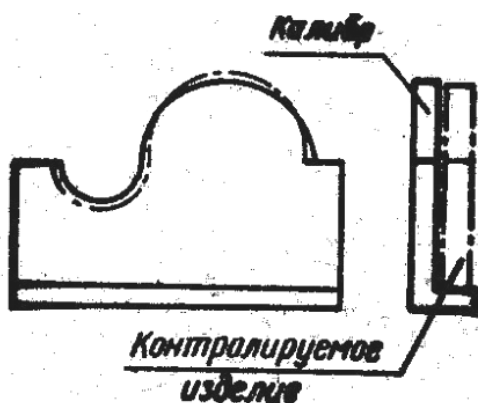


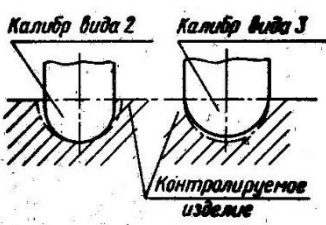
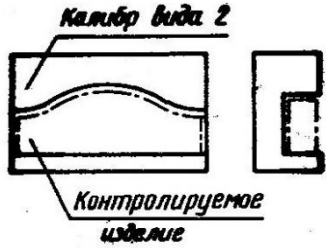
Рисунок 4.22. Схема контроля изделия нормальным калибром с позитивным профилем

Годность изделия оценивается визуально по отклонению профиля изделия от кромки калибра, наложенного на изделие так, чтобы совместились базовые элементы изделия и калибра. Если базы отсутствуют, то выбирают такое положение калибра, чтобы наибольшие отклонения профиля изделия по обе стороны от кромки калибра были одинаковыми.

Предельные калибры

Способы оценки годности изделий при контроле их предельными профильными калибрами с негативным профилем приведены в таблице 4.21.

Таблица 4.21. Способы оценки годности изделий профильными калибрами

Средства и способ оценки годности изделия	Схема контроля	Признак годности изделия
1. Калибр вида 2 в сочетании с калибром вида 3. Оценка по характеру просвета		При контроле профиля, представляющего собой дугу окружности с координированным центром, не должно быть просвета между калибром и изделием: для калибра 2 – посередине; для калибра 3 – по краям
2. Калибр вида 2 в сочетании: а) с предельными пробками; б) со щупом; в) с оценкой профиля на просвет		а) проходная пробка должна проходить, непроходная не должна проходить в зазор между калибром и изделием; б) щуп не должен входить в зазор между калибром и изделием; в) просвет не должен превышать предельную величину, соответствующую допуску профиля

Примечания.

1. При контроле по способу 2,а – номинальный диаметр проходной пробки d рекомендуется принимать равным 5 мм, а непроходной – $d + T$, где T – допуск формы заданного профиля контролируемого изделия. Данный способ применяют при контроле плавных профилей, радиус кривизны которых ни в одной из точек впадины не меньше $0,5 d$.

2. При контроле по способу 2,б толщина щупа должна быть равной допуску профиля изделия T . Данный способ применяют для профилей с радиусами кривизны, при которых погрешность измерения, связанная с шириной щупа, пренебрежимо мала.

Допуски калибров

Допуски на изготовление и износ профильных калибров, мм, назначают в зависимости от допуска контролируемого изделия по таблице 4.22 [32].

Таблица 4.22. Допуски на изготовление и износ профильных калибров

Допуск профиля изделия T	Допуск на изготовление калибра T_k	Допуск на износ калибра	Допуск на изготовление контркалибра
От 0,06 до 0,10	0,010	0,006	0,005
От 0,10 до 0,16	0,012	0,008	0,006
От 0,16 до 0,25	0,020	0,012	0,008
От 0,25 до 0,40	0,030	0,020	0,010
От 0,40 до 0,60	0,040	0,025	0,012
От 0,60 до 1,00	0,050	0,030	0,016
От 1,00 до 1,60	0,060	0,040	0,020
От 1,60 до 2,50	0,080	0,050	0,025
От 2,50 до 4,00	0,100	0,060	0,030

Примечания.

1. Допуски на изготовление профильных калибров рекомендуется нормировать тем же способом, что и допуски контролируемого изделия (указанием допуска формы заданного профиля или предельными отклонениями координат отдельных точек профиля или предельных отклонений размеров отдельных участков профиля).

2. Поля допусков профиля контролируемого изделия и поля допусков на изготовление калибров должны располагаться симметрично относительно:

- номинальных размеров профиля изделия и нормального калибра;
- профиля максимума материала для калибров видов 2 и 5 (табл. 4.20);
- профиля минимума материала – для калибров видов 3 и 6.

3. Допуски износа калибров устанавливают только на размеры изнашиваемых участков калибра и отсчитываются от предела, определяемого допуском изготовления в зависимости от направления износа калибра.

Пример. Рассчитать нормальные профильные калибры для контроля профильных кромок задней ножки стулярного стула (рис. 4.23).

Схемы калибров вида 1 для контроля профилей вогнутой и выпуклой кромок ножки стула приведены на рис. 4.24.

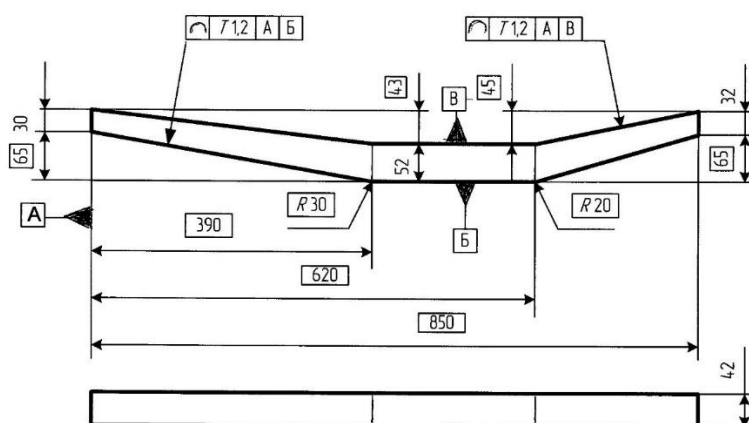


Рисунок 4.23. Схема контролируемого изделия (задней ножки стула)

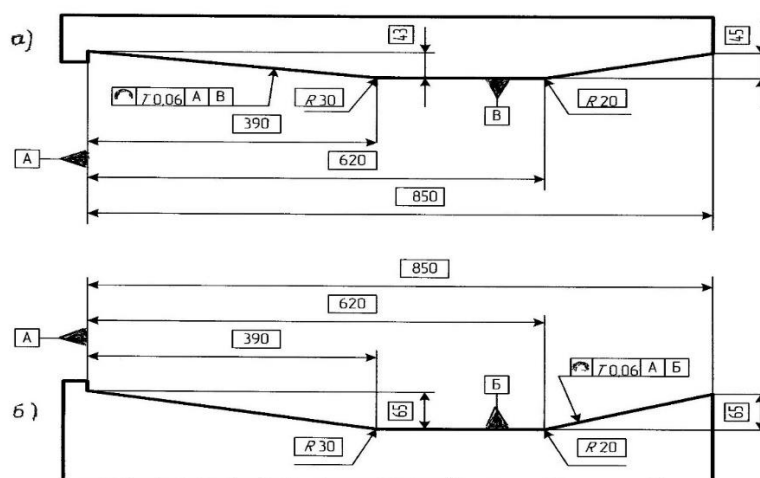


Рисунок 4.24. Схемы профильных калибров для контроля профиля:
а – вогнутой кромки ножки; б – выпуклой кромки ножки

Для контроля формы кромок детали выпуклого и вогнутого профилей предусмотрены два нормальных калибра с негативными профилями. При этом для базирования выпуклого профиля приняты базы А и Б (см. рис. 4.23 и 4.24, а), а для вогнутого – А и В (см. рис. 4.23 и 4.24, б).

Для базирования деталей относительно базы А в процессе контроля формы профилей предусмотрены специальные упоры. Контроль точности профиля осуществляется на просвет; при этом щуп толщиной 0,6 мм (половина допуска формы профиля изделия) не должен проходить в зазор между калибром и изделием.

Допуск на изготовление калибров составляет 0,06 мм (по таблице 4.22 при допуске профиля изделия $T = 1,2$ мм), а допуск на их износ – 0,04 мм.

4.6. Настройка оборудования на заданный размер

В процессе изготовления составных частей изделий (деталей и неразборных сборочных единиц) должны соблюдаться требования, предъявляемые к точности их геометрических параметров. Заданная точность этих параметров определяется их номинальными значениями и допусками.

Точность линейных размеров задают на чертежах номинальными размерами и их предельными отклонениями. Поэтому весьма важным является обеспечение правильной настройки применяемого оборудования на каждый линейный размер детали, т. е. установление настроечного размера.

Настроечный размер D_n должен быть непосредственно увязан с полем допуска изготавливаемой детали. При этом возможны два варианта:

- 1) настроечный размер совмещают с серединой поля допуска D_{cp}

$$D_n = D_{cp} = \frac{D_{max} + D_{min}}{2}, \quad (4.8)$$

где D_{max} и D_{min} соответственно наибольший и наименьший предельные размеры изделия;

- 2) настроечный размер смещают относительно поля допуска на величину Δ_n (если коэффициент запаса точности $K_T > 1,33$)

$$D_n = D_{cp} \pm \Delta_n. \quad (4.9)$$

Коэффициент запаса точности рассчитывают по формуле [35]

$$K_T = \frac{\delta}{\omega}, \quad (4.10)$$

где δ – заданное на чертеже поле допуска размера изделия; ω – поле рассеяния размеров в процессе обработки заготовок на станке.

Примечание. Знак – (минус) обычно принимают при формировании наружных размеров детали, а знак + (плюс) – внутренних размеров.

На рис. 4.25 показаны графические изображения вышеуказанных вариантов установления настроечного размера.

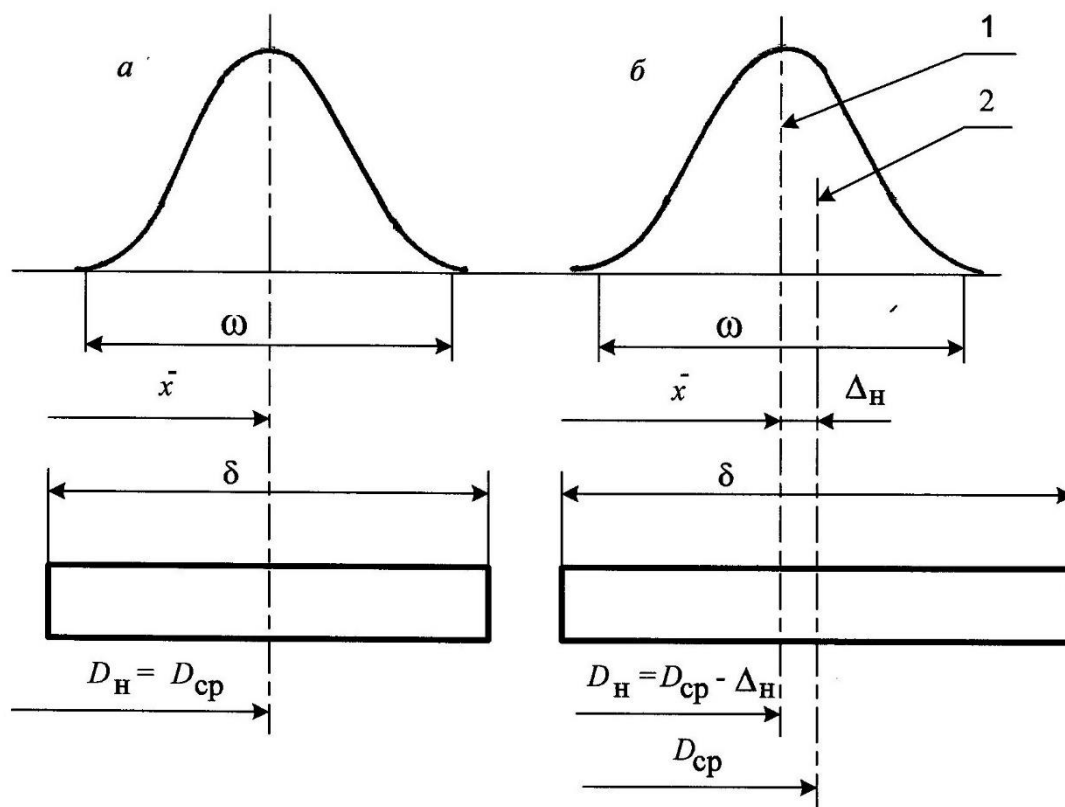


Рисунок 4.25. Варианты установления настроечного размера D_n :

а) при его совмещении с серединой поля допуска D_{cp} ;

б) при его смещении относительно D_{cp} на величину Δ_n ;

1 – центр группирования размеров; 2 – середина поля допуска δ

При первом варианте настроечный размер D_n совмещен с серединой поля допуска D_{cp} (рис. 4.25, а). При втором варианте – настроечный размер смещен на величину Δ_n относительно D_{cp} со знаком – (минус), так как приведенная на рис. 4.25, б схема соответствует варианту обработки наружного размера заготовки.

Примечания.

1. На рис. 4.25 настроечные размеры D_n условно показаны совмещенными с серединой полей допусков $\bar{x}$. Однако в действительности, вследствие неизбежных погрешностей, такое совмещение маловероятно, поэтому центр группирования размеров $\bar{x}$ чаще всего будет смещен вправо или влево от D_{cp} .

2. Настройка оборудования на заданный размер заключается в совмещении центра группирования размеров с заданным настроечным размером. Поэтому весьма важным является правильный выбор средств контроля для проведения настройки оборудования (подраздел 4.2.5 настоящего учебного пособия).

3. Во всех случаях для получения годных деталей необходимо, чтобы поле рассеяния размеров ω , получаемых в процессе обработки партии заготовок ω , находилось в пределах заданного поля допуска δ . Если $\omega > \delta$, то неизбежно получится брак определенной части деталей, а поэтому в данном случае технологическую операцию выполнять на более точном станке с меньшей величиной поля рассеяния ω при данных условиях работы станка. Однако, даже на станках высокой точности (с малыми значениями ω) может получаться брак, обусловленный его неправильной настройкой.

При этом даже стопроцентный брак можно получить, если в процессе небрежной настройки оборудования все действительные размеры будут меньше наименьшего предельного размера детали (поле рассеяния ω полностью смещено влево от заданного на чертеже поля допуска изделия δ), или больше наибольшего размера изготавливаемой детали (в случае смещения ω вправо от δ) – см. рис. 4.25.

На современном деревообрабатывающем оборудовании с ЧПУ настройка на заданные размеры изготавливаемой детали осуществляется автоматически благодаря соответствующему программному обеспечению этого оборудования. На практике применяется также оборудование, настройка которого на заданный размер осуществляется оператором путем набора на дисплее числового значения настроечного размера.

Универсальное оборудование общего назначения (рейсмусовые, четырехсторонние продольно-фрезерные станки и др.), без специальных устройств для автоматизированной настройки, настраивают обычно методом обработки пробных заготовок в следующей последовательности:

- 1) рассчитывают настроечный размер D_n и с помощью шкалы настройки станка устанавливают этот размер;
- 2) обрабатывают 2–3 заготовки, измеряют их и рассчитывают среднее значение $\bar{x}$;
- 3) если полученное значение $\bar{x}$ существенно отличается от D_n , то определяют поправку для повторной настройки станка и ее проводят;
- 4) обрабатывают 5–6 заготовок, измеряют их и рассчитывают новое значение $\bar{x}$, сравнивают его с D_n и делают вывод о результатах новой настройки;
- 5) если результаты настройки неудовлетворительные, то возможно потребуется повторение п. 4.

При выборе измерительных средств для измерения пробных заготовок необходимо учитывать допускаемую погрешность измерения, которая зависит от величины допуска размера детали (подраздел 4.2.5).

Необходимо отметить, что контроль действительных размеров деталей независимо от применяемых методов и средств настройки оборудования должен осуществляться правильно выбранными измерительными средствами, прошедшими государственную поверку.

Действительные размеры деталей, получаемые после настройки станка, не остаются постоянными в течение всего времени обработки партии заготовок вследствие ряда причин (износ и затупление режущего инструмента и пр.), поэтому под размерной настройкой следует понимать комплекс настроечных мероприятий как в начале работы, так и в процессе обработки всей партии заготовок. В связи с вышеуказанным, после первой и последующих настроек станка на заданный размер требуется внимательное наблюдение за изменениями действительных размеров в партии изготавливаемых деталей. Наиболее приемлемым здесь является применение статистических методов контроля и управления качеством.

Технологический процесс является статистически управляемым, если коэффициент запаса точности $K_T = \delta/\omega > 1,33$ [34]. В этом случае процесс поддается статистическому регулированию.

Статистическое регулирование технологических процессов заключается в том, что в определенные моменты времени из потока выпускаемой продукции проводят мгновенную выборку и измеряют контролируемый параметр. По результатам измерений определяют одну или несколько статистических характеристик, значения которых наносят на контрольные карты, и в зависимости от этих значений принимают решение о корректировке процесса или продолжении процесса без корректировки [35].

Для статистического регулирования технологических процессов строят контрольные карты средних арифметических $\bar{X}$, размахов R и др.

В качестве примера на рис. 4.26 показаны контрольные карты средних арифметических $\bar{X}$ и размахов.

На рейсмусовом станке обрабатывается партия заготовок из древесины сосны. Заданное на чертеже поле допуска по толщине изготавливаемой детали – $60j_s13 = (60 \pm 0,23)$ мм; допуск – $\delta = 0,46$ мм.

Для построения карт приняты следующие условные обозначения и числовые значения величин:

наибольший предельный размер – $D_{\max} = 60,23$ мм;

средний размер – $D_{\text{ср}} = 60$ мм;

наименьший предельный размер – $D_{\min} = 59,77$ мм.

Границы регулирования для построения карты средних арифметических (верхняя – L_v ; нижняя – L_n) и карты размахов L_R рассчитаны по следующим формулам [36]:

$$L_v = D_{\max} - 0,5 \delta K = 60,23 - 0,5 \cdot 0,46 \cdot 0,51 = 60,11 \text{ мм}, \quad (4.11)$$

$$L_n = D_{\min} + 0,5 \delta K = 59,77 + 0,5 \cdot 0,46 \cdot 0,51 = 59,88 \text{ мм}, \quad (4.12)$$

$$L_R = \delta K_R = 0,46 \cdot 0,82 = 0,3772 \text{ мм}, \quad (4.13)$$

где K и K_R – коэффициенты, зависящие от объема выборки n ; в нашем случае, при $n = 5$, $K = 0,51$; $K_R = 0,82$.

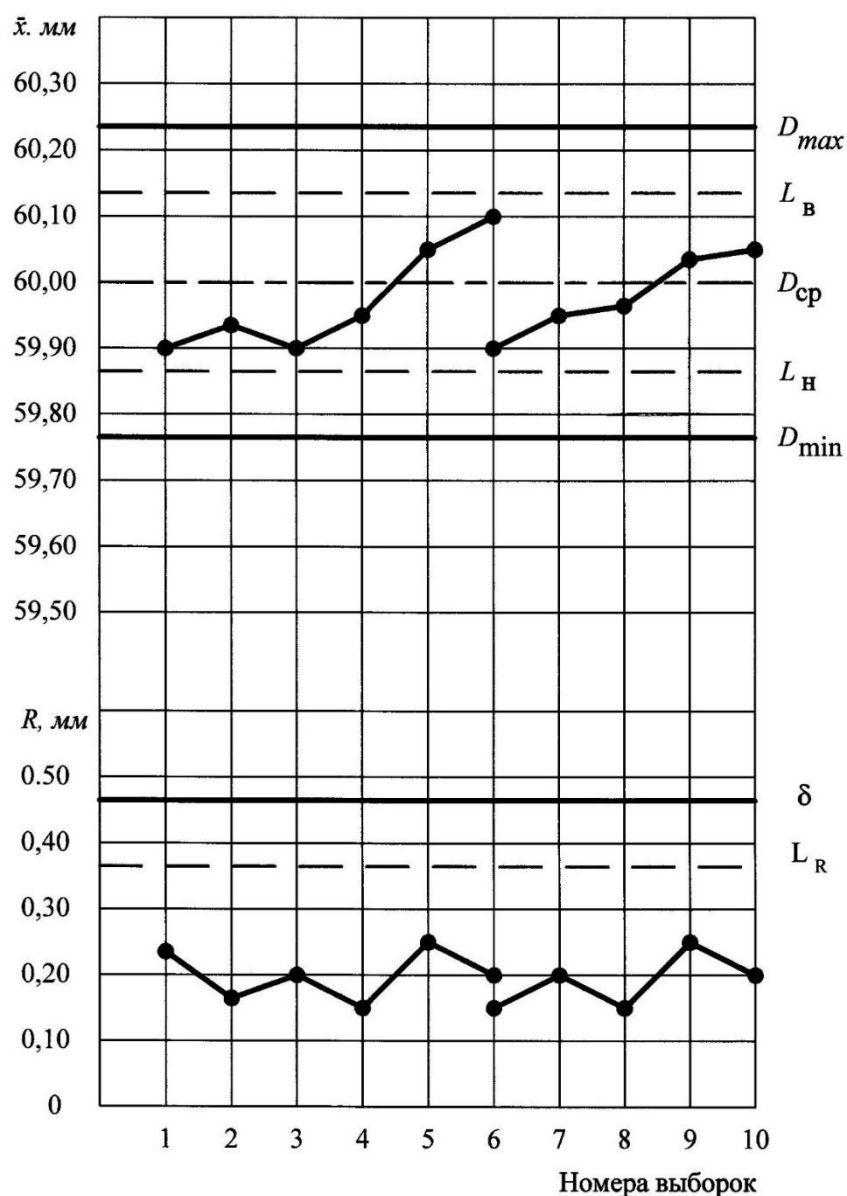


Рисунок 4.26. Примеры построения контрольных карт средних арифметических $\bar{x}$ и размахов R

После первой настройки станка проведена мгновенная выборка деталей объемом $n = 5$ шт., с помощью микрометра установлены действительные размеры каждой детали (n_i) и рассчитан средний арифметический размер выборки, который отмечен на ординате 1 карты $\bar{x}$, а также размах, значение которого на ординате 1 карты размахов R .

Среднее арифметическое значение размеров в выборке рассчитывают по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n n_i . \quad (4.14)$$

Величину размаха в выборке рассчитывают по формуле

$$R = h_{\max} - h_{\min}, \quad (4.15)$$

где $h_{\max}$ и $h_{\min}$ – соответственно, максимальное и минимальное значение размера в выборке.

В течение настроечного периода через 30 мин работы станка проведены очередные мгновенные выборки объемом 5 деталей, рассчитаны значения $\bar{x}$ и R .

Значение ординаты $\bar{x}$ в выборке 6 находится в непосредственной близости к верхней границе регулирования, поэтому во избежание появления брака при дальнейшей работе станка проведена поднастройка станка путем уменьшения настроечного размера примерно на 0,2 мм, что обеспечило получение годных деталей в процессе дальнейшей работы станка (рис. 4.26). Таким образом, на данном примере показано, как на практике можно избежать появления бракованных деталей путем применения статистического регулирования технологического процесса.

Точность и стабильность технологического процесса характеризуется обоими графиками $\bar{x}$ и R :

- если точки наблюдаемых статистических характеристик $\bar{x}$ и R не выходят за границы регулирования, то технологический процесс по этим характеристикам точен, правилен по настроенности, и нет основания считать, что возможно появления брака;

- стабильность хода процесса определяется по характеру колебаний точек $\bar{x}$ и R во времени; значительные периодические или беспорядочные колебания точек свидетельствуют о наличии причин, приводящих к нестабильности хода процесса.

4.7. Контроль качества заготовок и температурно-влажностных условий в производственных помещениях

На точность изготовления деталей и сборочных единиц существенное влияние оказывает качество заготовок, которое характеризуется качеством применяемых материалов, их влажностью и точностью геометрических параметров заготовок.

Качество материалов заготовок и их влажность должны удовлетворять требованиям стандартов технических условий на соответствующие виды продукции (например: для изделий мебели – ГОСТ 16371–93; для деревянных оконных блоков – ГОСТ 24700–99 и др.). Стандартами регламентируются требования к качеству древесины деталей в зависимости от их назначения (нормы ограничения различных пороков).

В стандартах установлены значения средней производственной влажности древесины $W_{\text{ср}}$ и допускаемые ее отклонения с вероятностью 0,95 ($W_{\text{ср}} \pm 2\sigma$, где σ – среднеквадратическое отклонение). Например: для мебели по ГОСТ 16371–93, $W = 8 \pm 2 \%$; для деревянных оконных блоков по ГОСТ 24700–99, $W = (8–14) \%$ (при этом устанавливаемый в технологической документации предприятия диапазон значений влажности древесины должен быть в пределах 3 %, например, (9–12) %).

Различают две формы влаги, содержащейся в древесине: связанную (или гигроскопическую) и свободную. Связанная влага находится в толще клеточных

стенок, а свободная влага содержится в полостях клеток и в межклеточных пространствах. Связанная влага существенно отражается на большинстве свойств древесины; удерживается она в основном физико-химическими связями, а ее удаление сопряжено с дополнительными затратами энергии. Свободная влага (вода) удерживается только механическими связями, удаляется значительно легче и оказывает меньшее влияние на свойства древесины [37].

Древесина является гигроскопическим материалом, способным изменять свою влажность в зависимости от состояния воздуха, которое характеризуется его температурой t и относительной влажностью ϕ , которая может изменяться от 0 до 100 %.

При выдерживании древесины в воздухе определенного состояния ее влажность становится устойчивой и практически одинаковой для всех пород, но несколько зависит от направления процесса. Если древесина поглощает влагу из воздуха (*сорбция*), устойчивая влажность оказывается меньше той, которая достигается в том случае, когда древесина отдает влагу в воздух (*десорбция*).

Таким образом, сорбция и десорбция не являются вполне обратимыми процессами. Явление неравенства устойчивой влажности древесины при различных направлениях процесса носит название *гистерезиса сорбции*.

Величина гистерезиса сорбции зависит главным образом от размеров исследуемого образца. Для измельченной древесины (опилки, стружка и т. п.) гистерезис незначителен (0,1–0,2 %) и в практических расчетах его можно не учитывать. При увеличении размеров образцов показатель гистерезиса увеличивается. Для образцов толщиной более 15 мм и длиной более 100 мм он достигает постоянной величины, равной в среднем 2,5 % влажности.

Средняя устойчивая влажность измельченной древесины, практически одинаковая как при сорбции, так и при десорбции, называется *равновесной влажностью*. Диаграмма равновесной влажности древесины приведена на рис. 4.27 [37].

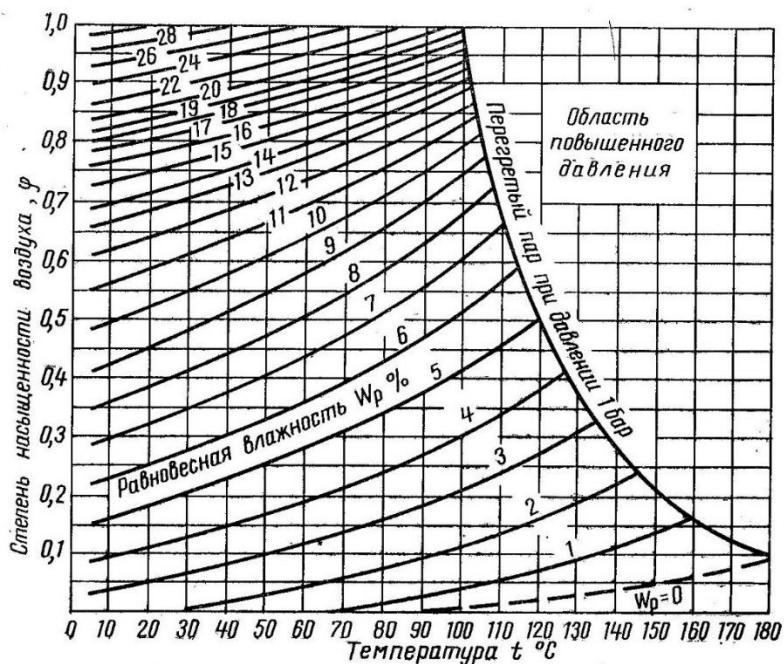


Рисунок 4.27. Диаграмма равновесной влажности древесины

Примечание. На рис. 4.27 по оси ординат указана «степень насыщенности воздуха» как безразмерная величина (на представленной диаграмме от 0,1 до 1,0). На практике обычно чаще применяют термин «относительная влажность воздуха» в % (от 10 до 100 %).

Величина изменения влажности деревянной детали (или заготовки) зависит от ее начальной влажности, температуры t и относительной влажности воздуха (степени насыщенности воздуха) ϕ в том помещении, где определенное время находится эта деталь (или заготовка).

Среднюю производственную влажность древесины $W_{\text{ср}}$ обычно устанавливают на нижнем уровне эксплуатационной влажности, чем исключают возможность появления дефектов от усушки.

При изменении влажности древесины изменяются размеры деталей в направлении поперек волокон древесины. Величину этого изменения B_{Δ} приближенно можно определить по формуле

$$B_{\Delta} = 0,0024 B \cdot W_{\Delta}, \quad (4.16)$$

где B – размер детали при начальной влажности $W_{\text{н}}$; W_{Δ} – величина изменения влажности древесины: при уменьшении влажности (усушке) $W_{\Delta} = W_{\text{н}} - W_{\text{к}}$, а при увеличении влажности (разбухании) $W_{\Delta} = W_{\text{к}} - W_{\text{н}}$, где $W_{\text{к}}$ – конечная влажность древесины.

Диаграмма равновесной влажности древесины позволяет с учетом гистерезиса сорбции установить допускаемые пределы изменения равновесной влажности древесины от нижнего предела $W_{\text{р.н}} = W_{\text{ср}}$ до верхнего $W_{\text{р.в}} = W_{\text{ср}} + 2,5$, при которых влажность древесины не будет изменяться.

Пример. Средняя производственная влажность древесины (заготовок, деталей), находящейся в помещении, $W_{\text{ср}} = 8$ %. Температура воздуха в помещении $t = 20$ °С.

Требуется определить допускаемые пределы колебания относительной влажности воздуха в помещении, при которых влажность древесины не будет изменяться.

Принимаем $W_{\text{р.н}} = W_{\text{ср}} = 8$ %; $W_{\text{р.в}} = W_{\text{ср}} + 2,5 = 8 + 2,5 = 10,5$ %.

По диаграмме равновесной влажности (рис. 4.27) находим, что при $t = 20$ °С, $\phi = 38$ –55 %.

Способы регулирования относительной влажности воздуха в помещениях и применяемые для этой цели средства рассмотрены в литературе [30; 37].

На точность изготавливаемых деталей из древесины существенное влияние оказывает точность геометрических параметров заготовок. Поэтому для всех видов и типоразмеров заготовок, применяемых на предприятии, рекомендуется устанавливать их рациональную точность (номинальные размеры и их предельные отклонения, допуски формы поверхностей и их шероховатость), обеспечивающую требуемое качество изготавливаемых деталей при минимальных потерях материалов в стружку и брак.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Взаимозаменяемость в деревообработке: метод. указания / сост.: Ф. С. Стовпюк, Е. Н. Кандакова. – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. – 48 с.
2. ГОСТ 2.307–68. Нанесение размеров и предельных отклонений.
3. ГОСТ 2.308–79. Указание на чертежах допусков формы и расположения поверхностей.
4. ГОСТ 2.309–73. Обозначение шероховатости поверхностей.
5. ГОСТ 6449.1–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Поля допусков линейных размеров и посадки.
6. ГОСТ 6449.2–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски углов.
7. ГОСТ 6449.3–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски формы и расположения поверхностей.
8. ГОСТ 6449.4–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей.
9. ГОСТ 6449.5–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Неуказанные предельные отклонения и допуски.
10. ГОСТ 7016–82. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности.
11. ГОСТ 8908–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные углы и допуски углов.
12. ГОСТ 14025–84. Калибры предельные для изделий из древесины и древесных материалов. Допуски.
13. ГОСТ 14140–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски расположения осей отверстий для крепежных деталей.
14. ГОСТ 15612–85. Изделия из древесины и древесных материалов. Методы определения параметров шероховатости.
15. ГОСТ 16085–80. Калибры для контроля расположения поверхностей. Допуски.
16. ГОСТ 16319–80. Цепи размерные. Основные положения. Термины, обозначения и определения.
17. ГОСТ 16320–80. Цепи размерные. Расчет плоских цепей.
18. ГОСТ 24643–81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхности. Числовые значения.
19. ГОСТ 25346–89. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.
20. ГОСТ 25347–82. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки для размеров до 3150 мм.
21. ГОСТ 25348–82. Единая система допусков и посадок. Поля допусков и рекомендуемые посадки для размеров свыше 3150 мм.
22. ГОСТ 26214–84. Изделия из древесины и древесных материалов. Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров.

23. ГОСТ Р 31254–2004 (ИСО 14660-1: 1999; ИСО 14660-2: 1999). Основные нормы взаимозаменяемости. Геометрические элементы. Общие термины и определения.
24. ГОСТ Р 53089–2008 (ИСО 5458:1998). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Установление позиционных допусков.
25. ГОСТ Р 53090–2008 (ИСО 2692:2006). Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Требования максимума материала, минимума материала и взаимодействия.
26. ГОСТ Р 53442–2009. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Допуски формы, ориентации, месторасположения и биения.
27. Допуски и посадки: справочник. Часть 1 / В. Д. Мягков [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1982. – 543 с.
28. Допуски и посадки: справочник. Часть 2 / В. Д. Мягков [и др.]. – Л.: Машиностроение, 1983. – 448 с.
29. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм. РД 50-98–86. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 84 с.
30. Методические указания по внедрению ГОСТ 6449.1–82 – ГОСТ 6449.5–82. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 65 с.
31. Метрология, стандартизация и сертификация: метод. указания по выполнению лабораторных работ / сост.: Ф. С. Стовпюк [и др.]. – СПб.: СПбГЛТА, 2010. – 32 с.
32. ОСТ 13-233–87. Калибры для контроля расположения поверхностей изделий из древесины и древесных материалов. Типы и допуски.
33. ОСТ 2 БВ 63-1–81. Калибры профильные. Допуски.
34. Стовпюк, Ф. С. Конструирование изделий из древесины: учеб. пособие / Ф. С. Стовпюк, Е. Н. Кандакова. – СПб.: СПбГЛТА, 2005. – 116 с.
35. Стовпюк, Ф. С. Технология изделий из древесины: лабораторный практикум / Ф. С. Стовпюк [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. – 76 с.
36. Точность и производственный контроль в машиностроении: справочник / под общей ред. А. К. Кутая. – М.: Машиностроение, 1983. – 368 с.
37. Уголев, Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б. Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2005. – 340 с.
38. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения: учебник / А. И. Якушев. – М.: Машиностроение, 1987. – 352 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Термины и определения (ГОСТ 25346–89) [19]

Термин	Определение
1. Размер	Числовое значение линейной величины (диаметр, длина и т. п.) в выбранных единицах измерения
2. Действительный размер	Размер элемента, установленный измерением с допускаемой погрешностью
3. Предельные размеры	Два предельно допустимых размера, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер
4. Наибольший предельный размер	Наибольший допустимый размер элемента
5. Наименьший предельный размер	Наименьший допустимый размер элемента
6. Номинальный размер	Размер, относительно которого определяются отклонения (рис. 2.1)
7. Отклонение	Алгебраическая разность между размером (действительным или предельным) и соответствующим номинальным размером
8. Действительное отклонение	Алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размерами
9. Предельное отклонение	Алгебраическая разность между предельным и соответствующим предельными размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения
10. Верхнее отклонение (<i>ES</i> – отверстия; <i>es</i> – вала)	Алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами
11. Нижнее отклонение (<i>EI</i> – отверстия; <i>ei</i> – вала)	Алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим предельными размерами
12. Основное отклонение	Одно из двух предельных отклонений (верхнее или нижнее), определяющее положение поля допуска относительно нулевой линии. В данной системе допусков и посадок основным является отклонение, ближайшее к нулевой линии
13. Нулевая линия	Линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом обозначении полей допусков и посадок. Если нулевая линия расположена горизонтально, то положительные отклонения откладываются вверх от нее, а отрицательные – вниз (рис. 2.1)

Термин	Определение
14. Допуск T	Разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями (см. п. 6) Примечание. Допуск – это абсолютная величина без знака
15. Стандартный допуск IT	Любой из допусков, устанавливаемых данной системой допусков и посадок
16. Поле допуска	Поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии
17. Квалитет (степень точности)	Совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров
18. Единица допуска	Множитель в формулах допусков, являющийся функцией номинального размера и служащий для определения числового значения допуска [19; 21]
19. Вал	Термин, условно принимаемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы
20. Отверстие	Термин, условно принимаемый для обозначения внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы
21. Основной вал	Вал, верхнее отклонение которого равно нулю
22. Основное отверстие	Отверстие, нижнее отклонение которого равно нулю
23. Предел максимума материала	Термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наибольший объем материала, т. е. наибольшему размеру вала и наименьшему предельному размеру отверстия. (Применявшийся ранее термин «проходной предел» использовать не рекомендуется)
24. Предел минимума материала	Термин, относящийся к тому из предельных размеров, которому соответствует наименьший объем материала, т. е. наименьшему предельному размеру вала или наибольшему предельному размеру отверстия. (Применявшийся ранее термин «непроходной предел» использовать не рекомендуется)
25. Посадка	Характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки
26. Номинальный размер посадки	Номинальный размер общий для отверстия и вала, составляющих соединение
27. Допуск посадки	Сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение
28. Зазор	Разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала
29. Натяг	Разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия

Термин	Определение
30. Посадка с зазором	Посадка, при которой всегда образуется зазор в соединении, т. е. наименьший предельный размер отверстия больше наибольшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено над полем допуска вала
31. Посадка с натягом	Посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т. е. наибольший предельный размер отверстия меньше наибольшего предельного размера вала или равен ему. При графическом изображении поле допуска отверстия расположено под полем допуска вала
32. Переходная посадка	Посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении, в зависимости от действительных размеров отверстия и вала. При графическом изображении поля допусков отверстия и вала перекрываются полностью или частично
33. Наименьший зазор	Разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала в посадке с зазором или в переходной посадке
34. Наибольший зазор	Разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала в посадке с зазором или в переходной посадке
35. Наименьший натяг	Разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом
36. Наибольший натяг	Разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом или в переходной посадке
37. Посадки в системе отверстия	Посадки, у которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков валов с полем допуска основного отверстия H
38. Посадки в системе вала	Посадки, у которых требуемые зазоры и натяги получаются сочетанием различных полей допусков отверстий с полем допуска основного вала h

Значения допусков линейных размеров, мм (ГОСТ 6449.1–82) [5]

Интервал размеров, мм	Квалитет								
	10	11	12	13	14	15	16	17	18
До 3	—	—	0,10	0,14	0,25	0,40	0,60	1,0	1,4
Св. 3 до 6	—	—	0,12	0,18	0,30	0,48	0,75	1,2	1,8
Св. 6 до 10	—	—	0,15	0,22	0,36	0,58	0,90	1,5	2,2
Св. 10 до 18	—	—	0,18	0,27	0,43	0,70	1,10	1,8	2,7
Св. 18 до 30	—	—	0,21	0,33	0,52	0,84	1,30	2,1	3,3
Св. 30 до 50	—	—	0,25	0,39	0,62	1,00	1,60	2,5	3,9
Св. 50 до 80	—	0,19	0,30	0,46	0,74	1,20	1,90	3,0	4,6
Св. 80 до 120	—	0,22	0,35	0,54	0,87	1,40	2,20	3,5	5,4
Св. 120 до 180	—	0,25	0,40	0,63	1,00	1,60	2,50	4,0	6,3
Св. 180 до 250	—	0,29	0,46	0,72	1,15	1,85	2,90	4,6	7,2
Св. 250 до 315	—	0,32	0,52	0,81	1,30	2,10	3,20	5,2	8,1
Св. 315 до 400	—	0,36	0,57	0,89	1,40	2,30	3,60	5,7	8,9
Св. 400 до 500	—	0,40	0,63	0,97	1,55	2,50	4,00	6,3	9,7
Св. 500 до 630	—	0,44	0,70	1,10	1,75	2,80	4,40	7,0	—
Св. 630 до 800	—	0,50	0,80	1,25	2,00	3,20	5,00	8,0	—
Св. 800 до 1000	—	0,56	0,90	1,40	2,30	3,60	5,60	9,0	—
Св. 1000 до 1250	—	0,66	1,05	1,65	2,60	4,20	6,60	10,5	—
Св. 1250 до 1600	0,50	0,78	1,25	1,95	3,10	5,00	7,80	12,5	—
Св. 1600 до 2000	0,60	0,92	1,50	2,30	3,70	6,00	9,20	15,0	—
Св. 2000 до 2500	0,70	1,10	1,75	2,80	4,40	7,00	11,00	17,5	—
Св. 2500 до 3150	0,86	1,35	2,10	3,30	5,40	8,60	13,50	21,0	—
Св. 3150 до 4000	1,05	1,65	2,60	4,10	6,60	10,50	16,50	26,0	—
Св. 4000 до 5000	1,30	2,00	3,20	5,00	8,00	13,00	20,00	32,0	—
Св. 5000 до 6300	1,55	2,50	4,00	6,20	9,80	15,50	25,00	40,0	—
Св. 6300 до 8000	1,95	3,10	4,90	7,60	12,00	19,50	31,00	49,0	—
Св. 8000 до 10000	2,40	3,80	6,00	9,40	15,00	24,00	38,00	60,0	—

Примечание. По указанным в таблице значениям допусков могут быть установлены предельные отклонения отверстий H и J_s и валов h , j_s , k , например:

а) для номинального размера 60 мм допуск по 13-му квалитету $IT13 = 0,46$ мм: $60H13 = 60k13 = 60^{+0,46}_0$; $60J_s13 = 60j_s13 = 60 \pm 0,23$; $60h13 = 60_{-0,46}^0$;

б) для номинального размера 18 мм допуск по 14-му квалитету $IT14 = 0,43$ мм: $18H14 = 18k14 = 18^{+0,43}_0$; $18J_s14 = 18j_s14 = 18 \pm 0,21$; $18h14 = 18_{-0,43}^0$.

Приложение 3

Поля допусков валов для номинальных размеров до 500 мм (ГОСТ 6449.1–82)

Квалитет	Основные отклонения валов										
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>j_s</i>	<i>k</i>	<i>t</i>	<i>y</i>	<i>za</i>	<i>zc</i>	<i>ze</i>
11				<i>h</i> 11	<i>j_s</i> 11	<i>k</i> 11					
				Св. 50							
12		<i>b</i> 12	<i>c</i> 12	<i>h</i> 12	<i>j_s</i> 12	<i>k</i> 12			<i>za</i> 12	<i>zc</i> 12	<i>ze</i> 12
									До 120		До 50
13	<i>a</i> 13	<i>b</i> 13		<i>h</i> 13	<i>j_s</i> 13	<i>k</i> 13	<i>t</i> 13	<i>y</i> 13	<i>za</i> 13	<i>zc</i> 13	<i>ze</i> 13
							Св. 50	Св. 18	До 250	До 120	До 50
14	<i>a</i> 14	<i>b</i> 14		<i>h</i> 14	<i>j_s</i> 14	<i>k</i> 14					
15				<i>h</i> 15	<i>j_s</i> 15	<i>k</i> 15					
16				<i>h</i> 16	<i>j_s</i> 16	<i>k</i> 16					
17				<i>h</i> 17	<i>j_s</i> 17						
18				<i>h</i> 18	<i>j_s</i> 18						

Примечание. Для полей допусков валов, установленных в более ограниченных интервалах размеров, в числителе указано поле допуска, а в знаменателе – диапазон размеров в мм.

Приложение 4

Поля допусков валов для номинальных размеров свыше 500 до 10000 мм (ГОСТ 6449.1–82)

Квалитет	Основные отклонения валов					
	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>h</i>	<i>j_s</i>	<i>k</i>	<i>t</i>
10			<i>h</i> 10	<i>j_s</i> 10	<i>k</i> 10	
			Св. 1250			
11			<i>h</i> 11	<i>j_s</i> 11	<i>k</i> 11	<i>t</i> 11
						До 3150
12	<i>b</i> 12	<i>c</i> 12	<i>h</i> 12	<i>j_s</i> 12	<i>k</i> 12	<i>t</i> 12
	До 3150					До 3150
13	<i>b</i> 13	<i>c</i> 13	<i>h</i> 13	<i>j_s</i> 13	<i>k</i> 13	
	До 3150					
14			<i>h</i> 14	<i>j_s</i> 14	<i>k</i> 14	
15			<i>h</i> 15	<i>j_s</i> 15	<i>k</i> 15	
16			<i>h</i> 16	<i>j_s</i> 16	<i>k</i> 16	
17			<i>h</i> 17	<i>j_s</i> 17		

Примечание. Для полей допусков валов, установленных в более ограниченных диапазонах размеров, в числителе указано поле допуска, а в знаменателе – диапазон размеров в мм.

**Предельные отклонения валов a , b , za , zc и ze , мм,
для номинальных размеров до 120 мм. Квалитеты 13 и 14 (ГОСТ 6449.1–82)**

Интервал размеров, мм	Поля допусков валов						
	a_{13}	b_{13}	za_{13}	zc_{13}	ze_{13}	a_{14}	b_{14}
До 3	–0,27 –0,41	–0,14 –0,28	+0,17 +0,03	+0,20 +0,06	+0,23 +0,09	–0,27 –0,52	–0,14 –0,39
Св. 3 до 6	–0,27 –0,45	–0,14 –0,32	+0,22 +0,04	+0,26 +0,08	+0,30 +0,12	–0,27 –0,57	–0,14 –0,44
Св. 6 до 10	–0,28 –0,50	–0,15 –0,37	+0,27 +0,05	+0,32 +0,10	+0,37 +0,15	–0,28 –0,64	–0,15 –0,51
Св. 10 до 14	–0,29 –0,56	–0,15 –0,42	+0,33 +0,06	+0,40 +0,13	+0,48 +0,21	–0,29 –0,72	–0,15 –0,58
Св. 14 до 18			+0,35 +0,08	+0,42 +0,15	+0,51 +0,24		
Св. 18 до 24	–0,30 –0,63	–0,16 –0,49	+0,43 +0,10	+0,52 +0,19	+0,63 +0,30	–0,30 –0,82	–0,16 –0,68
Св. 24 до 30			+0,45 +0,12	+0,55 +0,22	+0,67 +0,34		
Св. 30 до 40	–0,31 –0,70	–0,17 –0,56	+0,54 +0,15	+0,66 +0,27	+0,82 +0,43	–0,31 –0,93	–0,17 –0,79
Св. 40 до 50	–0,32 –0,71	–0,18 –0,57	+0,57 +0,18	+0,71 +0,32	+0,91 +0,52	–0,32 –0,94	–0,18 –0,80
Св. 50 до 65	–0,34 –0,80	–0,19 –0,65	+0,69 +0,23	+0,86 +0,40	–	–0,34 –1,08	–0,19 –0,93
Св. 65 до 80	–0,36 –0,82	–0,20 –0,66	+0,73 +0,27	+0,94 +0,48	–	–0,36 –1,10	–0,20 –0,94
Св. 80 до 100	–0,38 –0,92	–0,22 –0,76	+0,87 +0,33	+1,12 +0,58	–	–0,38 –1,25	–0,22 –1,09
Св. 100 до 120	–0,41 –0,95	–0,24 –0,78	+0,94 +0,40	+1,23 +0,69	–	–0,41 –1,28	–0,24 –1,11

**Предельные отклонения валов a , b , c и za , мм, для номинальных размеров
свыше 120 до 500 мм. Квалитеты 12, 13 и 14 (ГОСТ 6449.1–82)**

Интервал размеров, мм	Поля допусков валов						
	b_{12}	c_{12}	a_{13}	b_{13}	za_{13}	a_{14}	b_{14}
Св. 120 до 140	−0,26 −0,66	−0,20 −0,60	−0,46 −1,09	−0,26 −0,89	+1,10 +0,47	−0,46 −1,46	−0,26 −1,26
Св. 140 до 160	−0,28 −0,68	−0,21 −0,61	−0,52 −1,15	−0,28 −0,91	+1,16 +0,53	−0,52 −1,52	−0,28 −1,28
Св. 160 до 180	−0,31 −0,71	−0,23 −0,63	−0,58 −1,21	−0,31 −0,94	+1,23 +0,60	−0,58 −1,58	−0,31 −1,31
Св. 180 до 200	−0,34 −0,80	−0,24 −0,70	−0,66 −1,38	−0,34 −1,06	+1,39 +0,67	−0,66 −1,81	−0,34 −1,49
Св. 200 до 225	−0,38 −0,84	−0,26 −0,72	−0,74 −1,46	−0,38 −1,10	+1,46 +0,74	−0,74 −1,89	−0,38 −1,53
Св. 225 до 250	−0,42 −0,88	−0,28 −0,74	−0,82 −1,54	−0,42 −1,14	+1,54 +0,82	−0,82 −1,97	−0,42 −1,57
Св. 250 до 280	−0,48 −1,00	−0,30 −0,82	−0,92 −1,73	−0,48 −1,29	—	−0,92 −2,22	−0,48 −1,78
Св. 280 до 315	−0,54 −1,06	−0,33 −0,85	−1,05 −1,86	−0,54 −1,35	—	−1,05 −2,35	−0,54 −1,84
Св. 315 до 355	−0,60 −1,17	−0,36 −0,93	−1,20 −2,09	−0,60 −1,49	—	−1,20 −2,60	−0,60 −2,00
Св. 355 до 400	−0,68 −1,25	−0,40 −0,97	−1,35 −2,24	−0,68 −1,57	—	−1,35 −2,75	−0,68 −2,08
Св. 400 до 450	−0,76 −1,39	−0,44 −1,07	−1,50 −2,47	−0,76 −1,73	—	−1,50 −3,05	−0,76 −2,31
Св. 450 до 500	−0,84 −1,47	−0,48 −1,11	−1,65 −2,62	−0,84 −1,81	—	−1,65 −3,20	−0,84 −2,39

**Предельные отклонения валов b , c и t , мм, для номинальных размеров
свыше 500 до 2500 мм. Квалитеты 11, 12 и 13 (ГОСТ 6449.1–82)**

Интервал размеров, мм	Поля допусков валов					
	t_{11}	b_{12}	c_{12}	t_{12}	b_{13}	c_{13}
Св. 500 до 560	+0,84 +0,40	–1,00 –1,70	–0,52 –1,22	+1,10 +0,40	–1,00 –2,10	–0,52 –1,62
Св. 560 до 630	+0,89 +0,45		–0,58 –1,28	+1,15 +0,45		–0,58 –1,68
Св. 630 до 710	+1,00 +0,50	–1,30 –2,10	–0,64 –1,44	+1,30 +0,50	–1,30 –2,55	–0,64 –1,89
Св. 710 до 800	+1,06 +0,56		–0,70 –1,50	+1,36 +0,56		–0,70 –1,95
Св. 800 до 900	+1,18 +0,62	–1,60 –2,50	–0,78 –1,68	+1,52 +0,62	–1,60 –3,00	–0,78 –2,18
Св. 900 до 1000	+1,24 +0,68		–0,86 –1,76	+1,58 +0,68		–0,86 –2,26
Св. 1000 до 1120	+1,44 +0,78	–2,00 –3,05	–0,94 –1,99	+1,83 +0,78	–2,00 –3,65	–0,94 –2,59
Св. 1120 до 1250	+1,50 +0,84		–1,05 –2,10	+1,89 +0,84		–1,05 –2,70
Св. 1250 до 1400	+1,74 +0,96	–2,50 –3,75	–1,15 –2,40	+2,21 +0,96	–2,50 –4,45	–1,15 –3,10
Св. 1400 до 1600	+1,83 +1,05		–1,30 –2,55	+2,30 +1,05		–1,30 –3,25
Св. 1600 до 1800	+2,12 +1,20	–3,20 –4,70	–1,45 –2,95	+2,70 +1,20	–3,20 –5,50	–1,45 –3,75
Св. 1800 до 2000	+2,27 +1,35		–1,60 –3,10	+2,85 +1,35		–1,60 –3,90
Св. 2000 до 2240	+2,60 +1,50	–4,00 –5,75	–1,80 –3,55	+3,25 +1,50	–4,00 –6,80	–1,80 –4,60
Св. 2240 до 2500	+2,75 +1,65		–2,00 –3,75	+3,40 +1,65		–2,00 –4,80

Значения допусков угловых размеров (ГОСТ 6449.2–82) [6]

Интервал длин L_1 , мм	Степень точности					
	12		13		14	
	AT'_α	AT_h , мм	AT'_α	AT_h , мм	AT'_α	AT_h , мм
До 10	—	—	40'	До 0,125	1°	До 0,20
Св.10 до 16	—	—	32'	0,10–0,16	50'	0,16–0,25
Св.16 до 25	16'	0,08–0,125	26'	0,125–0,20	40'	0,20–0,32
Св. 25 до 40	12'	0,10–0,16	20'	0,16–0,25	32'	0,25–0,40
Св. 40 до 63	10'	0,125–0,20	16'	0,20–0,32	26'	0,32–0,50
Св. 63 до 100	8'	0,16–0,25	12'	0,25–0,40	20'	0,40–0,63
Св. 100 до 160	6'	0,20–0,32	10'	0,32–0,50	16'	0,50–0,80
Св. 160 до 250	5'	0,25–0,40	8'	0,40–0,63	12'	0,63–1,00
Св. 250 до 400	4'	0,32–0,50	6'	0,50–0,80	10'	0,80–1,25
Св. 400 до 630	3'	0,40–0,63	5'	0,63–1,00	8'	1,00–1,60

Интервал длин L_1 , мм	Степень точности					
	15		16		17	
	AT'_α	AT_h , мм	AT'_α	AT_h , мм	AT'_α	AT_h , мм
До 10	1°40'	До 0,32	2°	До 0,50	1°	До 0,80
Св.10 до 16	1°20'	0,25–0,40	1°	0,40–0,63	2°	0,63–1,00
Св.16 до 25	1°	0,32–0,50		0,50–0,80		0,80–1,25
Св. 25 до 40	50'	0,40–0,63		0,63–1,00		1,00–1,60
Св. 40 до 63	40'	0,50–0,80	40'	0,80–1,25	1°20'	1,25–2,00
Св. 63 до 100	32'	0,63–1,00		1,00–1,60		1,60–2,50
Св. 100 до 160	26'	0,80–1,25		1,25–2,00		2,00–3,20
Св. 160 до 250	20'	1,00–1,60	20'	1,60–2,50	40'	2,50–4,00
Св. 250 до 400	16'	1,25–2,00		2,00–3,20		3,20–5,00
Св. 400 до 630	12'	1,60–2,50		2,50–4,00		4,00–6,30

Примечания.

1. Значения AT'_α указывают на чертежах.
2. Крайние значения AT_h указаны для соответствующих значений интервалов длин L_1 .

Допуски плоскостности и прямолинейности, мм (ГОСТ 6449.3–82) [7]

Интервал номинальных размеров	Степень точности										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
До 10	–	–	–	–	0,10	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6
Св.10 до 16	–	–	–	–	0,12	0,20	0,30	0,5	0,8	1,2	2,0
Св.16 до 25	–	–	–	0,10	0,16	0,25	0,40	0,6	1,0	1,6	2,5
Св.25 до 40	–	–	–	0,12	0,20	0,30	0,50	0,8	1,2	2,0	3,0
Св. 40 до 63	–	–	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5	4,0
Св.63 до 100	–	–	0,12	0,20	0,30	0,50	0,80	1,2	2,0	3,0	5,0
Св 100 до 160	–	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,00	1,6	2,5	4,0	6,0
Св.160 до 250	–	0,12	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	2,0	3,0	5,0	8,0
Св 250 до 400	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,00	1,60	2,5	4,0	6,0	10,0
Св.400 до 630	0,12	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	2,00	3,0	5,0	8,0	12,0
Св. 630 до 1000	0,16	0,25	0,40	0,60	1,00	1,60	2,50	6,0	6,0	10,0	16,0
Св.1000 до 1600	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	2,00	3,00	5,0	8,0	12,0	20,0
Св.1600 до 2500	0,25	0,40	0,60	1,00	1,60	2,50	4,00	6,0	10,0	16,0	25,0

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

Допуски цилиндричности, круглости, мм (ГОСТ 6449.3–82)

Интервал номинальных размеров	Степень точности								
	12	13	14	15	16	17	18	19	20
До 3	–	–	0,12	0,20	0,3	0,5	0,8	1,2	2,0
Св. 3 до 10	–	0,10	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5
Св. 10 до 18	–	0,12	0,20	0,30	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0
Св.18 до 30	0,10	0,16	0,25	0,40	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0
Св.30 до 50	0,12	0,20	0,30	0,50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0
Св. 50 до 120	0,16	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0
Св. 120 до 250	0,20	0,30	0,50	0,80	1,2	2,0	3,0	0,5	8,0
Св. 250 до 400	0,25	0,40	0,60	1,00	1,6	2,5	4,0	0,6	10,0
Св. 400 до 630	0,30	0,50	0,80	1,20	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
Св. 630 до 1000	0,40	0,60	1,00	1,60	2,5	4,0	6,0	10,0	16,0
Св. 1000 до 1600	0,50	0,80	1,20	2,00	3,0	5,0	8,0	12,0	20,0
Св. 1600 до 2500	0,60	1,00	1,60	2,50	4,0	6,0	10,0	16,0	25,0

Примечание. Под номинальным размером понимается номинальный диаметр поверхности.

Допуски параллельности, перпендикулярности, наклона, торцового биения и полного торцового биения, мм (ГОСТ 6449.3–82)

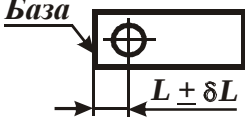
Интервал номинальных размеров	Степень точности										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
До 10	–	–	–	0,10	0,16	0,25	0,4	0,6	1,0	1,6	2,5
Св. 10 до 16	–	–	–	0,12	0,20	0,30	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0
Св. 16 до 25	–	–	0,10	0,16	0,25	0,40	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0
Св. 25 до 40	–	–	0,12	0,20	0,30	0,50	0,8	1,2	2,0	3,0	5,0
Св. 40 до 63	–	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,0	1,6	2,5	4,0	6,0
Св. 63 до 100	–	0,12	0,20	0,30	0,50	0,80	1,2	2,0	3,0	5,0	8,0
Св. 100 до 160	0,10	0,16	0,25	0,40	0,60	1,00	1,6	2,5	4,0	6,0	10,0
Св. 160 до 250	0,12	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	2,0	3,0	5,0	8,0	12,0
Св. 250 до 400	0,16	0,25	0,40	0,60	1,00	1,60	2,5	4,0	6,0	10,0	16,0
Св. 400 до 630	0,20	0,30	0,50	0,80	1,20	2,00	3,0	5,0	8,8	12,0	20,0
Св. 630 до 1000	0,25	0,40	0,60	1,00	1,60	2,50	4,0	6,0	10,0	16,0	25,0
Св. 1000 до 1600	0,30	0,50	0,80	1,20	2,00	3,00	5,0	8,0	12,0	20,0	30,0
Св. 1600 до 2500	0,40	0,60	1,00	1,60	2,50	4,00	6,0	10,0	16,0	25,0	40,0

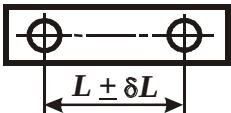
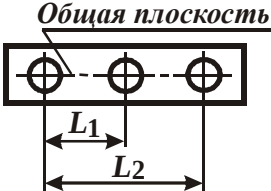
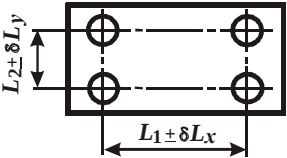
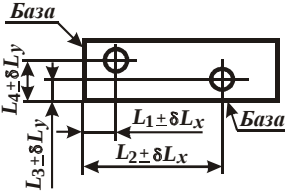
Примечания.

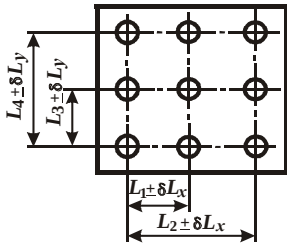
1. При назначении допусков параллельности, перпендикулярности, наклона под номинальным размером понимается номинальная длина нормируемого участка или номинальная длина рассматриваемой поверхности (для допуска параллельности – номинальная длина большей стороны), если нормируемый участок не задан.

2. При назначении допусков торцового биения под номинальным размером понимается заданный номинальный диаметр или номинальный больший диаметр торцовой поверхности.

Пересчет предельных отклонений размеров, координирующих оси отверстий, на позиционные допуски

Вид расположения отверстий по ГОСТ 6449.4–82	Схема расположения отверстий	Характеристика расположения отверстий	Способ нормирования	
			предельными отклонениями размеров, координирующих оси отверстий	позиционным допуском осей отверстий $T_{\text{поз}}$ (формула для пересчета)
I		Одно отверстие, координированное относительно плоскости, являющейся сборочной базой	Предельные отклонения размера между осью отверстия и базовой плоскостью $\pm\delta L$	$T_{\text{поз}} = 2\delta L$

Вид расположе- ния отверстий по ГОСТ 6449.4-82	Схема расположения отверстий	Характеристика расположения отверстий	Способ нормирования:	
			предельными отклонениями размеров, координирующи х оси отверстий	позиционным допуском осей отверстий $T_{\text{поз}}$ (формула для пересчета)
II		Два отверстия, координированные друг относительно друга. Сборочная база отсутствует	Предельные отклонения размера между осями двух отверстий $\pm \delta L$	$T_{\text{поз}} = \delta L$
III		Три и более отверстий, расположенные в один ряд. Сборочная база отсутствует	1. Предельные отклонения размера между осями двух любых отверстий $\pm \delta L_{\Sigma}$. 2. Предельные отклонения осей отверстий от общей плоскости $\pm \delta y$	При $\delta y = 0,5 \delta L_{\Sigma}$ $T_{\text{поз}} = 1,4 \delta L_{\Sigma}$
IV		Три или четыре отверстия, расположенные в два ряда. Сборочная база отсутствует	1. Предельные отклонения размеров L_1, L_2 ($\pm \delta L_x; \pm \delta L_y$). 2. Предельные отклонения размеров по диагонали между осями двух любых отверстий $\pm \delta L_d$ $\delta L_d = \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$	$T_{\text{поз}} = \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$ при $\delta L_x = \delta L_y = \delta L$ $T_{\text{поз}} = 1,4 \delta L$
V		Одно или несколько отверстий, координированных относительно двух взаимно перпендикулярных баз	Предельные отклонения размеров L_1, L_2, L_3, L_4 ($\pm \delta L_x, \pm \delta L_y$)	$T_{\text{поз}} = 2 \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$ при $\delta L_x = \delta L_y = \delta L$ $T_{\text{поз}} = 2,8 \delta L$

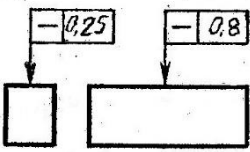
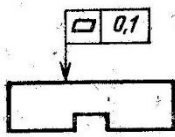
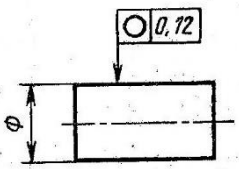
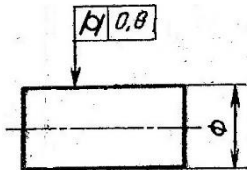
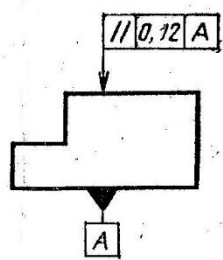
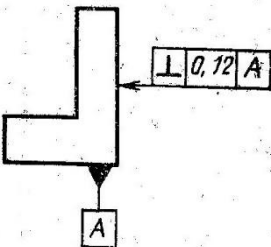
Вид расположения отверстий по ГОСТ 6449.4-82	Схема расположения отверстий	Характеристика расположения отверстий	Способ нормирования:	
			предельными отклонениями размеров, координирующи х оси отверстий	позиционным допуском осей отверстий $T_{\text{поз}}$ (формула для пересчета)
VI		Отверстия, расположенны е в несколько рядов. Сборочная база отсутствует	1. Предельные отклонения размеров L_1, L_2, L_3, L_4 2. Предельные отклонения размеров по диагонали между осями двух любых отверстий $\pm \delta L_d$ $\delta L_d = \sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$	$T_{\text{поз}} = 2\sqrt{\delta L_x^2 + \delta L_y^2}$ при $\delta L_x = \delta L_y = \delta L$ $T_{\text{поз}} = 2,8\delta L$

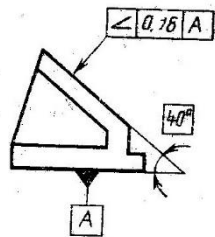
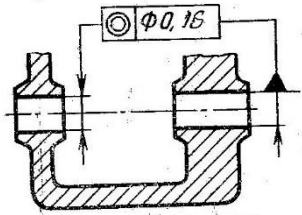
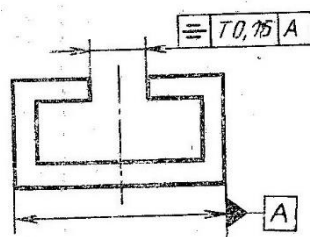
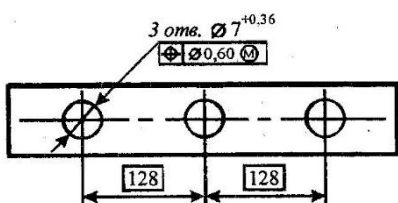
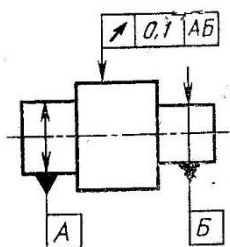
Приложение 13

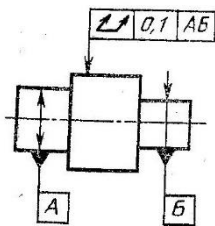
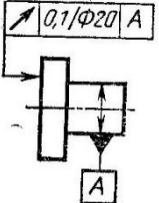
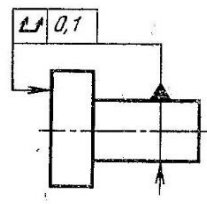
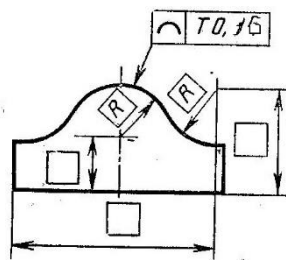
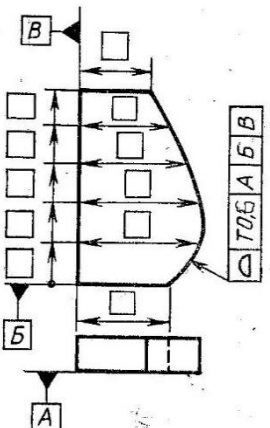
Неуказанные симметричные предельные отклонения линейных размеров по классам точности (ГОСТ 6449.5–82)

Интервал размеров, мм	Предельные отклонения по классам точности, ± мм			
	«точный» $\pm \frac{t_1}{2}$	«средний» $\pm \frac{t_2}{2}$	«грубый» $\pm \frac{t_3}{2}$	«очень грубый» $\pm \frac{t_4}{2}$
До 3	0,05	0,1	0,15	0,15
Св. 5 до 6			0,2	0,5
Св. 6 до 30	0,10	0,2	0,5	1,0
Св. 30 до 120	0,15	0,3	0,8	1,5
Св. 120 до 315	0,20	0,5	1,2	2,0
Св. 315 до 1000	0,30	0,8	2,0	3,0
Св. 1000 до 2000	0,50	1,2	3,0	5,0
Св. 2000 до 3150	0,80	2,0	5,0	8,0
Св. 3150 до 5000	1,20	3,0	8,0	12,0
Св. 5000 до 8000	2,00	5,0	12,0	20,0
Св. 8000 до 10000	3,00	8,0	20,0	30,0

Примеры указания на чертежах допусков формы, ориентации, месторасположения и биения (ГОСТ 2.308–79)

Вид допуска	Указания допусков формы и расположения условными обозначениями	Пояснения
1. Допуск прямолинейности		Допуск прямолинейности поверхности в поперечном направлении 0,25 мм, в продольном направлении 0,8 мм
2. Допуск плоскостности		Допуск плоскостности поверхности 0,1 мм
3. Допуск круглости		Допуск круглости вала 0,12 мм
4. Допуск цилиндричности		Допуск цилиндричности вала 0,8 мм
5. Допуск параллельности		Допуск параллельности поверхности относительно поверхности A 0,12 мм
6. Допуск перпендикулярности		Допуск перпендикулярности поверхности относительно поверхности A 0,12 мм

Вид допуска	Указания допусков формы и расположения условными обозначениями	Пояснения
7. Допуск наклона		Допуск наклона поверхности относительно поверхности <i>A</i> 0,16 мм
8. Допуск соосности		Допуск соосности отверстия относительно базового отверстия $\varnothing 0,16$ мм
9. Допуск симметричности		Допуск симметричности паза <i>T</i> 0,16 мм. База – плоскость симметрии поверхностей <i>A</i>
10. Позиционный допуск		Позиционный допуск осей отверстий $\varnothing 0,60$ мм
11. Допуск радиального биения		Допуск радиального биения поверхности относительно общей оси поверхностей <i>A</i> и <i>B</i> 0,1 мм

12. Допуск полного радиального биения		Допуск полного радиального биения относительно общей оси поверхностей <i>A</i> и <i>B</i> 0,1 мм
13. Допуск торцового биения		Допуск торцового биения на диаметре 20 мм относительно оси поверхности <i>A</i> 0,1 мм
14. Допуск полного торцового биения		Допуск полного торцового биения поверхности относительно базовой поверхности 0,1 мм
15. Допуск формы заданного профиля		Допуск формы заданного профиля $T\ 0,16$ мм. Примечание. В прямоугольных рамках на чертеже указывают линейные размеры и радиусы дуг окружностей, определяющие номинальное расположение элементов
16. Допуск формы заданной поверхности		Допуск формы заданной поверхности относительно поверхностей <i>A</i> , <i>B</i> , <i>B</i> $T\ 0,6$ мм. Примечание. В прямоугольных рамках на чертеже указывают линейные размеры, определяющие номинальное расположение точек поверхности относительно баз <i>B</i> и <i>B</i>

**Предельные отклонения размеров сторон Б и М калибров для контроля
глубин и высот уступов (ГОСТ 14025–84). Квалитеты допуска изделия 15–18**

Интервал номинальных размеров (глубин или высот уступов) контролируемого изделия, мм	Предельные отклонения размеров калибров, мм							
	сторона Б				сторона М			
	обозначение отклонений	схема расположения полей допусков калибра			обозначение отклонений	схема расположения полей допусков калибра		
		1	2	3		1	2	3
До 3	es_3	0	–0,03	0	es_4	+0,04	+0,01	+0,01
	ei_3	–0,01	–0,04	–0,01	ei_4	+0,03	0	0
	ew_3	–0,04	0	–0,04	ew_4	0	+0,04	+0,04
Св. 3 до 6	es_3	0	–0,01	0	es_4	+0,05	+0,01	+0,01
	ei_3	–0,01	–0,05	–0,01	ei_4	+0,04	0	0
	ew_3	–0,05	0	–0,05	ew_4	0	+0,04	+0,04
Св. 6 до 10	es_3	0	–0,04	0	es_4	+0,06	+0,01	+0,02
	ei_3	–0,01	–0,06	–0,01	ei_4	+0,05	0	0
	ew_3	–0,06	0	–0,06	ew_4	0	+0,03	0,06
Св. 10 до 18	es_3	0	–0,05	0	es_4	+0,07	+0,02	+0,02
	ei_3	–0,02	–0,07	–0,02	ei_4	+0,05	0	0
	ew_3	–0,07	0	–0,07	ew_4	0	+0,07	+0,07
Св. 18 до 30	es_3	0	–0,06	0	es_4	+0,08	+0,02	+0,02
	ei_3	–0,02	–0,08	–0,02	ei_4	+0,06	0	0
	ew_3	–0,08	0	–0,08	ew_4	0	+0,08	+0,08
Св. 30 до 50	es_3	0	–0,07	0	es_4	+0,09	+0,02	+0,02
	ei_3	–0,02	–0,09	–0,02	ei_4	+0,07	0	0
	ew_3	–0,03	0	–0,09	ew_4	0	+0,09	+0,089
Св. 50 до 80	es_3	0	–0,07	0	es_4	+0,10	+0,03	+0,03
	ei_3	–0,03	–0,10	–0,03	ei_4	+0,07	0	0
	ew_3	–0,10	0	–0,10	ew_4	0	+0,10	0
Св. 80 до 120	es_3	0	–0,08	0	es_4	+0,11	+0,03	+0,03
	ei_3	–0,03	–0,11	–0,03	ei_4	+0,08	0	0
	ew_3	–0,11	0	–0,11	ew_4	0	+0,11	+0,11

Учебное издание

**Марков Виктор Александрович
Соколова Виктория Александровна
Беленький Юрий Иванович**

Взаимозаменяемость и нормирование точности

Учебное пособие

Редактор и корректор Е. О. Тарновская
Техн. редактор Д. А. Романова

Учебное электронное издание сетевого распространения

Системные требования:
электронное устройство с программным обеспечением
для воспроизведения файлов формата PDF

Режим доступа: http://publish.sutd.ru/tp_get_file.php?id=202016, по паролю.
- Загл. с экрана.

Дата подписания к использованию 02.03.2026 г. Рег. № 5001/26

Высшая школа технологии и энергетики СПбГУПТД
198095, СПб., ул. Ивана Черных, 4.