

## ВВЕДЕНИЕ

Взаимозаменяемость, как свойство изделий или цель стандартизации, используется в различных сферах жизнедеятельности человека: науке, промышленности, медицине, быту и др. В машиностроении взаимозаменяемость играет особую роль: в сборочных процессах взаимозаменяемость проявляется как свойство независимо изготовленных деталей (сборочных единиц, механизмов, изделий) занимать свое место в сборочной единице (устройстве, конструкции) без дополнительной механической или ручной обработки при соединении частей изделия либо его деталей с обеспечением нормальной эксплуатации сборочной единицы, механизма, машины, устройства или конструкции.

В настоящее время ожидается качественно новое развитие отечественного машиностроения, обусловленное достижениями мировой науки, техники, организации производства. В основе совершенствования производства, его эффективности и дальнейшего научно-технического прогресса лежит Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» (в ред. Федерального закона от 28.09.2010 № 243-ФЗ). В третьей главе данного Закона отражены организационные основы стандартизации, взаимозаменяемость технических средств (машин, оборудования, их составных частей, комплектующих изделий и материалов) рассматривается как цель стандартизации в совокупности с обеспечением конкурентоспособности и качества продукции (работ и услуг), единства измерений и с другими формами деятельности предприятий на различных стадиях жизненного цикла изделий (проектирование, изготовление, эксплуатация, ремонт и др.).

Современные машиностроительные производства внедряют новые системы управления качеством, базирующиеся на международных стандартах серий ИСО 9000, ИСО 14000 и др. Стандартизация норм точности в машиностроении на основе взаимозаменяемости является одним из направлений обеспечения качества продукции. Обеспечение взаимозаменяемости на международном уровне позволяет изготовить сборочную единицу или деталь в одной стране и без подгонки собрать машину в другой, а эксплуатировать и ремонтировать — в третьей. Варьирование нормами точности дает возможность влиять не только на стоимость обработки деталей, но и на их ресурс.

В образовательной программе технических специальностей и направлений дисциплина «Взаимозаменяемость» занимает одно из

центральных мест. Обеспечение норм точности при изготовлении, эксплуатации и ремонте — важнейшая задача современной инженерии, от реализации которой зависят качество и надежность машин и механизмов.

Учебник разработан с целью закрепления теоретических положений дисциплины, выработки у будущих специалистов практических навыков по использованию и соблюдению требований стандартов и других нормативных документов при выполнении точностных расчетов, а также с целью метрологического обеспечения, подтверждения соответствия и оценки уровня качества продукции на стадиях проектирования, изготовления, эксплуатации и ремонта сельскохозяйственной техники.

В главе 13 рассмотрен комплексный пример по расчету и нормированию точностных параметров, а также метрологическому обеспечению измерений деталей, сопрягаемых с подшипниками качения. Этот материал соответствует по объему курсовой работе, выполняемой студентами по дисциплине «Взаимозаменяемость».

Учебник содержит большой справочный материал, а также 100 вариантов заданий для курсовой работы.

# **ГЛАВА 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТИ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ДОПУСКАХ И ПОСАДКАХ**

## **1.1. Взаимозаменяемость и ее виды**

Современное производство машин, оборудования, приборов, их эксплуатация и ремонт основываются на использовании принципа взаимозаменяемости деталей, сборочных единиц и агрегатов.

В период эксплуатации машины соединения, сборочные единицы и агрегаты приходится ремонтировать неоднократно. Надежность машины возрастет, если технологические процессы, применяемые при изготовлении и ремонте, будут находиться на уровне основного производства или выше его по двум главным параметрам: обеспечению долговечности путем повышения износостойкости поверхностей изделий; применению научно обоснованных норм точности изделий.

Научная деятельность, посвященная изучению вопросов обеспечения заданной точности геометрических параметров изделий (деталей, соединений, узлов, агрегатов, комплексов), имеет два взаимосвязанных направления — теория точности и взаимозаменяемость.

Приоритет в организации взаимозаменяемого производства в металлообрабатывающей промышленности принадлежит нашей стране. В России, за несколько десятков лет до Франции и США, в 1761 г. осуществлен принцип взаимозаменяемости — вначале на Тульском, а затем и на Ижевском оружейных заводах было организовано массовое производство ружей, и русским инженером П. И. Шуваловым были сформулированы основные принципы взаимозаменяемости.

О том, как решались эти задачи, можно найти ответ в книге французского инженера Кота «Методы изготовления огнестрельного оружия» (1806 г.). Он писал: «Я видел на Тульском оружейном заводе, когда из находившихся в приемной палате большого количества замков некоторые из этих замков были разобраны, части их перемешаны, а потом из этих частей вновь собраны замки; при этом все части приходились с такой точностью, будто бы намеренно подгонялись одна к другой».

В первом собрании законов Российской империи эпохи Петра I был помещен ряд указов, свидетельствующих о том, что уже в XVII–XVIII вв. в России внедрялись элементы взаимозаменяемости. Уже то-

гда появилось стремление все делать по образцам, с заранее установленными качественными и количественными показателями.

В конце XIX и XX вв. принципы взаимозаменяемости начинают внедряться в общем машиностроении при производстве станков, швейных машин.

Поэт В. В. Маяковский откликнулся на решение правительства «Об очередных задачах хозяйственного строительства» в 1920 г., в котором говорилось о необходимости организации массового выпуска запасных частей к паровозам, стихотворением «Нормализованная гайка»:

А если гайки одинаковые ввесть,  
Сломалась —

новая сейчас же есть.

И нечего долго разыскивать тут:

бери любую —

хоть эту, хоть ту!

И не только в гайке наше счастье.

Надо всем машинам одинаковые части...

При проектировании и ремонте машин нужно совмещать прогрессивные способы восстановления в сочетании с научно обоснованными нормами точности и взаимозаменяемости.

Рассмотрим термин «взаимозаменяемость». В 1969 г. профессор А. И. Иванов, основоположник классической кривой изнашивания, в своих работах дал следующее определение: «Взаимозаменяемостью называется принцип конструирования, производства и эксплуатации машин, обеспечивающий возможность сборки или замены в процессе ремонта независимо изготовленных соединяемых деталей и узлов без дополнительной обработки и подгонки при условии, что эксплуатационные показатели работы машин будут находиться в заданных пределах».

Профессор А. И. Якушев в те же годы дает другое определение: «Взаимозаменяемостью изделий (машин, механизмов и т. д.), их частей или других видов продукции (сырья, материалов, полуфабрикатов и т. д.) называют их свойство равноценно заменять при использовании любой из множества экземпляров изделий, их частей или иной продукции другим однотипным экземпляром».

Международный стандарт ISO 8402:1994 (E/F/R) «Управление качеством и обеспечение качества — словарь» дает такое определение: «Взаимозаменяемость — способность объекта быть использо-

ванным без модификаций вместо другого для выполнения тех же требований».

В международном стандарте ISO/IEC QUIDE 2:1996 (E/F/R) приводится уже следующее определение: «Взаимозаменяемость — пригодность одного изделия, процесса или услуги для использования вместо другого изделия, процесса или услуги в целях выполнения одних и тех же требований», причем функциональный аспект взаимозаменяемости называется «функциональная взаимозаменяемость», а размерный аспект — «размерная (геометрическая) взаимозаменяемость». Данный документ дает более полное определение понятию «взаимозаменяемость» с точки зрения широты и унификации его использования, а понятия функциональной и размерной взаимозаменяемости были рассмотрены и описаны нашими учеными — А. И. Ивановым и А. И. Якушевым более глубоко и подробно применительно к изделиям машиностроения [7, 14].

В ряде случаев некоторые геометрические, механические и физические параметры в значительной степени непосредственно влияют на эксплуатационные качества машины. Все эти параметры, величина и отклонение которых влияют на эксплуатационные показатели машин, называются *функциональными*. Отсюда взаимозаменяемость, при которой обеспечиваются не только бесподгонная собираемость деталей и замена их при ремонте, но и оптимальные эксплуатационные показатели (прочность, износостойкость, мощность, производительность) машин, называется *функциональной взаимозаменяемостью*.

В процессе технического обслуживания и ремонта машин необходимо добиваться, чтобы все функциональные параметры ремонтируемого изделия находились в заданных пределах длительное время, иначе снизится долговечность и увеличатся потери материальных и трудовых ресурсов, связанные с необходимостью повторного ремонта, возрастут убытки от простоя машин и т. д. Нахождение этих пределов — сложная инженерная задача, требующая конкретизации и учета множества факторов.

Можно выделить несколько видов взаимозаменяемости по различным классификационным признакам:

полная и неполная (ограниченная) взаимозаменяемость. Когда размеры деталей выполнены с точностью, позволяющей проводить сборку изделия или замену деталей при ремонте без какой-либо дополнительной обработки, подбора или регулирования, то это *полная*

*взаимозаменяемость*. При этом гарантируется работоспособность изделия, и соблюдаются все технические требования к нему.

*Неполная (ограниченная) взаимозаменяемость*, когда невозможно выполнить сборку изделия с заданной точностью, поэтому допускаются разбиение деталей на группы (селективная сборка) или подбор деталей из брака (процентная взаимозаменяемость), а также применение компенсаторов, регулирование положения некоторых элементов сборочных единиц, индивидуальный подбор деталей и другие дополнительные мероприятия.

Размерная (геометрическая) и параметрическая взаимозаменяемость

Взаимозаменяемость только по присоединительным размерам — *размерная взаимозаменяемость*.

Например, замена стартера, генератора, тормозных дисков, коллодок, подшипников качения — обеспечивается разборка и сборка изделия без дополнительных операций пригонки по месту.

*Параметрическая взаимозаменяемость* обеспечивается не только размерами, но и гарантированием выполнения всех требований технической документации.

Например, генератор должен выдавать определенное напряжение и силу тока при заданной частоте вращения, стартер — отдавать энергию, необходимую для запуска двигателя.

Внешняя и внутренняя взаимозаменяемость

При взаимозаменяемости отдельных изделий и составных частей, собираемых в более крупные по эксплуатационным показателям, а также по размерам и форме присоединительных поверхностей имеет место внешняя взаимозаменяемость.

Например, в электродвигателях внешняя взаимозаменяемость осуществляется по числу оборотов вала и мощности, а также по размерам присоединительных поверхностей, в подшипниках качения — по наружному диаметру наружного кольца и внутреннему диаметру внутреннего кольца, ширине подшипника, а также по классу точности.

*Внутренняя взаимозаменяемость* распространяется на детали, составляющие отдельные узлы, или на составные части и механизмы, входящие в изделие.

Например, внутреннюю взаимозаменяемость имеют поршневые пальцы и втулки верхней головки шатуна, групповую внутреннюю взаимозаменяемость — корпуса гидрораспределителей и золотники.

Взаимозаменяемость нельзя свести только к способу облегчения сборки независимо изготовленных деталей и узлов, взаимозаменяемость — это идеология современного производства, охватывающая все вопросы производства, включая проектирование, изготовление и эксплуатацию изделий с учетом требований экономики.

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

*Уровень взаимозаменяемости производства* можно характеризовать коэффициентом взаимозаменяемости

$$K_{\text{в}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где  $T_{\text{в}}$  — трудоемкость изготовления взаимозаменяемых деталей и сборочных единиц;  $T_{\Sigma}$  — общая трудоемкость изготовления изделия.

Степень приближения коэффициента взаимозаменяемости  $K_{\text{в}}$  к единице является объективным показателем технического уровня производства.

Перечислим достоинства взаимозаменяемого производства:

упрощение процесса проектирования. Не требуется заново разрабатывать точностные требования к деталям и узлам, а надо выбрать нужные из соответствующих нормативно-технических документов;

обеспечение широкой специализации и кооперирования. Унификация требований к деталям и узлам позволяет изготавливать их на базе специализированных заводов, расположенных в разных городах;

удешевление производства. При производстве одинаковых деталей или узлов в течение ряда лет возникает возможность создания специализированного оборудования, обладающего высокой производительностью. Чем больше серийность выпуска, тем дешевле стоимость одного изделия;

обеспечение организации поточного производства. При взаимозаменяемом производстве можно легко организовать конвейерную сборку изделий;

упрощение процесса сборки. Операция сборки взаимозаменяемых изделий может быть легко автоматизирована, и при этом не требуется высокой квалификации обслуживающего персонала;

упрощение ремонта. При использовании взаимозаменяемых деталей ремонт заключается в простой замене детали или узла, что сокращает время простоя машины и увеличивает надежность и экономичность ее эксплуатации.

## 1.2. Основные понятия и определения

Термины и определения, приведенные ниже, соответствуют ГОСТ 25346-89 и ИСО 286/1-88.

Детали, полностью или частично входящие одна в другую, образуют *соединение*.

В соединениях деталей различают элементы:

*вал* — термин, условно применяемый для обозначения наружных элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы;

*отверстие* — термин, условно применяемый для обозначений внутренних элементов деталей, включая и нецилиндрические элементы.

Размеры, относящиеся к отверстиям, обозначаются прописной ( $D$ ), а к валам — строчной ( $d$ ) буквами латинского алфавита.

Термины «отверстие» и «вал» условны и относятся не только к гладким цилиндрическим элементам.

Например, в соединении «шпонка — паз вала — паз втулки» шпонка является валом, а пазы — отверстиями.

Соединения бывают:

*подвижные* — когда одна деталь во время работы перемещается относительно другой в определенных направлениях;

*неподвижные* — когда одна деталь неподвижна относительно другой в течение всего времени работы.

Элементы деталей, из которых состоят соединения, характеризуются размерами.

*Размер* — числовое значение линейной величины (диаметра, длины и т. п.) в выбранных единицах измерения [ $D$ ,  $d$ ,  $L$ ,  $l$  — диаметр отверстия ( $D$ ) или вала ( $d$ ), длина отверстия ( $L$ ) или вала ( $l$ )].

В машиностроении размеры указывают в миллиметрах:

$1 \text{ м} = 1000 \text{ мм} = 1\,000\,000 \text{ мкм}$ ;  $1 \text{ мм} = 1000 \text{ мкм}$ ;  $1 \text{ мкм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ мм} = 0,001 \text{ мм}$ .

*Действительный размер* — размер элемента, установленный измерением с допускаемой погрешностью ( $D_e$ ,  $d_e$ ,  $L_e$ ,  $l_e$ ).

Избежать рассеяния действительных размеров при обработке невозможно, поэтому принято зону рассеяния ограничивать установленными предельными размерами (рис. 1).

*Предельные размеры* — два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться (или которым может быть равен) действительный размер.

*Наибольший предельный размер* — наибольший допустимый размер элемента ( $D_{\max}$ ,  $d_{\max}$ ,  $L_{\max}$ ,  $l_{\max}$ ).

*Наименьший предельный размер* — наименьший допустимый размер элемента ( $D_{\min}, d_{\min}, L_{\min}, l_{\min}$ ).

*Номинальный размер* — размер, относительно которого определяются отклонения ( $D_n, d_n, L_n, l_n$ ).

Этот размер определяется расчетами на прочность, жесткость, усталость или выбирается из конструктивных соображений, а затем округляется до ближайшего, как правило, большего размера из ряда нормальных линейных размеров по ГОСТ 6636-69.

*Нулевая линия* — линия, соответствующая номинальному размеру, от которой откладываются отклонения размеров при графическом изображении полей допусков и посадок.

На схемах расположения полей допусков и посадок принято изображать не всю деталь, как показано на рисунке 1, а только нулевую линию, номинальный размер, поля допусков и отклонения (рис. 2).

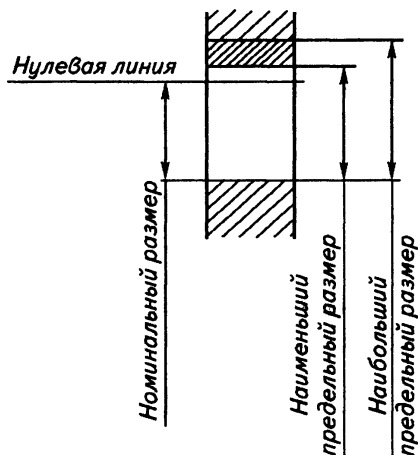


Рис. 1

Номинальный и предельные размеры отверстия

*Отклонение* — алгебраическая разность между размером (действительным или предельным) и соответствующим номинальным размером ( $E, e$ ).

*Действительное отклонение* — алгебраическая разность между действительным и соответствующим номинальным размерами ( $E_e, e_e$ ):

$$E_e = D_e - D_n \text{ — для отверстия;} \quad (2)$$

$$e_e = d_e - d_n \text{ — для вала.} \quad (3)$$

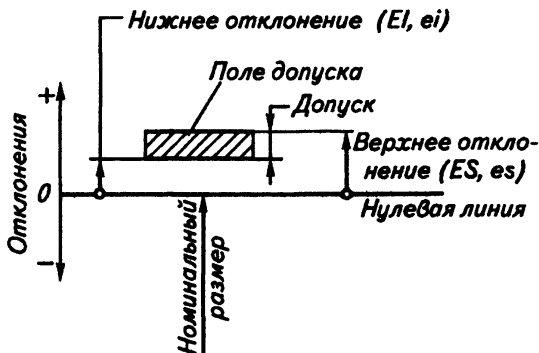


Рис. 2

Отклонения, поле допуска

*Предельное отклонение* — алгебраическая разность между предельным и соответствующим номинальным размерами. Различают верхнее и нижнее предельные отклонения.

*Верхнее отклонение* — алгебраическая разность между наибольшим предельным и соответствующим номинальным размерами ( $ES, es$  — Error super), (см. рис. 2):

$$ES = D_{\max} - D_n \text{ — для отверстия;} \quad (4)$$

$$es = d_{\max} - d_n \text{ — для вала.} \quad (5)$$

*Нижнее отклонение* — алгебраическая разность между наименьшим предельным и соответствующим номинальным размерами ( $EI, ei$  — Error inner), (см. рис. 2):

$$EI = D_{\min} - D_n \text{ — для отверстия;} \quad (6)$$

$$ei = d_{\min} - d_n \text{ — для вала.} \quad (7)$$

*Среднее отклонение* — среднее арифметическое верхнего и нижнего отклонений ( $EC, ec$ ):

$$EC = (ES + EI)/2 \text{ — для отверстия;} \quad (8)$$

$$ec = (es + ei)/2 \text{ — для вала.} \quad (9)$$

*Допуск* — разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами или алгебраическая разность между верхним и нижним отклонениями ( $T$  — Tolerance):

$$T_D = D_{\max} - D_{\min} = ES - EI \text{ — допуск размера отверстия;} \quad (10)$$

$$T_d = d_{\max} - d_{\min} = es - ei \text{ — допуск размера вала.} \quad (11)$$

Допуск характеризует степень точности изготовления элемента. Это интервал, в пределах которого должны находиться действительные размеры годных деталей.

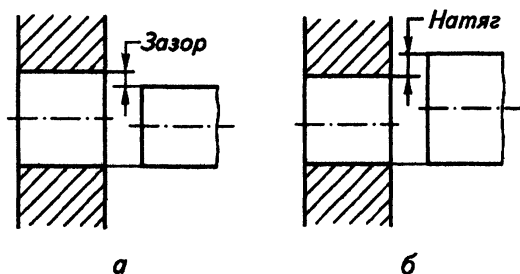
*Поле допуска* — поле, ограниченное наибольшим и наименьшим предельными размерами и определяемое величиной допуска и его положением относительно номинального размера. При графическом изображении поле допуска заключено между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям относительно нулевой линии (см. рис. 2).

*Зазор* — разность между размерами отверстия и вала до сборки, если размер отверстия больше размера вала (рис. 3а):

$$S = D - d. \quad (12)$$

*Натяг* — разность между размерами вала и отверстия до сборки, если размер вала больше размера отверстия (рис. 3б):

$$N = d - D. \quad (13)$$



**Рис. 3**

Образование зазора (а) и натяга (б)

Исходя из формул (12) и (13), можно получить уравнения:

$$N = -S; S = -N, \quad (14)$$

т. е. зазор, уменьшаясь, переходит в натяг, и наоборот, натяг, уменьшаясь, переходит в зазор.

Рассеяние действительных размеров деталей в пределах допуска неизбежно приводит к колебаниям зазоров и натягов в собираемых соединениях.

*Наименьший зазор* — разность между наименьшим предельным размером отверстия и наибольшим предельным размером вала в посадке с зазором.

$$S_{\min} = D_{\min} - d_{\max}. \quad (15)$$

*Наибольший зазор* — разность между наибольшим предельным размером отверстия и наименьшим предельным размером вала в посадке с зазором или в переходной посадке.

$$S_{\max} = D_{\max} - d_{\min}. \quad (16)$$

*Наименьший натяг* — разность между наименьшим предельным размером вала и наибольшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом:

$$N_{\min} = d_{\min} - D_{\max}. \quad (17)$$

*Наибольший натяг* — разность между наибольшим предельным размером вала и наименьшим предельным размером отверстия до сборки в посадке с натягом или в переходной посадке:

$$N_{\max} = d_{\max} - D_{\min}. \quad (18)$$

*Действительный зазор* — разность действительных размеров отверстия и вала до сборки:

$$S_e = D_e - d_e. \quad (19)$$

*Действительный натяг* — разность действительных размеров вала и отверстия до сборки:

$$N_e = d_e - D_e. \quad (20)$$

*Посадка* — характер соединения двух деталей, определяемый разностью их размеров до сборки. Посадка характеризует степень подвижности одной детали относительно другой. Существует три вида посадок.

*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 (рис. 4 и 5а).

Схема, показанная на рисунке 4, достаточно наглядна, но не может быть вычерчена в масштабе из-за очень большой разницы между величинами размеров, отклонений и допусков. Поэтому для практических целей пользуются более простой схемой полей допусков, взятой из правой части рисунка 4, где за начало отсчета предельных отклонений принята нулевая линия (см. рис. 5а). Для удобства написания величин нулевую линию можно располагать вертикально (см. рис. 5а).

*Посадка с натягом* — посадка, при которой всегда образуется натяг в соединении, т. е. наибольший предельный размер отверстия меньше наименьшего предельного размера вала или равен ему (см. рис. 5б).

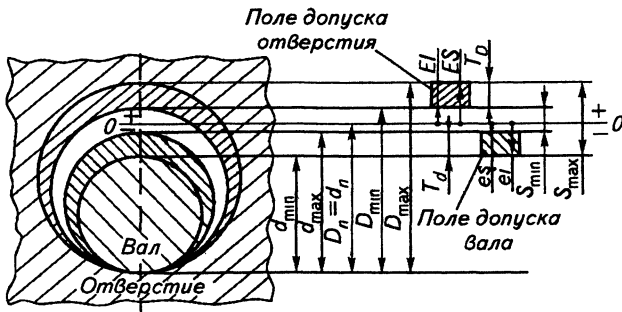


Рис. 4

Графическое изображение деталей соединения и схемы расположения полей допусков

*Переходная посадка* — посадка, при которой возможно получение как зазора, так и натяга в соединении, в зависимости от действительных размеров отверстия и вала (см. рис. 5б).

*Допуск посадки* — сумма допусков отверстия и вала, составляющих соединение ( $T_{\Delta}$ ;  $T_S$ ;  $T_N$ ):  
в общем случае

$$T_{\Delta} = T_D - T_d, \quad (21)$$

допуск посадки с зазором:

$$\begin{aligned} T_{\Delta} = T_S = S_{\max} - S_{\min} &= (D_{\max} - d_{\min}) - (D_{\min} - d_{\max}) = \\ &= D_{\max} - D_{\min} + d_{\max} - d_{\min} = T_D + T_d, \end{aligned} \quad (22)$$

аналогично для посадки с натягом:

$$T_{\Delta} = T_N = N_{\max} - N_{\min} = T_D + T_d, \quad (23)$$

для переходной посадки:

$$T_{\Delta} = S_{\max} + N_{\max} = T_D + T_d, \quad (24)$$

потому что

$$S_{\max} = -N_{\min}, \quad (25)$$

$$S_{\min} = -N_{\max}. \quad (26)$$

### 1.3. Обозначение допусков и посадок в документах

Номинальный размер и предельные отклонения указывают в технической документации (в пояснительных записках, на чертежах, в технологических картах) в миллиметрах. Отклонения записывают с

правой стороны от величины номинального размера, при этом верхнее отклонение записывают сверху, а нижнее внизу, со своим знаком «+» или «-». Отклонения, равные нулю, на чертеже не проставляют.

Например:

$20_{+0,004}^{+0,016}$  — верхнее отклонение  $es = +0,016$  мм, нижнее отклонение  $ei = +0,004$  мм;

$120_{+0,025}^{+0,025}$  — верхнее отклонение  $es = +0,025$  мм, нижнее отклонение  $ei = 0$  мм;

$45_{-0,015}^{0}$  — верхнее отклонение  $es = 0$  мм, нижнее отклонение  $ei = -0,015$  мм.

При равенстве абсолютного значения верхнего и нижнего отклонений его указывают один раз со знаком «±».

Например:

$180 \pm 0,045$  — верхнее отклонение  $es = +0,045$  мм, нижнее отклонение  $ei = -0,045$  мм.

Отклонения должны содержать одинаковое количество знаков.

Например:

$16_{-0,03}^{-0,01}$  — верхнее отклонение  $es = -0,01$  мм, нижнее отклонение  $ei = +0,03$  мм;

$65 - 0,2$  — верхнее отклонение  $es = 0$  мм, нижнее отклонение  $ei = -0,2$  мм.

Если одно из отклонений не является круглым числом, то нули пишутся.

Например:

$16_{-0,030}^{-0,015}$  — верхнее отклонение  $es = -0,015$  мм, нижнее отклонение  $ei = +0,030$  мм.

Посадки обозначают в виде дроби: в числителе отклонения отверстия, в знаменателе — вала.

Например:

$16_{-0,015}^{+0,030} /_{-0,030}^{+0,055}$  — отверстие  $16_{+0,030}^{+0,055}$ , вал  $16_{-0,030}^{-0,015}$ . Можно дробь делать

косой —  $16_{+0,030}^{+0,055} /_{-0,030}^{-0,015}$ .

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)