

Ю.В. Федоров

**Взаимозаменяемость. Допуски, посадки,
измерения**

Тесты и задачи. Справочные материалы

УДК 62-63
ББК 30.6
Ю11

Ю.В. Федоров
Ю11 Взаимозаменяемость. Допуски, посадки, измерения: Тесты и задачи. Справочные материалы / Ю.В. Федоров – М.: Lennex Corp, — Подготовка макета: Издательство Нобель Пресс, 2024. – 140 с.

ISBN 978-5-458-69426-1

В работе приводятся теоретические сведения и указания по выполнению лабораторных и практических работ по курсам «Основы взаимозаменяемости», «Измерение физических величин». Издание предназначено для подготовки студентов. Направления подготовки: 200100 – Приборостроение, 220401 – Мехатроника. Оно может быть полезно для студентов, аспирантов, преподавателей ВУЗов, научных работников и инженеров, занимающихся разработкой и эксплуатацией точных приборов и систем.

ISBN 978-5-458-69426-1

© Издательство Нобель Пресс, 2024
© Ю.В. Федоров, 2024

Содержание

	Стр.
Глава 1. Основные понятия и определения	4
Примеры решения задач	13
Тесты	14
Контрольные вопросы	17
Глава 2. Соединения и посадки	18
Примеры решения задач	41
Тесты	43
Контрольные вопросы	44
Глава 3. Посадки типовых соединений	45
Примеры решения задач	59
Тесты	59
Контрольные вопросы	61
Глава 4. Размерные цепи	61
Примеры решения задач	77
Тесты	78
Контрольные вопросы	80
Глава 5. Точность формы и расположения поверхностей.	
Шероховатость поверхностей	81
Примеры решения задач	101
Тесты	102
Контрольные вопросы	105
Глава 6. Взаимозаменяемость зубчатых колёс и передач	106
Примеры решения задач	111
Тесты	112
Контрольные вопросы	113
Глава 7. Измерения физических величин	113
Контрольные вопросы	138
Приложение	139
Принятые сокращения	139
Литература	141

Глава 1. Основные понятия и определения

Взаимозаменяемость – это свойство совокупности независимо изготовленных изделий или их частей заменять во время сборки один экземпляр другим без пригонки или регулировки (рис. 1).

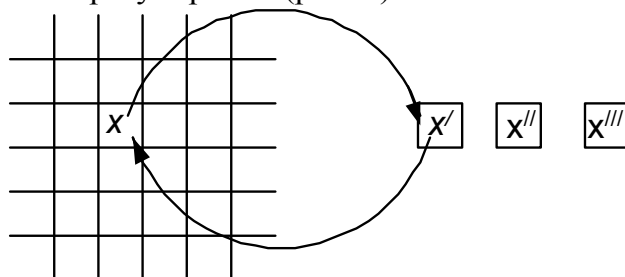


Рис. 1. Взаимозаменяемость

Возможность таких замен обеспечивается тем, что при конструировании требования к точности (т.е. допустимые отклонения функциональных параметров) устанавливаются исходя из принципа взаимозаменяемости.

Различают виды взаимозаменяемости:

1. Полная взаимозаменяемость – когда обеспечивается возможность беспригоночной сборки (или замены при ремонте) любых, независимо изготовленных с заданной точностью однотипных деталей.

2. Неполная взаимозаменяемость – когда требуется либо применение компенсаторов (прокладки, шайбы), либо требуется дополнительная обработка одного из параметров детали, либо селекция.

3. Размерная (геометрическая) и параметрическая взаимозаменяемости деталей.

4. Внешняя и внутренняя взаимозаменяемость (внешняя – взаимозаменяемость по выходным данным, таким как присоединительные или эксплуатационные параметры; внутренняя – взаимозаменяемость отдельных деталей, входящих в узел или узлов, входящих в изделие).

Изготавливать детали так, чтобы их размеры, форма и расположение поверхностей абсолютно точно соответствовали (были равны) номинальным параметрам, указанным на чертеже, невозможно, так как неизбежны погрешности изготовления. Источниками погрешностей изготовления являются объективные факторы, присущие конкретным характеристикам системы «станок-приспособление-инструмент-деталь», а также субъективные факторы, такие, как квалификация работника, климатические условия и др. Допустимая величина погрешностей изготовления определяется исходя из оценки эксплуатационных параметров изделия.

Аналогично, невозможно абсолютно точно измерить размеры и другие габаритные характеристики деталей, составляющих изделия, что также обусловлено множеством объективных и субъективных причин (классом

точности средств измерений, квалификацией работника, условиями измерений и др.)

Виды отклонений геометрических параметров

1. Отклонения размеров;
2. Отклонения расположения поверхностей;
3. Отклонения формы поверхностей;
4. Отклонения шероховатости поверхностей.

Источники погрешностей обработки деталей, приводящие к отклонениям параметров

1. Неточности станка;
2. Неточности приспособления;
3. Неточности установки инструмента;
4. Деформации обрабатываемых деталей.

Достоинства взаимозаменяемости:

1. Упрощается процесс проектирования;
2. Упрощается сборка изделий;
3. Снижается квалификация исполнителей;
4. Удешевляется производство;
5. Обеспечиваются специализация, кооперация и предпосылки организации

поточного производства.

Стандартизация

Важнейшим фактором обеспечения взаимозаменяемости является стандартизация – деятельность, направленная на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области (в данном случае – приборостроении). Основными принципами стандартизации являются: сбалансированность интересов разработчиков; системность и комплексность – рассмотрение каждого объекта разработки, как части более сложной системы; динамичность и опережающее развитие стандартизации, учитывающие возможность появления новых изделий и технологических процессов.

Закон о стандартизации №5154 от 10.06.1993 г. Содержит нормативные документы по стандартизации; данные о системе государственного контроля и надзора за стандартами; сведения об ответственности за нарушение стандартов.

Размеры

Чтобы действительный размер обеспечивал функциональную годность детали, нет необходимости стремиться к возможной наивысшей точности, вызывающей неоправданное удорожание производства. Исходя из анализа эксплуатационных факторов, конструктор определяет возможную величину погрешности («вилку размера»), при которой изделие будет соответствовать назначению. Таким образом, после расчета номинального размера устанавливают два предельных размера: наибольший и наименьший, определяющие возможные колебания размеров годных деталей. На чертежах эти наибольшие и наименьшие размеры указываются в виде предельных отклонений от номинального размера.

Основные определения

Основные определения иллюстрируются рис. 2.

Размер – это числовое значение величины (диаметры, длины, глубины и т. д.), в выбранных единицах измерения.

Номинальный размер (D, d, L, \dots) – это размер относительно которого определяются отклонения и который указывается на чертеже.

Номинальный размер соединения – общий для соединяемых деталей основной размер, то есть общий для отверстия и вала номинальный размер ($D=d$).

Действительный размер – это размер, установленный измерением (с допустимой погрешностью).

Предельные размеры (D_{max} и D_{min} , d_{max} и d_{min}) – два предельно допустимых размера элемента, между которыми должен находиться, или которым может быть равен действительный размер.

Разрабатываемые приборы, узлы, детали характеризуются определёнными геометрическими и функциональными параметрами, выполненными с определённой *степенью приближения* к расчётным, то есть с тем или иным допуском (T).

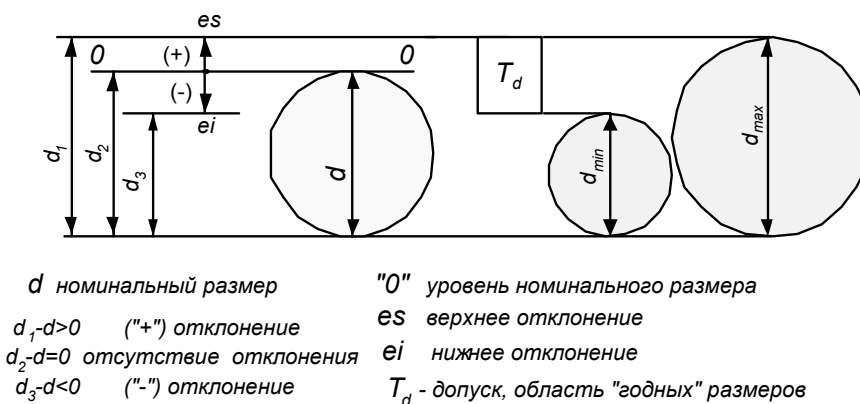


Рис. 2. Основные обозначения

Основные виды размеров (рис. 3):

1. Наружные (1), охватываемые (измерительным инструментом), обобщённое название – «валы». При обработке поверхности, формирующей размер (обточке), размер вала уменьшается (1^1);

2. Внутренние (2), охватывающие мерительный инструмент, обобщённое название – «отверстия». При обработке (расточке) отверстия его размер увеличивается (2^1);

3. Ступенчатые (3) или свободные размеры (глубина паза, высота уступа). При обработке размер может, как уменьшаться (3^1), так и увеличиваться (3^1).

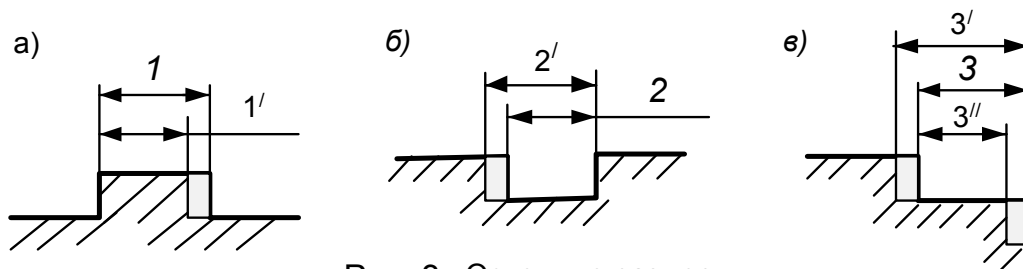


Рис. 3 . Основные размеры

Другие виды размеров (рис. 4):

1. Угловые;
2. Радиусные;
3. Размеры криволинейных поверхностей сложного сечения задаются таблично, как $y = f(x)$,
4. Прочие размеры, например, длина резьбовой части, зона термообработки и т. д.

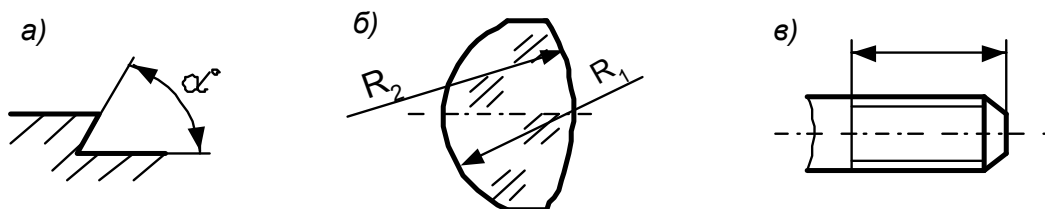


Рис. 4 . "Другие" размеры

Пример определения вида размера: размеры шпоночного соединения (рис. 5):

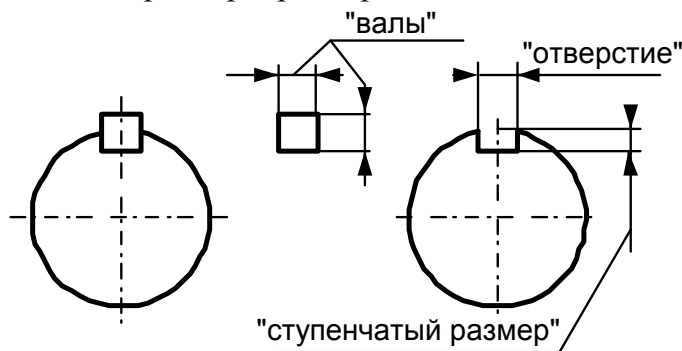


Рис. 5. Виды размеров

Нанесение размеров на чертежах

Способы нанесения размеров (рис. 6):

1. Цепной способ (рис. 6а). Обеспечивается точность расположения каждого последующего звена относительно предыдущего. Недосток – последовательное снижение точности расположения элементов относительно некоторой общей базы.

2. Координатный способ (рис. 6б). Размеры устанавливаются как координаты относительно базы, общей для всех размеров. Обеспечивается наибольшая точность расположения элементов относительно общей базы. При этом не всегда можно удовлетворить все конструктивно-сборочные требования.

3. Комбинированный способ (рис. 6в) – наиболее распространённый на практике. Обеспечиваются необходимая точность исполнения наиболее ответственных размеров (указанием размеров цепным способом), а для элементов, требующих точного расположения размеры указываются относительно общей базы, то есть, координатным способом.

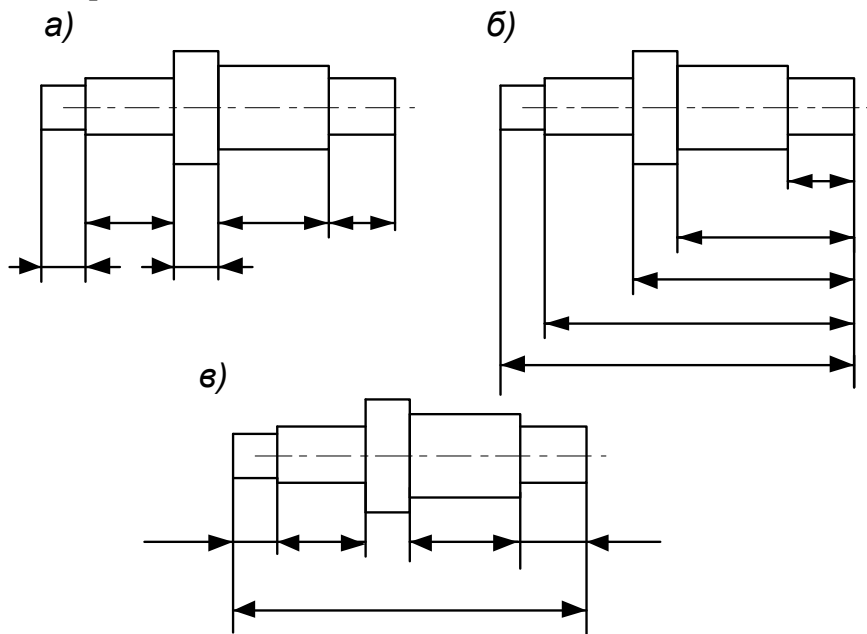


Рис. 6. Способы простановки размеров

При нанесении размеров на чертеже деталь должна рассматриваться не изолированно, а во взаимодействии с другими деталями сборочной единицы, то есть, размеры следует наносить от *конструкторских баз*.

Базой называется поверхность или ось, относительно которой определяется положение других поверхностей или осей детали. Конструкторской базой называют поверхность или сочетание поверхностей, принадлежащих детали, и используемых для определения ее положения в изделии. Если конструкторская база определяет собственное положение детали, она называется основной; если же конструкторская база определяет положение присоединяемых деталей, она называется вспомогательной (рис.7). Поверхности стоек 2 и 5, контактирующие с основанием 1 являются основными, так как они определяют положение в узле самих стоек 2 и 5. Верхняя поверхность основания 1, определяющая положение не самого основания, а стоек 2 и 5, является вспомогательной конструкторской базой. Отверстия в стойках являются вспомогательными, а поверхности вала 3, входящие в эти отверстия – основные. Напротив, поверхность средней части вала является вспомогательной конструкторской базой по отношению к посадочному отверстию шестерни 4.

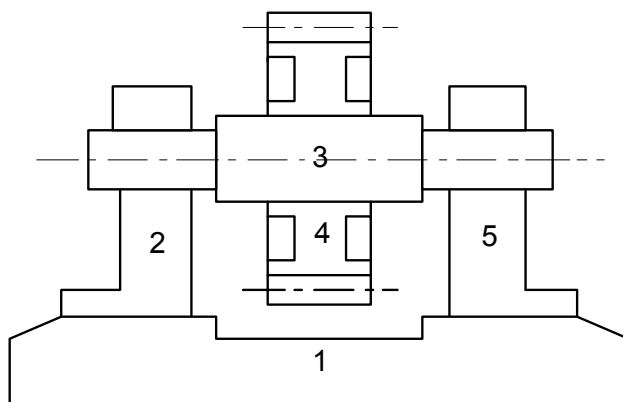


Рис. 7. Конструкторские базы

Предпочтительные числа и ряды предпочтительных чисел, и ряды нормальных линейных размеров.

Любой размер, полученный в результате расчёта или выбранный по конструктивным соображениям, должен быть округлён до ближайшего (как правило, большего) значения из ряда нормальных линейных размеров и уже в таком виде может быть нанесён на чертёж. ГОСТ 6636-69 содержит четыре основных ряда чисел от 0.001 до 20000 мм. Эти ряды размеров представляют собой геометрические прогрессии $a_n = a_1 q^{n-1}$, со знаменателем $q = \sqrt[n]{10}$, где R – номер десятичного ряда, равный 5, 10, 20 и 40. Стандарт построен на основе рядов предпочтительных чисел, принятых во всём мире в качестве универсальной системы числовых значений любых параметров и размеров. Для размеров от 1 до 10 мм ряд $Ra5$ (табл. 1) содержит только 5 чисел (1; 1.6; 2.5; 4; 6.3), ряд $Ra10$ - 10, ряд $Ra20$ - 20, ряд $Ra40$ - 40 чисел. Размеры менее 1 и более 9.5 получают умножением чисел таблицы на 0.01; 0.1; 10 и 100. Исключение составляют числа 115 и 120 мм, вместо которых употребляются 120 и 125 мм соответственно.

Нормальные линейные размеры

Таблица 1

Ra5	Ra10	Ra20	Ra40	Ra5	Ra10	Ra20	Ra40
1.0	1.0	1.0	1.0		3.2	3.2	3.2
			1.05				3.4
		1.1	1.1			3.6	3.6
			1.15				3.8
	1.2	1.2	1.2	4.0	4.0	4.0	4.0
			1.3				4.2
		1.4	1.4			4.5	4.5
			1.5				4.8
1.6	1.6	1.6	1.6		5.0	5.0	5.0
			1.7				5.3
		1.8	1.8			5.6	5.6
			1.9				6.0

	2.0	2.0	2.0	6.3	6.3	6.3	6.3
			2.1				6.7
		2.2	2.2			7.1	7.1
			2.4				7.5
2.5	2.5	2.5	2.5		8.0	8.0	8.0
			2.6				8.5
		2.8	2.8			9.0	9.0
			3.0				9.5

Допуски и отклонения размеров

Допуск размера T , (рис. 8) есть разность между наибольшим и наименьшим предельными размерами. T определяет величину возможного изменения (допустимого рассеяния) действительных размеров годных деталей, то есть заданную точность обработки. Допуски внутренних и наружных размеров называются соответственно допуском отверстия $T_D = D_{\max} - D_{\min}$ и допуском вала $T_d = d_{\max} - d_{\min}$.

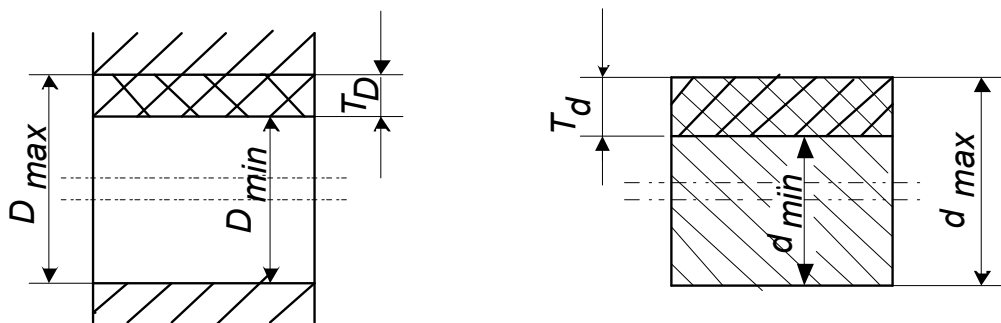


Рис. 8. Допуски и отклонения размеров

Обозначения размеров на чертежах

На чертеже вместо двух размеров: наибольшего и наименьшего из возможных, проставляют номинальный размер и его предельные отклонения (рис. 9): D_{EI}^{ES} – для отверстия и d_{ei}^{es} – для вала.

Верхним отклонением (отверстия ES, вала es, других видов размеров Es) называется алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами, т.е. наибольший предельный размер задается верхним отклонением от номинального размера

$$ES = D_{\max} - D; \quad es = d_{\max} - d; \quad Es = L_{\max} - L.$$

Нижним отклонением (отверстия EI, вала ei, других видов размеров Ei) называется алгебраическая разность между наименьшим предельным и номинальным размерами, т.е. наименьший предельный размер задается нижним отклонением от номинального размера

$$EI = D_{\min} - D; \quad ei = d_{\min} - d; \quad Ei = L_{\min} - L;$$

Средним отклонением (отверстия E_m , вала e_m , других размеров) называется алгебраическая разность между средним и номинальным размерами:

$$Em = D_m - D; \quad e_m = d_m - d; \quad \Delta_m = L_m - L$$

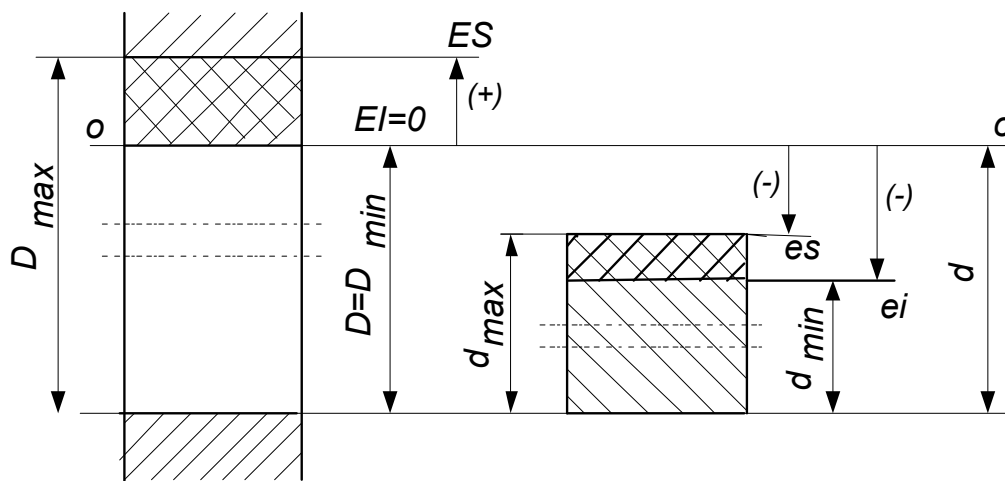


Рис. 9. Обозначения отклонений

При графической иллюстрации понятий допусков вместо полного изображения отверстий и валов с предельными размерами применяют схематичные – с указанием предельных отклонений относительно так называемой нулевой линии – горизонтальной линии, соответствующей номинальному размеру, от которой откладываются предельные отклонения размеров (мкм), вверх – со знаком плюс и вниз – со знаком минус, (рис. 10).

Зона, заключенная между двумя линиями, соответствующими верхнему и нижнему отклонениям, называется полем допуска. Поле допуска отличается от допуска тем, что оно определяет не только величину, но и расположение относительно номинального размера.

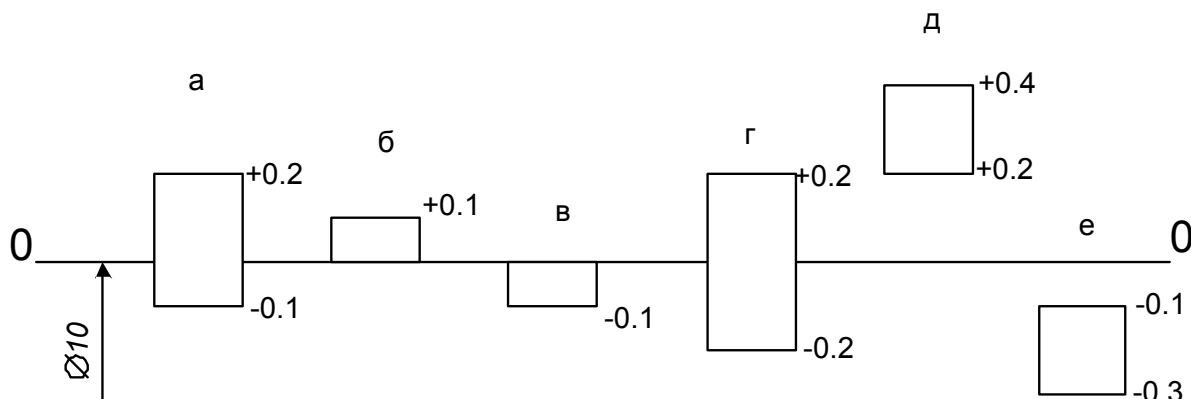


Рис. 10. Расположение полей допусков

Поле допуска по отношению к нулевой линии может располагаться по-разному: асимметричное двустороннее расположение (рис. 10.а; $10_{-0.1}^{+0.2}$), асимметричное одностороннее с нижним отклонением, равным нулю (рис. 10.б; $10^{+0.1}$), асимметричное одностороннее с верхним отклонением, равным нулю (рис. 10.в; $10_{-0.1}$), симметричное двустороннее (рис. 10, г; 10 ± 0.2), асимметричное одностороннее с плюсовыми отклонениями (рис. 10.д; $10_{+0.2}^{+0.4}$), асимметричное одностороннее с минусовыми отклонениями (рис. 10.е; $10_{-0.3}^{-0.1}$).

Пример правильности чтения размеров иллюстрируется таблицей 2.
Иллюстрация обозначения размеров на чертежах

Таблица 2

Основные понятия, выявляемые при чтении размера	Обозначение размера на чертеже, мм					
	$10_{-0.1}^{+0.2}$	$10^{+0.1}$	$10_{-0.1}$	10 ± 0.2	$10_{+0.2}^{+0.4}$	$10_{-0.3}^{-0.1}$
Номинальный размер, мм	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
Верхнее предельное отклонение, мм	+0.2	+0.1	0	+0.2	+0.4	-0.1
Нижнее предельное отклонение, мм	-0.1	0	-0.1	-0.2	+0.2	-0.3
Наибольший предельный размер, мм	10.2	10.1	10.0	10.2	10.4	9.9
Наименьший предельный размер, мм	9.9	10.0	9.9	9.8	10.2	9.7
Допуск, мм	0.3	0.1	0.1	0.4	0.2	0.2

Условие годности

Действительный размер (установленный измерением) будет годным, если он окажется не больше наибольшего предельного размера и не меньше наименьшего предельного размера. Следует подчеркнуть, что действительный размер сравнивается с предельными размерами, а не с номинальным размером, который лишь является исходным для назначения предельных размеров.

Пример определения годности размеров иллюстрируется таблицей 3.

Определение годности действительных размеров

Таблица 3

Действительные размеры, мм	Обозначение размера на чертеже, мм					
	$10_{-0.1}^{+0.2}$	$10^{+0.1}$	$10_{-0.1}$	10 ± 0.2	$10_{+0.2}^{+0.4}$	$10_{-0.3}^{-0.1}$
	Заключение о годности					
9.7	брак	брак	брак	брак	брак	годен
9.9	годен	брак	годен	годен	брак	годен
10.0	годен	годен	годен	годен	брак	брак
10.1	годен	годен	брак	годен	брак	брак
10.3	брак	брак	брак	брак	годен	брак
10.5	брак	брак	брак	брак	брак	брак