

1. МЕТРОЛОГИЯ

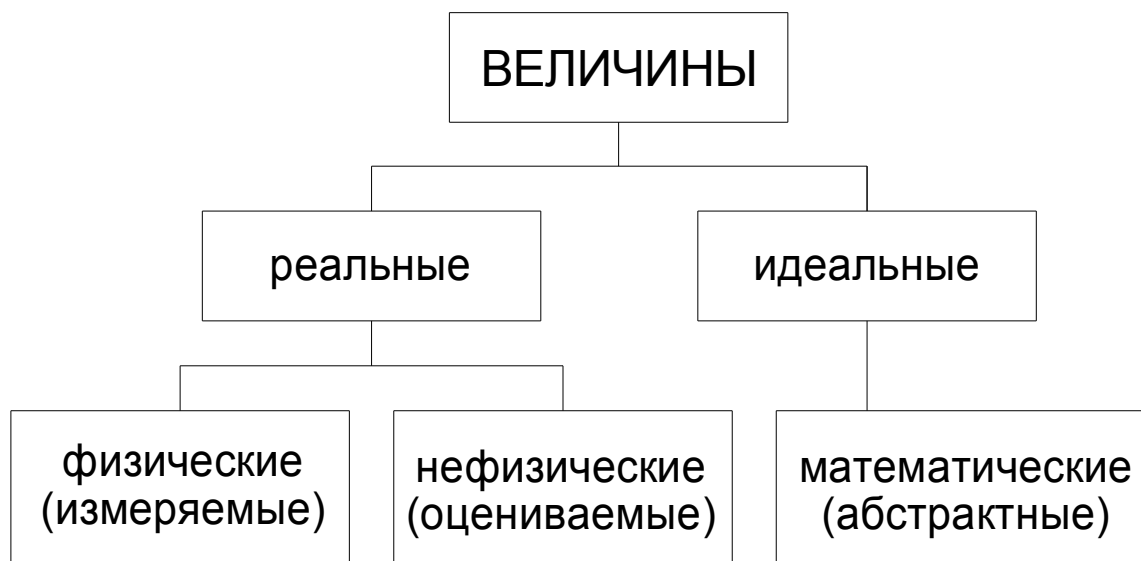


Рис. 1.1. Классификация величин

Основное уравнение измерения

$$Q = q \cdot [Q], \quad (1.1)$$

где Q – измеряемая физическая величина; q – числовое значение физической величины; $[Q]$ – единица физической величины.

Таблица 1.1. Размерности физических величин

Физическая величина	Размерность	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы измерения	
			русское	международное
Длина	L	метр	м	m
Масса	M	килограмм	кг	kg
Время	T	секунда	с	s
Сила электрического тока	I	ампер	A	A
Термодинамическая температура	θ	кельвин	K	K
Сила света	J	кандела	кд	cd
Количество вещества	N	моль	моль	mol
Плоский угол	–	радиан	рад	rad
Телесный угол		стерадиан	ср	sr

Размерность производной физической величины

$$\dim X = L^\alpha \cdot M^\beta \cdot T^\gamma \cdot I^\delta \cdot \theta^\epsilon \cdot J^\eta \cdot N^\lambda \quad (1.2)$$

$$[v] = \frac{[S]}{[t]} = L \cdot T^{-1} = 1 \text{ м/с}$$

Таблица 1.2. Примеры производных физических величин

Физическая величина	Размерность	Единица измерения	Сокращенное обозначение единицы измерения	
			русское	международное
Площадь	L^2	квадратный метр	м ²	m ²
Объем, вместимость	L^3	кубический метр	м ³	m ³
Ускорение	LT^{-2}	метр на секунду в квадрате	м/с ²	m/s ²
Плотность	$L^{-3}M$	килограмм на кубический метр	кг/м ³	kg/m ³
Плотность электрического тока	$L^{-2}I$	ампер на квадратный метр	А/м ²	A/m ²
Молярная концентрация	$L^{-3}N$	моль на кубический метр	моль/м ³	mol/m ³
Яркость	$L^{-2}J$	кандела на квадратный метр	кд/м ²	cd/m ²

Таблица 1.3. Множители и приставки

Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки		Десятичный множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское			международное	русское
10 ²⁴	иотта	Y	И	10 ⁻¹	деци	d	д
10 ²¹	зетта	Z	З	10 ⁻²	санتي	c	с
10 ¹⁸	экса	E	Э	10 ⁻³	милли	m	м
10 ¹⁵	пета	P	П	10 ⁻⁶	микро	μ	мк
10 ¹²	тера	T	Т	10 ⁻⁹	нано	n	н
10 ⁹	гига	G	Г	10 ⁻¹²	пико	p	п
10 ⁶	мега	M	М	10 ⁻¹⁵	фемто	f	ф
10 ³	кило	k	к	10 ⁻¹⁸	атто	a	а
10 ²	гекто	h	г	10 ⁻²¹	зепто	z	з
10 ¹	дека	da	да	10 ⁻²⁴	иокто	y	и

Таблица 1.4. Внесистемные единицы, допустимые к применению системой СИ

Наименование физической величины	Единица измерения				
	Наименование	Обозначение		Соотношение с единицей СИ	Область применения
		международное	русское		
Время	минута	min	мин	60 с	Все области
	час	h	ч	3600 с	
	сутки	d	сут	86400 с	
Площадь	гектар	ha	га	$1 \cdot 10^4 \text{ м}^2$	Сельское хозяйство
Масса	тонна	t	Т	$1 \cdot 10^3 \text{ кг}$	Все области
	атомная единица массы	u	а.е.м.	$\sim 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$	Атомная физика
Плоский угол	градус	°	°	$\pi/180 \text{ рад}$	Все области
	минута	'	'	$\pi/10800 \text{ рад}$	
	секунда	"	"	$\pi/648000 \text{ рад}$	
Объем, вместимость	литр	l	л	$1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	Все области
Длина	морская миля	n mile	миля	1852 м	Морская навигация
Давление	бар	bar	бар	$1 \cdot 10^5 \text{ кг}$	Физика
Оптическая сила	диоптрия	–	дптр	1 м^{-1}	Оптика
Энергия	электрон-вольт	eV	эВ	$\sim 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$	Физика
	киловатт-час	kW·h	кВт·ч	$3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$	Для счетчиков электрической энергии
Полная мощность	вольт-ампер	V·A	В·А		Электротехника
Реактивная мощность	вар	var	вар		Электротехника
Количество электричества	ампер-час	A·h	А·ч	$3,6 \cdot 10^3 \text{ Кл}$	Электротехника
Скорость	узел	kn	уз	$\sim 0,514 \text{ м/с}$	Морская навигация
Частота вращения	оборот в секунду	r/s	об/с	1 с^{-1}	Все области
	оборот в минуту	r/min	об/мин	$1/60 \text{ с}^{-1}$	

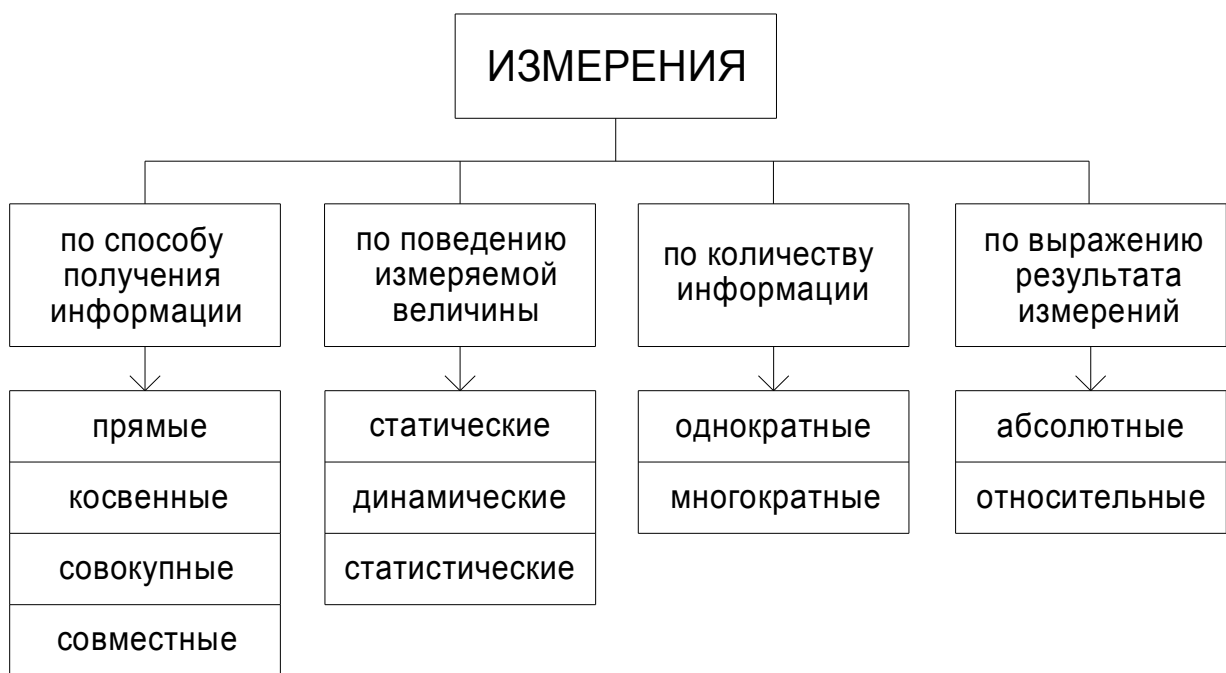


Рис. 1.2. Классификация измерений

Значение измеряемой величины при косвенных измерениях

$$Q = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1.3)$$

где Q – искомое значение косвенно измеряемой величины; x_i – значения величин, измеренных прямым способом; $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ – функциональная зависимость, которая заранее известна.

Основные характеристики измерений:

- принцип измерений;
- метод измерений;
- погрешность;
- точность;
- правильность;
- достоверность;
- сходимость;
- воспроизводимость.

Коды видов измерений:

- 27 – геометрические
- 28 – механические
- 29 – расхода, вместимости, уровня
- 30 – давления и вакуума
- 31 – физико–химические
- 32 – температурные и теплофизические
- 33 – времени и частоты
- 34 – электрические и магнитные
- 35 – радиоэлектронные
- 36 – виброакустические
- 37 – оптические
- 38 – параметров ионизирующих излучений
- 39 – биомедицинские

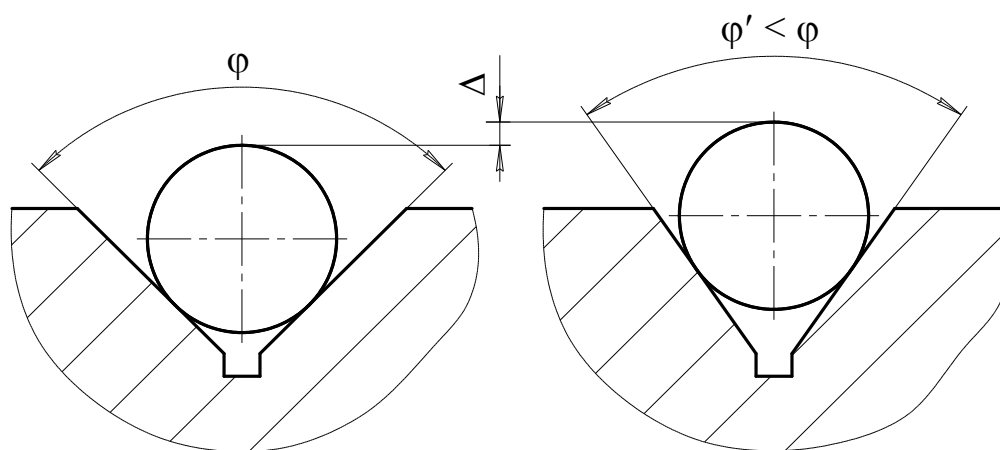


Рис. 1.3. Пример возникновения систематической погрешности

$$\delta \leq 0,1 \cdot \text{Изм}, \quad (1.4)$$

где δ – допускаемая погрешность измерения; Изм – изменчивость процесса изготовления:

$$\text{Изм} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta_i^2}. \quad (1.5)$$

где Δ_i – погрешности, связанные с изготовлением контролируемого размера.

2. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

2.1. Взаимозаменяемость и нормирование точности

2.1.1. Понятие и виды взаимозаменяемости

Взаимозаменяемость при производстве продукции обеспечивает:

- гарантированное качество продукции;
- упрощение процесса сборки;
- предпосылки к широкой специализации и кооперированию заводов;
- упрощение ремонта.

Два вида взаимозаменяемости:

- полная;
- неполная (частичная).

Точность отдельной поверхности детали – это степень ее приближения к геометрически и размерно правильному прототипу.

Два вида точности:

- нормированная;
- действительная.

Нормированная точность поверхности – это совокупность допускаемых отклонений от расчетных значений ее геометрических параметров.

Действительная точность – это совокупность отклонений, определенных в результате измерения с некоторой допустимой погрешностью.

Для обеспечения взаимозаменяемости необходимо, чтобы изготовление деталей и сборка узлов производилась с нормированной точностью.

Повышение нормированной точности приводит к увеличению стоимости изготовления детали.

Зависимость затрат на изготовление отдельной поверхности детали от точности этой поверхности

$$Z \sim \frac{1}{IT}, \quad (2.1)$$

где IT – допуск на изготовление поверхности.

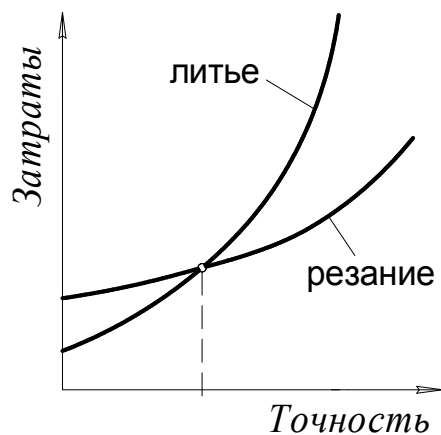


Рис. 2.1. Сравнительная экономичность ПР и литья

2.1.2. Нормирование точности гладких цилиндрических соединений

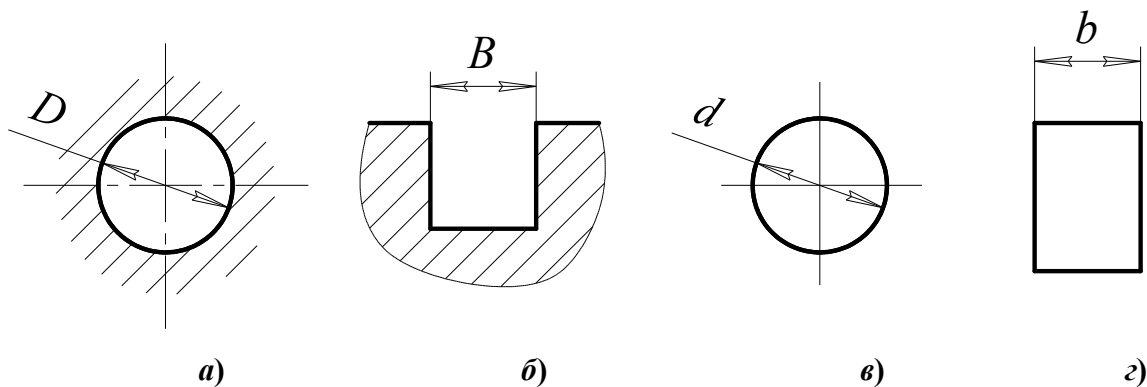


Рис. 2.2. Охватывающие и охватываемые поверхности

Действительный размер $\rightarrow D_d, d_d$.

Номинальный размер $\rightarrow D, d$.

Предельные размеры $\left\{ \begin{array}{l} \text{наибольший} \rightarrow D_{нб}; d_{нб} \\ \text{наименьший} \rightarrow D_{нм}; d_{нм} \end{array} \right.$

Действительные отклонения

$$E_d = D_d - D \quad (2.2)$$

$$e_d = d_d - d \quad (2.3)$$

Предельные отклонения $\left\{ \begin{array}{l} \text{верхние} \rightarrow ES; es \\ \text{нижние} \rightarrow EI; ei \end{array} \right.$

$$ES = D_{H\bar{0}} - D \quad (2.4)$$

$$es = d_{h\bar{0}} - d \quad (2.5)$$

$$EI = D_{HM} - D \quad (2.6)$$

$$ei = d_{hm} - d \quad (2.7)$$

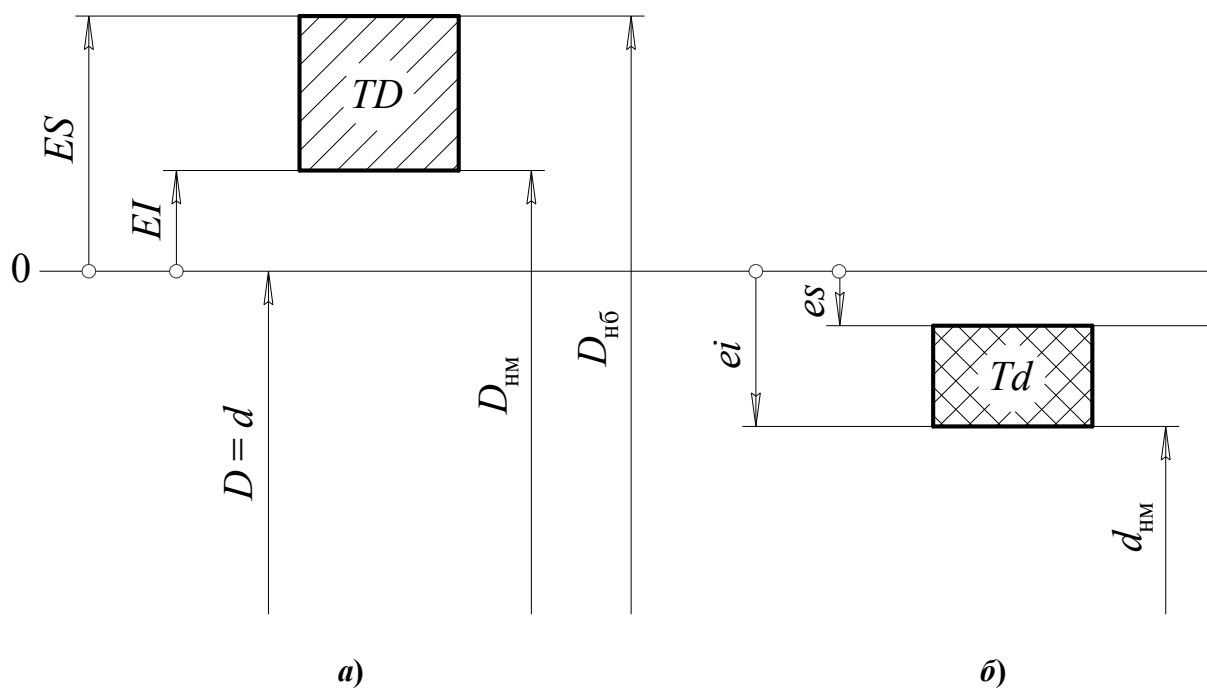


Рис. 2.3. Схемы расположения полей допусков отверстия (а) и вала (б)

Допуск

$$TD = D_{H\bar{0}} - D_{HM} = ES - EI \quad (2.8)$$

$$Td = d_{h\bar{0}} - d_{hm} = es - ei \quad (2.9)$$

Основное отклонение – одно из предельных (верхнее или нижнее), которое ближе к нулевой линии.

В зависимости от взаимного расположения полей допусков отверстия и вала различают три группы посадок:

- с зазором (рис. 2.4, а);
- с натягом (рис. 2.4, б);
- переходные, при которых возможно получение как зазора, так и натяга (рис. 2.4, в).

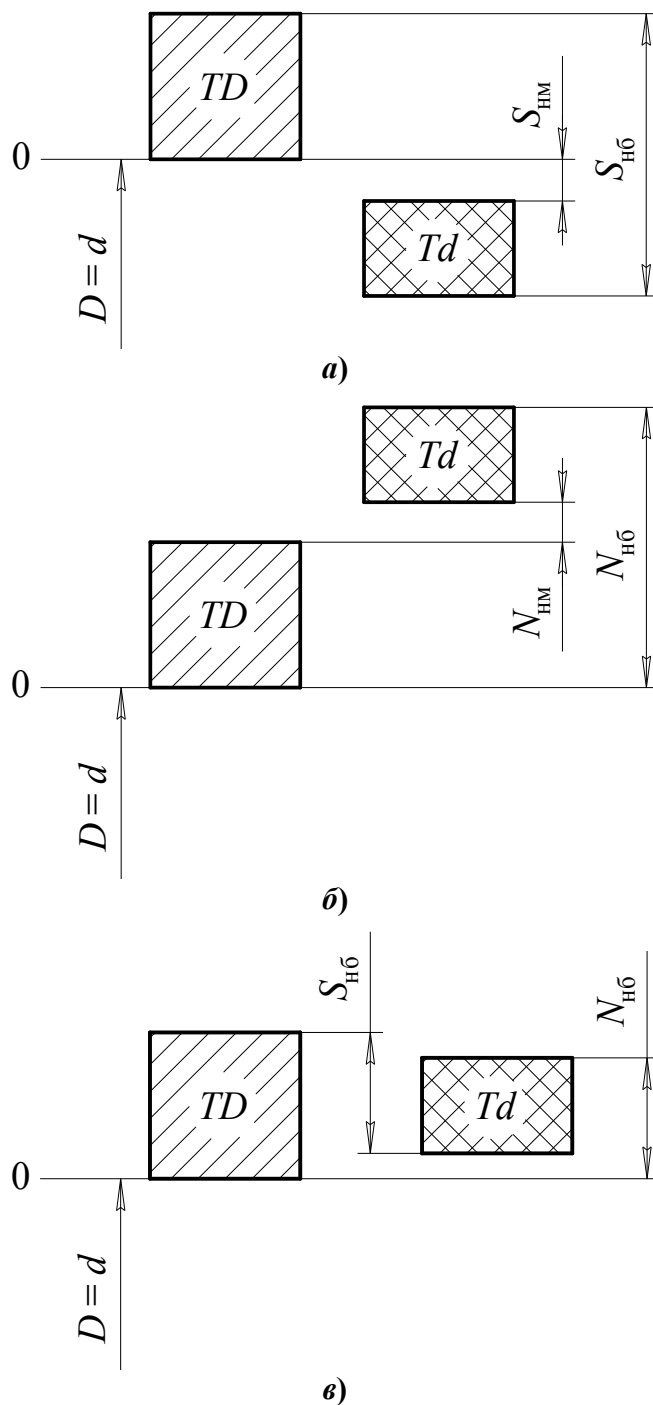


Рис. 2.4. Схемы посадок с зазором (а), с натягом (б) и переходных (в)

Наименьший и наибольший зазоры

$$S_{\text{нб}} = D_{\text{нб}} - d_{\text{нм}} \quad (2.10)$$

$$S_{\text{нм}} = D_{\text{нм}} - d_{\text{нб}} \quad (2.11)$$

Наибольший и наименьший натяги

$$N_{\text{нб}} = d_{\text{нб}} - D_{\text{нм}} \quad (2.12)$$

$$N_{\text{нм}} = d_{\text{нм}} - D_{\text{нб}} \quad (2.13)$$

Взаимосвязь между значениями предельных зазоров и натягов:

$$S_{\text{нб}} = -N_{\text{нм}} \quad (2.14)$$

$$S_{\text{нм}} = -N_{\text{нб}} \quad (2.15)$$

Квалитет (от латинского *qualis* – качество) – совокупность допусков, соответствующих одинаковой степени точности.

2.2. Единая система допусков и посадок (ЕСДП)

В соответствии с ЕСДП поле допуска обозначается индексом и квалитетом, например *H7*, где *H* – индекс поля допуска, а 7 – номер квалитета.

ИНДЕКС И КВАЛИТЕТ НЕ ЗАВИСЯТ ДРУГ ОТ ДРУГА!

Например, посадка $\frac{H}{h}$ может существовать в различных квалитетах, то есть иметь различную степень точности. А в одном и том же квалитете, например, 7-ом есть посадки с зазором, с натягом и переходные.

В ЕСДП установлено 20 квалитетов (01, 0, 1, 2, ..., 18).

Значение допуска для отдельного квалитета является величиной постоянной и рассчитывается по формуле

$$IT = a \cdot i, \text{ мкм}, \quad (2.16)$$

где *a* – коэффициент точности (табл. 2.1); *i* – единица допуска.

Таблица 2.1. Значения коэффициента точности для некоторых квалитетов

Квалитет	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>a</i>	7	10	16	25	40	64	100	160	250	400	640	1000	1600

Квалитеты 01, 0, 1, 2, 3 и 4 – для деталей особо высокой точности.

Квалитеты с 5 по 11 – для сопрягаемых деталей.

Квалитеты с 12 по 18 – для несопрягаемых деталей, необработанных поверхностей и габаритных размеров.

В ЕСДП установлено 27 основных отклонений валов и 27 основных отклонений отверстий (рис. 2.5).

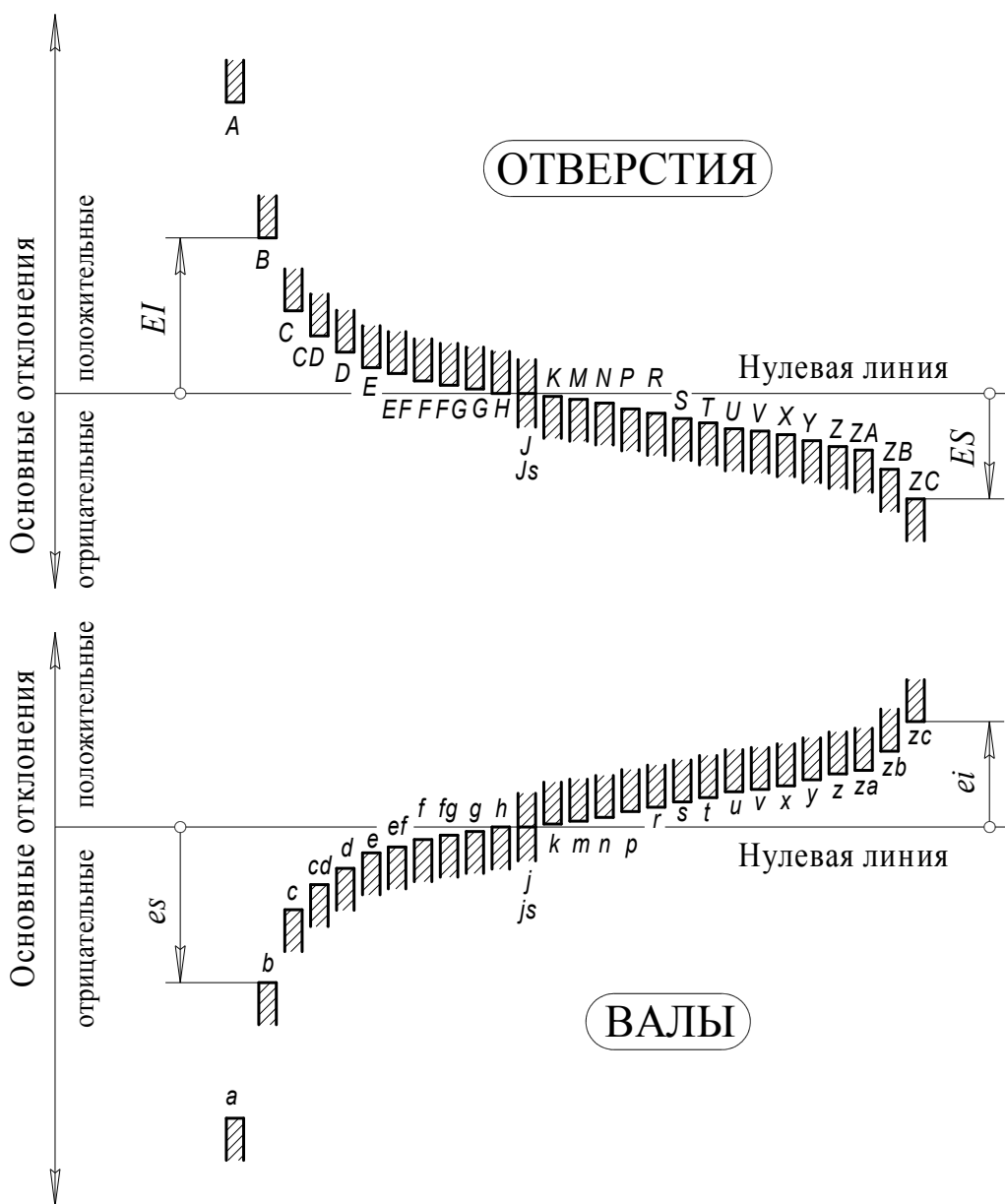


Рис. 2.5. Основные отклонения (по ГОСТ 25346-89)

Если основное отклонение – нижнее, то неосновное отклонение рассчитывается по формулам

$$ES = EI + IT \quad (2.17)$$

$$es = ei + IT \quad (2.18)$$

Если основное отклонение – верхнее, то неосновное отклонение рассчитывается по формулам

$$EI = ES - IT \quad (2.19)$$

$$ei = es - IT \quad (2.20)$$

ЕСДП предусмотрены две системы образования посадок:

- система отверстия (СА);
- система вала (СВ).

В системе отверстия индекс поля допуска отверстия всегда H , а посадки с зазором, с натягом или переходные обеспечиваются назначением соответствующего индекса поля допуска вала (рис. 2.6, а).

В системе вала индекс поля допуска вала всегда h , а посадки с зазором, с натягом или переходные обеспечиваются назначением соответствующего индекса поля допуска отверстия (рис. 2.6, б).

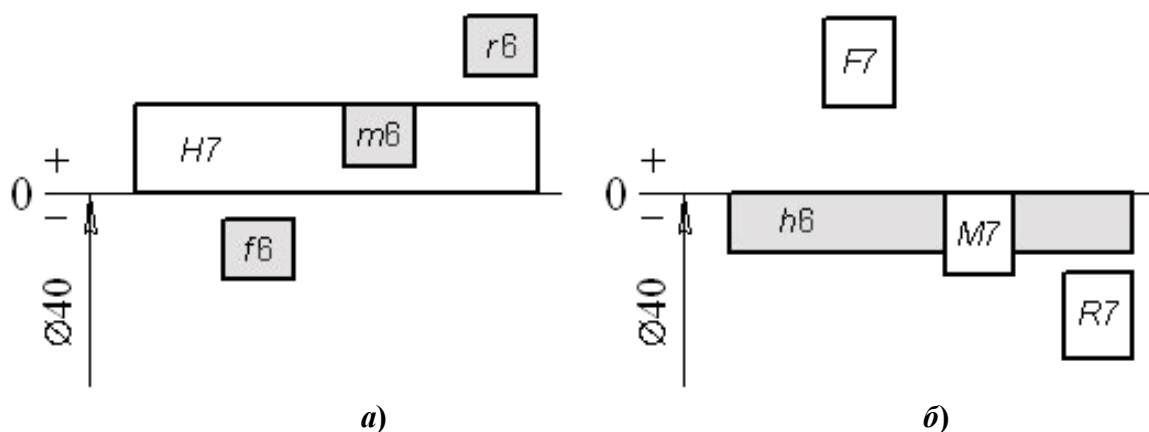


Рис. 2.6. Схема образования посадок в системе отверстия (а) и в системе вала (б)