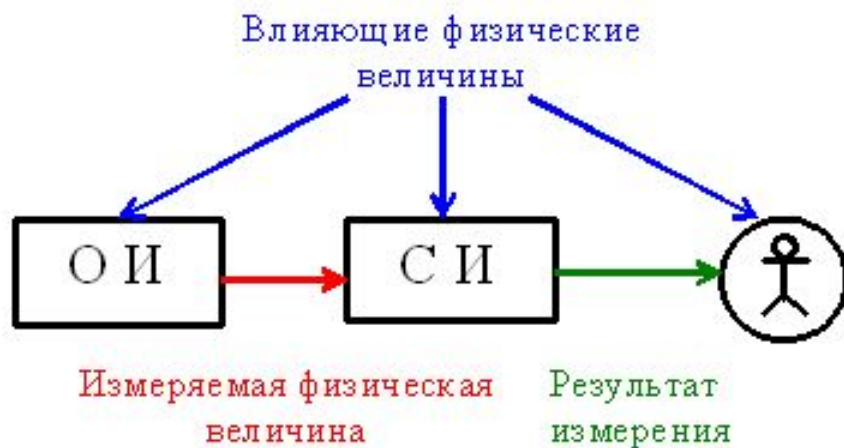


МЕТРОЛОГИЯ - наука о получении количественной информации опытным путём, то есть экспериментально, посредством измерения

μετρό + λόγός

измерение, мера + учение, слово

МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ



Физическая величина (ФВ)
Объект измерений (ОИ)
Средство измерений (СИ)
Принцип измерений
Метод измерений

**ЗНАЧЕНИЕ ФВ (РЕЗУЛЬТАТ
ИЗМЕРЕНИЯ)**

$$X = \{X\} [X]$$

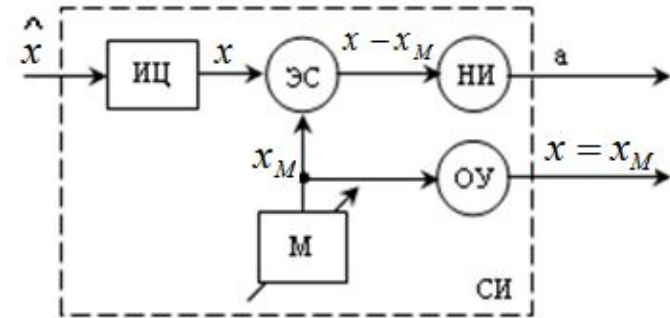
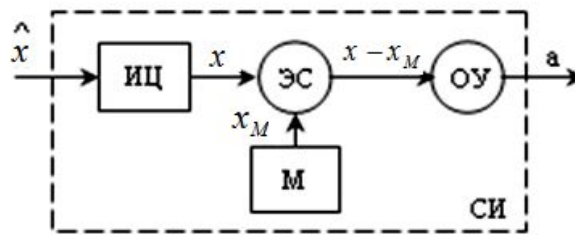
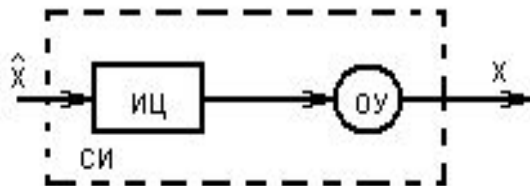
1

- **Физическая величина (ФВ)** - одно из свойств физического объекта общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них.
- **Значение ФВ** - выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц.
- **Истинное значение ФВ** - значение ФВ, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую ФВ.
- **Действительное значение ФВ** - значение ФВ, полученное экспериментальным путем близкое к истинному значению.
- **Результат измерения ФВ** - значение ФВ полученное путем ее измерения.
- **Измерение ФВ** — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу ФВ и обеспечивающее нахождение соотношения измеряемой величины с ее единицей.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ



ИЦ – измерительная цепь
 ОУ – отсчетное устройство
 ЭС – элемент сравнения
 М – мера
 НИ – ноль-индикатор

$$\pm a = x - x_M;$$

$$x = x_M \pm a,$$

$$x_M = const$$

$$\pm a = x - x_M = 0$$

$$x = x_M$$

$$x_M = var$$

РЕАЛИЗАЦИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПРИ ВЗВЕШИВАНИИ



**Метод
непосредственной
оценки**



**Метод сравнения
дифференциальный**



**Метод сравнения
нулевой**

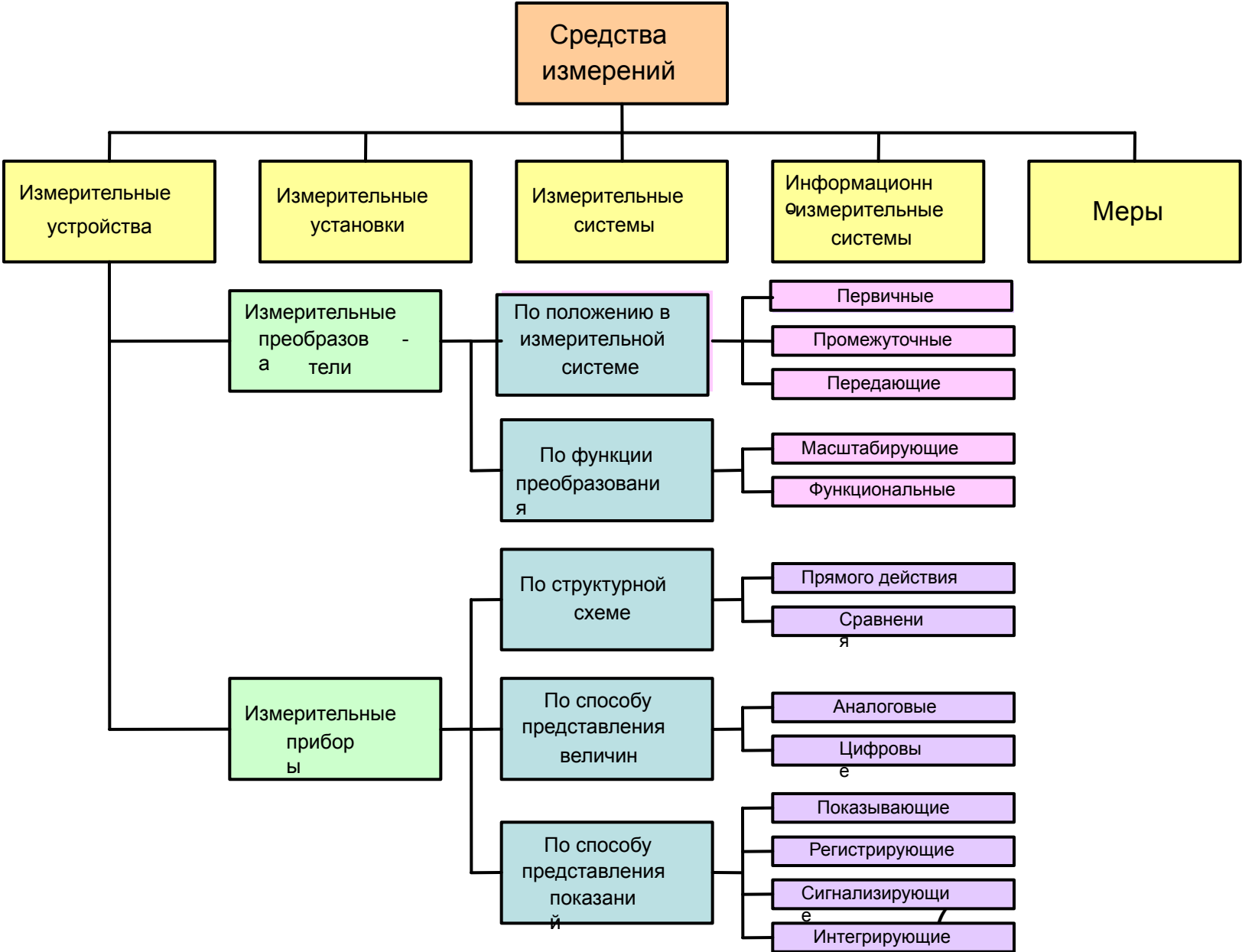
Средство измерения (СИ) - техническое средство, предназначенное для измерений, имеющие нормированные метрологические характеристики (МХ), воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимают неизменным (в пределах установленной погрешности) в течении известного интервала времени.

В число СИ входят: измерительные преобразователи, измерительные системы, датчики, эталоны, меры.

Измерительный преобразователь - техническое средство с нормативными МХ, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований или передачи. Информация с выхода измерительного преобразователя недоступна для восприятия наблюдателем.

Измерительный прибор - СИ, предназначенное для получения значений измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ



ПРИМЕРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



Аналоговый
показывающий прибор



Цифровой
показывающий
прибор



Сигнализирующий прибор



Регистрирующий прибор



Интегрирующий прибор

Измерительная установка - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, расположенная в одном месте.

Измерительная система - совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и др. технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта с целью измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту и выработки измерительных сигналов в разных целях.

Измерительно – вычислительный комплекс (ИВК) - функционально объединенная совокупность СИ, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе измерительной системы конкретной измерительной задачи.

Метрологическое обеспечение

- **Под метрологическим обеспечением** понимается установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений.
- **Требования МО:** 1. Что необходимо измерять (номенклатура измеряемых параметров)? 2. С какой точностью (нормы точности)?
- **Задачи МО:** 1. Обеспечение единства измерений (результаты выражены в узаконенных единицах; погрешность измерений выражена с заданной вероятностью).
- 2. Обеспечение требуемой точности измерений (погрешность не должна превышать пределов допускаемых значений).
- **Основы МО:**
- Научная
- Организационная
- Техническая.

Научной основой является метрология (теоретическая, прикладная и законодательная).

Теоретическая метрология занимается вопросами фундаментальных исследований.

Прикладная (практическая) метрология занимается вопросами практического применения результатов теоретических исследований.

Законодательная метрология включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, которые имеют обязательную силу и находятся под контролем государства.

Организационной основой МО является метрологическая служба (МС).

Техническими основами МО являются системы государственных эталонов, передачи размеров единиц физических величин; разработки, постановки на производство и выпуска в эксплуатацию СИ.

Системы и единицы физических величин

Системой единиц ФВ называется совокупность основных и производных единиц ФВ, относящихся к некоторой системе ФВ и образованную в соответствии с принятыми принципами. **Основными величинами** называются ФВ, входящие в систему и условно принятые в качестве независимых от других величин системы.

Производными величинами системы называются ФВ, определяемые через основные величины этой системы.

Единица ФВ – это ФВ, которой присвоено числовое значение равное единице (1).

Основная единица ФВ – есть единица основной ФВ.

Производная единица ФВ – есть единица производной ФВ.

Когерентной системой единиц ФВ называется система единиц, в которой все производные единицы согласованы (когерентны)

Основные единицы СИ

Физическая величина		Единица физической величины		
Наименование	Размерность	Наименование	Обозначения	
			международное	русское
Длина	L	метр	m	м
Масса	M	килограмм	kg	кг
Время	T	секунда	s	с
Сила электрического тока	I	ампер	A	А
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K	К
Количество вещества	J	моль	mol	моль
Сила света	N	кандела	cd	кд

Производные единицы СИ

Частота – **Гц**; сила, вес – **Н**;
давление – **Па**;
энергия, работа, количество теплоты – **Дж**;
мощность, поток энергии – **Вт**;
количество электричества – **Кл**;
электрическое напряжение – **В**;
электрическая ёмкость – **Ф**;
электрическое сопротивление – **Ом**;
электрическая проводимость – **См** (Сименс);
магнитный поток – **Вб**; магнитная индукция – **Тл**;
индуктивность – **Гн**;
активность нуклида в радиоактивном источнике – **Бк**
(Беккерель); поглощённая доза излучения – **Гр** (Грей);
эквивалентная доза излучения – **Зв** (Зиверт);
световой поток – **лм**; освещённость – **лк**.

Внесистемные единицы ФВ: кратные и дольные

Кратной единицей называют единицу, в целое число раз большую системной или внесистемной единицы.

Дольной называют единицу, в целое число раз меньшую системной или внесистемной единицы.

$$x = \{x_1\} [x_1] = \{x_2\} [x_2] \text{ - значение ФВ}$$

$$k = \frac{\{x_1\}}{\{x_2\}} = \frac{[x_2]}{[x_1]} \text{ - коэффициент пересчёта;}$$

$$\frac{\{x_1\}}{\{x_2\}} \text{ - множитель; } \frac{[x_2]}{[x_1]} \text{ - приставка}$$

Коэффициент пересчёта k

Множитель	Приставка	Обозначение (рус)
10^{18}	экса	Э
10^6	мега	М
10^3	кило	к
10^2	(гекто)	г
10^1	(дека)	да
10^{-1}	(деци)	д
10^{-2}	(санти)	с
10^{-3}	милли	м
10^{-6}	микро	мк
10^{-18}	атто	а

Относительная величина представляет собой безразмерное отношение ФВ к одноименной ФВ, принимаемой за исходную

$$k = \frac{\{x_1\}}{\{x_0\}}$$

Относительные величины могут выражаться:

- в безразмерных единицах ($k = 1 \cdot 10^0$); - в процентах ($k = 1 \cdot 10^{-2}$); - в промилле ($k = 1 \cdot 10^{-3}$); - в миллионных долях – м. д. (или ppm) ($k = 1 \cdot 10^{-6}$).

Логарифмическая величина представляет собой логарифм (десятичный, натуральный или при основании 2) безразмерного отношения двух одноименных физических величин. Единицей логарифмической величины является бел (Б),

$$1\text{Б} = \lg \frac{N_1}{N_2} = 2 \lg \frac{F_1}{F_2}, \text{ где } N_1 = 10N_2; F_1 = \sqrt{10}F_2$$

N_1 и N_2 - одноименные энергетические величины

F_1 и F_2 - одноименные силовые величины 17

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (МХ) СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

МХ: нормируемые и действительные

Статическая характеристика (функция преобразования, характеристика шкалы):

$Y = f(X)$ – рабочая и $Y = fsf(X)$ – градуировочная

Чувствительность

$$S = \frac{y_B - y_H}{x_B - x_H} = \operatorname{tg} \alpha; \quad S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dx}{dy} = \operatorname{tg} \alpha$$

Периодичность T_{min}

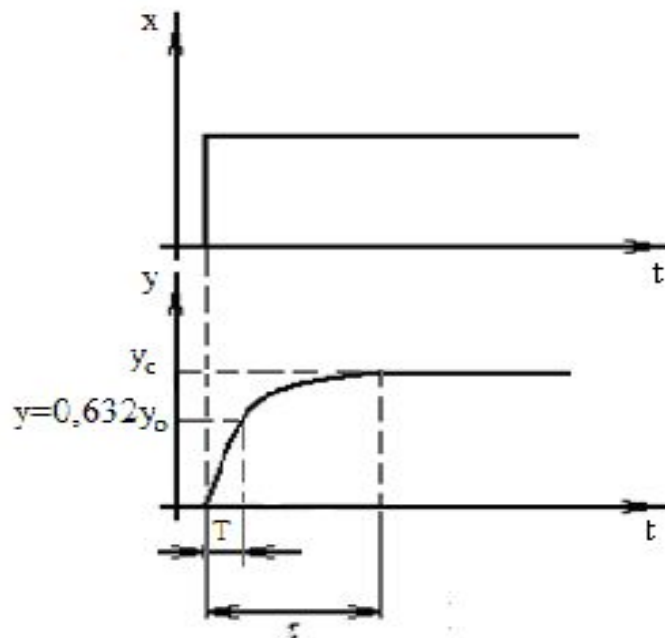
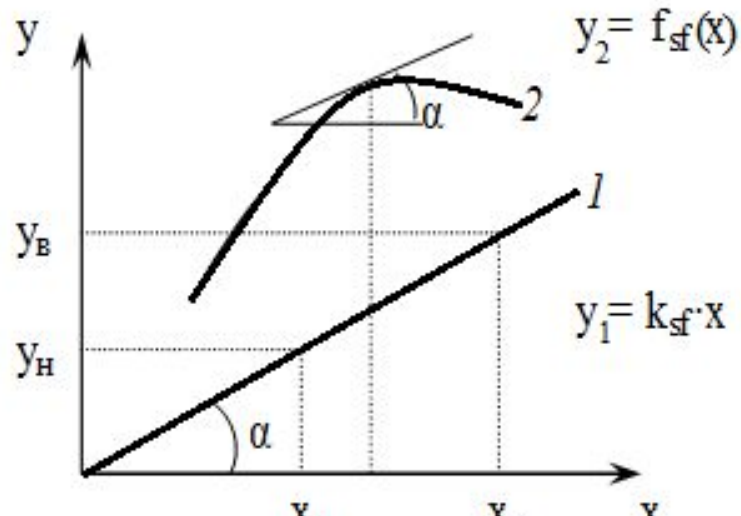
Динамическая характеристика (переходная характеристика)

$$y(t) = f[x(t)]$$

Время завершения переходного процесса

τ

Постоянная времени T ($y = 0,632y_0$)



- **Эталон единицы ФВ - СИ** (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.
- **Метрологическая характеристика (МХ)** - характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерений и на его погрешность.
- **Нормируемые МХ** - МХ, устанавливаемые в нормативно-технической документации на данное СИ.
- **Измерительная цепь** - совокупность элементов СИ, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной ФВ от входа до выхода.
Датчик — конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (от «дает» информацию).

Чувствительность – это свойство, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины:

абсолютная $S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$, **относительная** $S_0 = \frac{\Delta y}{\Delta x/x}$

Порог чувствительности – характеристика СИ в виде наименьшего значения изменения ФВ, начиная с которого может осуществляться её измерение данным средством.

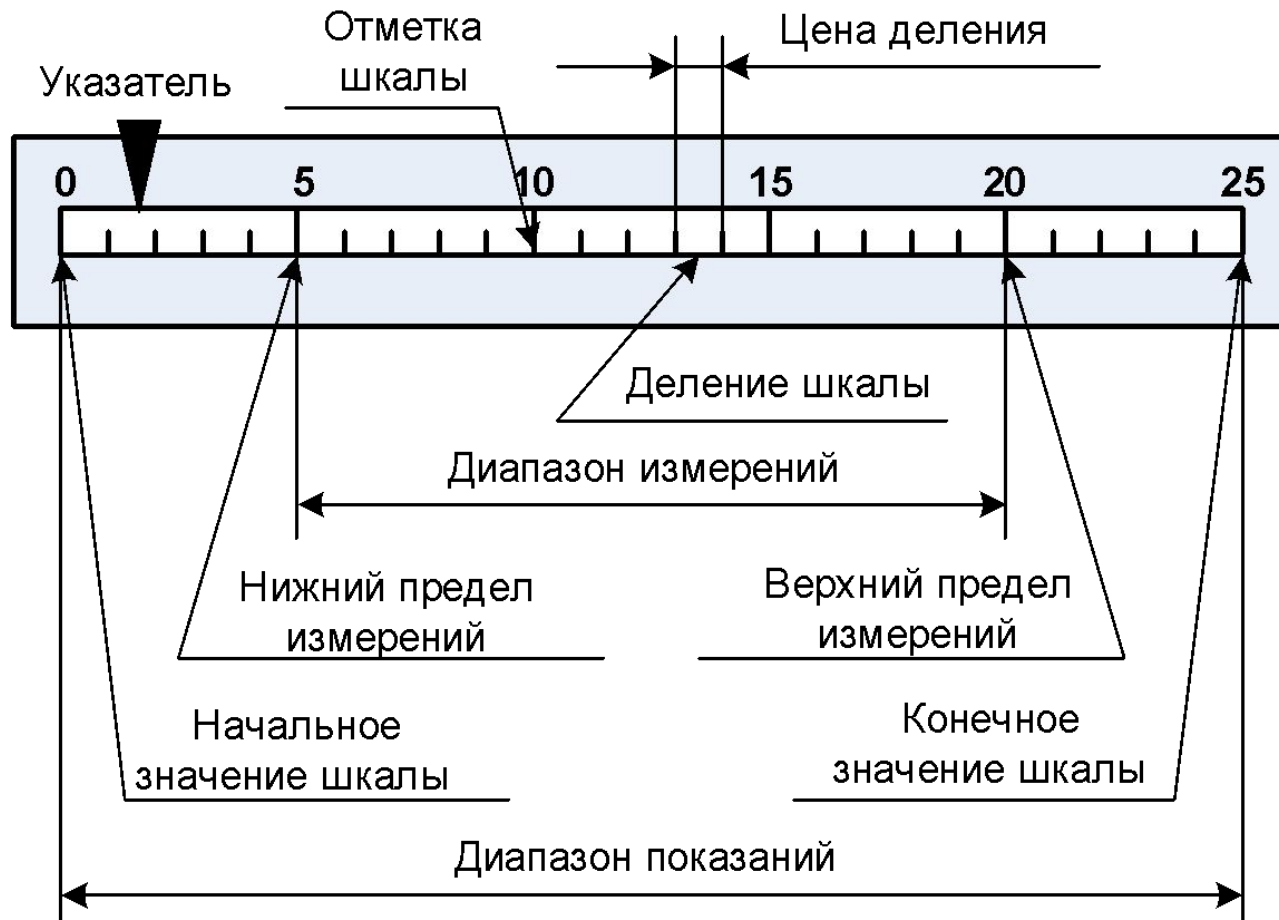
Цена деления шкалы – разность значений величины, соответствующим двум соседним отметкам шкалы.

Диапазон измерений – область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.

Нижний и верхний пределы измерений – это значения величины, ограничивающие диапазон измерений.

Диапазон показаний – это область значений шкалы, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

ПАРАМЕТРЫ ШКАЛ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ



Цена деления шкалы $C = \frac{x_v - x_n}{n}$ $C = 1/S$ **Число делений** $n \geq 10/2A$

Класс точности – обобщенная метрологическая характеристика, определяющая различные свойства СИ и включающая в себя систематическую и случайную составляющую погрешности.

$$\gamma_{op} = \pm \frac{\Delta_{op} \cdot 100\%}{N} = \pm A, \%$$

где $N = x_B - x_H$ - предел измерения СИ.

x_B и x_H - соответственно верхний и нижний пределы измерения СИ.

На СИ обозначаются в виде цифр 2.0.

Классы точности выбираются из следующего ряда:

(1, 0; 1, 5; (1, 6); 2, 0; 2, 5; (3, 0); 4, 0; 5, 0; 6, 0)* 10^n ,

где $n = -2; -1; 0; 1$.

В круглых скобках указаны классы точности для глубинных СИ.

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

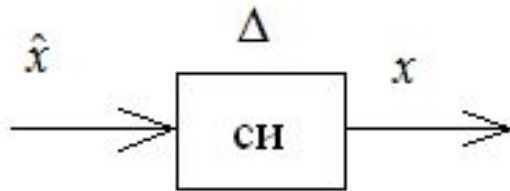
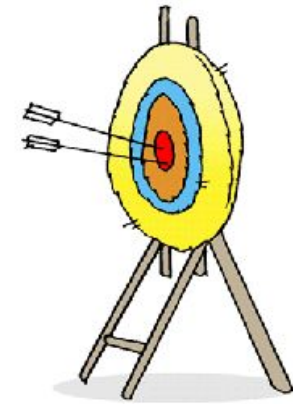
Точность измерения

h

Погрешность измерения

δ

$$h = 1/|\delta|$$



Модель погрешности измерения

$$\Delta = \Delta(x) * \Delta_{наб} * \Delta_m * \Delta_{обр} * \Delta_{си}$$

$\Delta(x)$ погрешность от нестабильности измеряемой величины

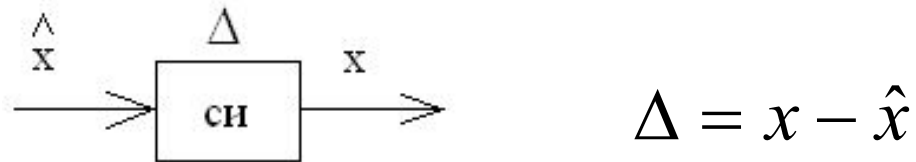
$\Delta_{наб}$ погрешность наблюдателя

Δ_m погрешность метода измерения

$\Delta_{обр}$ погрешность метода обработки результата

$\Delta_{си}$ погрешность применяемого средства измерения

Погрешность измерения - это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины



Точность измерения - близость результатов измерения к истинному значению измеряемой величины.

В общем виде погрешность измерения имеет следующие составляющие:

$$\Delta = \Delta(x) + \Delta_{наб} + \Delta_m + \Delta_{обр} + \Delta_{си}$$

где $\Delta(x)$ - погрешность от нестабильности измеряемой величины x ; $\Delta_{наб}$ - погрешность наблюдателя;
 Δ_m - погрешность метода измерения;
 $\Delta_{обр}$ - погрешность метода обработки результата;
 $\Delta_{си}$ - погрешность применяемого средства измерения.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ



Абсолютная погрешность – $\Delta = x - \overset{\boxtimes}{x}$

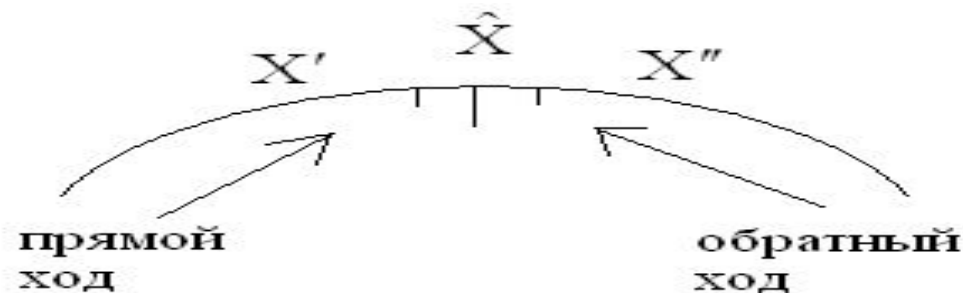
Относительная погрешность – $\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \times 100\%$

Приведённая погрешность – $\gamma = \pm \frac{\Delta}{N} \times 100\%$ где $N = (x_e - x_n)$

Систематическая Δ_s – это погрешность, остающаяся постоянной или изменяющаяся по определенному закону от измерения к измерению.

Случайной Δ называют составляющую погрешности, которая изменяется случайным образом при повторных измерениях одного и того же истинного значения измеряемой величины.

Вариация - $H = |x' - x''|$ разность, полученная при прямом и обратном ходах стрелки измерительного механизма при измерении одного и того же истинного значения ФВ.



ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Абсолютная

$$\Delta = x - \hat{x}$$

Статическая

$$\Delta_{st} = \Delta(x) = x - \hat{x}$$

Основная

$$\Delta_0 = x_0 - \hat{x}$$

Относительная

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{\hat{x}}. \quad \delta = \pm \frac{\Delta}{x} \times 100\%$$

Приведенная

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{N} \quad \gamma = \pm \frac{\Delta}{N} \times 100\%$$

$$N = const \quad N = (x_в - x_н)$$

Динамическая

$$\Delta_{dyn} = \Delta[x(t)] - \Delta_{st}$$

$$\Delta[x(t)] = x(t) - \hat{x}(t)$$

Дополнительная

$$\Delta_c = \sqrt{\sum_{i=1}^l \Delta_{ci}^2}$$

Систематическая

$$\Delta_s = \frac{\bar{\Delta}_m + \bar{\Delta}_b}{2},$$

Случайная

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}},$$

$$x_{\partial} = x \pm \Delta_{op}$$