



# лекция 2 Метрология

# ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

- Предмет метрологии
- Задачи метрологии
- Точность измерений
- Погрешность измерений
- Метрологическое обеспечение
- Физическая величина

# ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Понятие метрологии, ее подсистемы.
2. Физические величины
3. Международная система единиц SI
4. Система воспроизведения единиц величин
5. Поверка СИ
6. Средства измерений и разновидности измерений
7. Погрешности СИ
8. Государственный метрологический контроль и надзор

**Метрология** (от греч. "метро" - мера и "логос" - учение) - это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения единства и требуемой точности измерений.



занимается вопросами фундаментальных исследований, созданием системы единиц измерений, физических постоянных, разработкой новых методов измерения



занимается вопросами практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках метрологии



включает совокупность взаимообусловленных правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, которые возводятся в ранг правовых положений и имеют обязательную силу и находятся под контролем государства.

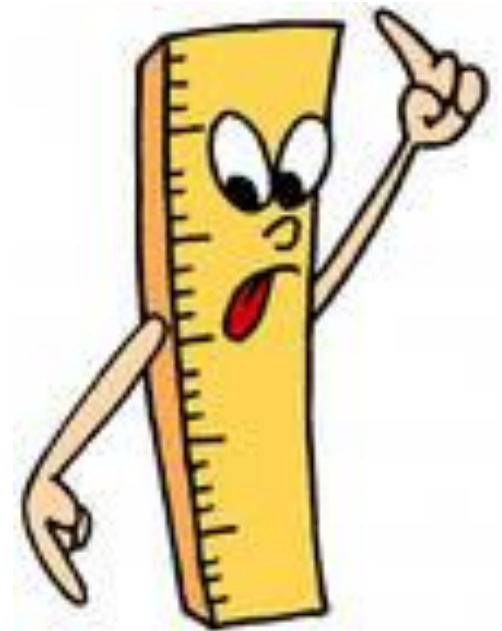


**Предмет метрологии** - извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

**Средства метрологии** - это совокупность средств измерений и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

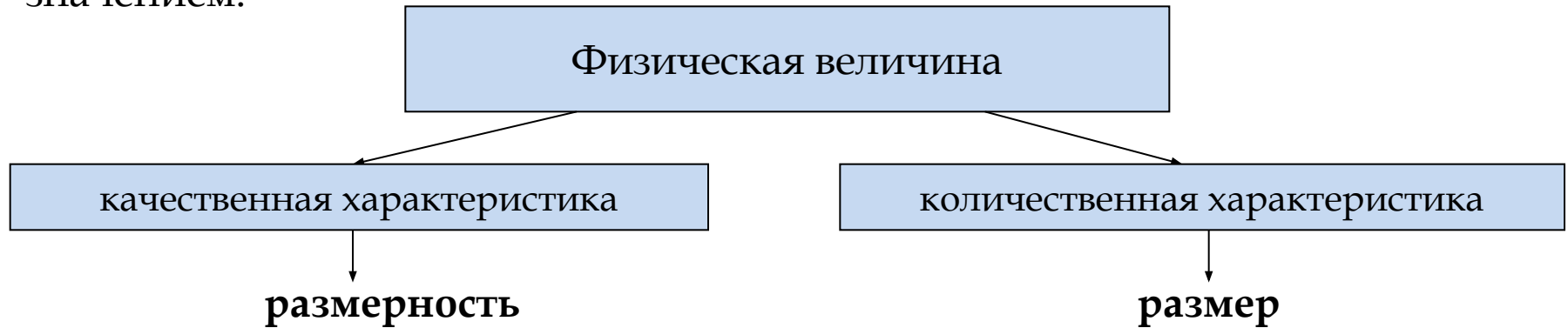
**Объекты метрологии:**

- измеряемая (в том числе физическая) величина;
- единица физической величины;
- измерение;
- погрешность измерений;
- метод измерений;
- средство измерений.



# Физические величины (ФВ)

*Физической величиной* называют одно из свойств физического объекта (явления, процесса), которое является общим в качественном отношении для многих физических объектов, отличаясь при этом количественным значением.



обозначение - символ **dim**

Размерность основных величин:

- длины **dim**  $l = L$ ,
- массы **dim**  $m = M$ ,
- времени **dim**  $t = T$ .

Размерность производных величин:

$$\mathbf{dim} Q = L^\alpha M^\beta T^\gamma \dots,$$

где  $\mathbf{dim} Q$  - размерность какой-либо физической величины  $Q$ ;  $L, M, T \dots$  - размерности основных физических величин;  $\alpha, \beta, \gamma \dots$  - показатели размерности. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем.

значение величины получают в результате ее измерения или вычисления в соответствии с

*основным уравнением измерения:*

$$Q = X [Q],$$

где  $Q$  - значение величины;  $X$  - числовое значение измеряемой величины в принятой единице;  $[Q]$  - выбранная для измерения единица.

# Значения физических величин

(в зависимости от степени приближения к объективности)



**Истинное значение физической величины** - это значение, идеально отражающее в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Из-за несовершенства средств и методов измерений истинные значения величин практически получить нельзя. Их можно представить только теоретически. А значения величины, полученные при измерении, лишь в большей или меньшей степени приближаются к истинному значению.

**Действительное значение физической величины** - это значение величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

## Единица физической величины (ЕФВ)

– физическая величина фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных с ней физических величин.

**Единицы физических величин** объединяются по определенному принципу в **системы единиц**.

Эти принципы заключаются в следующем: произвольно устанавливают единицы для некоторых величин, называемых **основными единицами**, и по формулам через основные получают все производные единицы для данной области измерений.

В 1960 г. на XI Генеральной конференции по мерам и весам Международной организации мер и весов (МОМВ) была принята **Международная система единиц (SI)**, которая в России применяется с 1 января 1963 г.

### **Достоинства системы SI:**

- универсальность – охват всех областей науки и техники;
- унификация единиц для всех областей и видов измерений (механических, тепловых, электрических, магнитных и т. д.);
- когерентность единиц – все производные единицы SI получаются из уравнений связи между величинами, в которых коэффициенты равны единице;
- возможность воспроизведения единиц с высокой точностью в соответствии с их определениями;
- упрощение записи уравнений и формул в физике, химии, а также в технических расчетах в связи с отсутствием переводных коэффициентов;
- уменьшение числа допускаемых единиц;
- единая система образования кратных и дольных единиц, имеющих собственные наименования.



# Международная система единиц (SI)

## Основные величины и основные единицы физических величин

Величина			Единица величины		
наименование	обозначение	размерность (символ)	наименование	обозначение	
				русское	международное
Длина	l	L	метр	м	m
Масса	m	M	килограмм	кг	kg
Время	t	T	секунда	с	s
Сила электрического тока	i	I	ампер	A	A
Термодинамическая температура	T	θ	кельвин	K	K
Сила света	J	J	кандела	кд	kd
Количество вещества	n	N	моль	моль	mol

## Производные величины и производные единицы

Величина			Единица величины		
наименование	обозначение	размерность	наименование	обозначение	выражение производной единицы через основные
Сила	$F$	$LMT^{-2}$	ньютон	Н	$м \cdot кг \cdot с^{-2}$
Давление	$P$	$L^{-1}MT^{-2}$	паскаль	Па	$м^{-1} \cdot кг \cdot с^{-2}$
Работа	$A$	$L^2MT^{-2}$	джоуль	Дж	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-2}$
Мощность	$N$	$L^2MT^{-3}$	ватт	Вт	$м^2 \cdot кг \cdot с^{-3}$

Числовые значения физических величин изменяются в значительных пределах. Поэтому для удобства практических измерений наряду с основными и производными единицами, называемыми *главными*, введены также *кратные* и *дольные* единицы, которые обычно находятся в декадном отношении к главной единице.

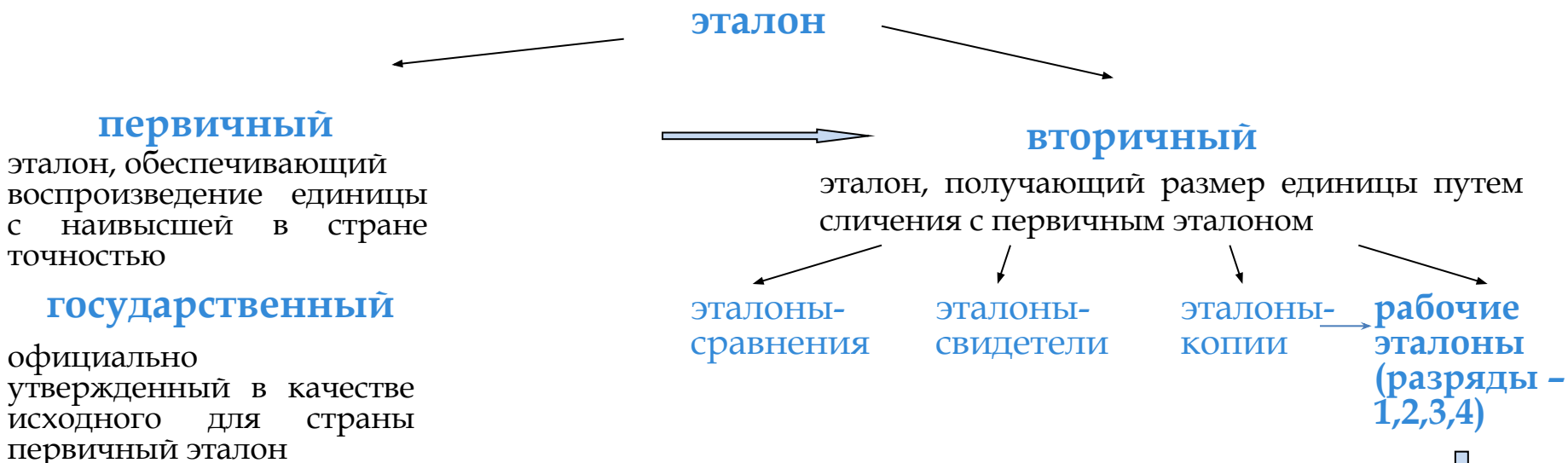
## Приставки для образования кратных и дольных единиц

Кратные единицы			Дольные единицы		
Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение	Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение
$10^{12}$	терра	T	$10^{-2}$	санτι	с
$10^9$	гига	G	$10^{-3}$	милли	м
$10^6$	мега	M	$10^{-6}$	микро	мк
$10^3$	кило	k	$10^{-9}$	нано	н
$10^2$	гекто	г	$10^{-12}$	пико	п
$10^1$	дека	да	$10^{-15}$	фемто	ф
$10^{-1}$	деци	д	$10^{-18}$	атто	а

# СИСТЕМА ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ЕДИНИЦ ВЕЛИЧИН

**Эталон** - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи размера другим средствам измерений данной величины, выполненное и утвержденное в установленном порядке

## Классификация эталонов



↓

**Рабочие средства измерения (РСИ)**

**Основные требования** к первичному эталону:

**Неизменность** - способность удерживать неизменным размер воспроизводимой им единицы в течение длительного интервала времени;

**Воспроизводимость** - воспроизведение единицы с наименьшей погрешностью для данного уровня развития измерительной техники);

**Сличаемость** - способность не претерпевать изменений и не вносить каких-либо искажений при проведении сличений.

Размер единицы передается "сверху вниз", от более точных СИ к менее точным "по цепочке":

**первичный эталон - вторичный эталон - рабочий эталон 0-го разряда - рабочий эталон 1-го разряда... - рабочее средство измерений.**

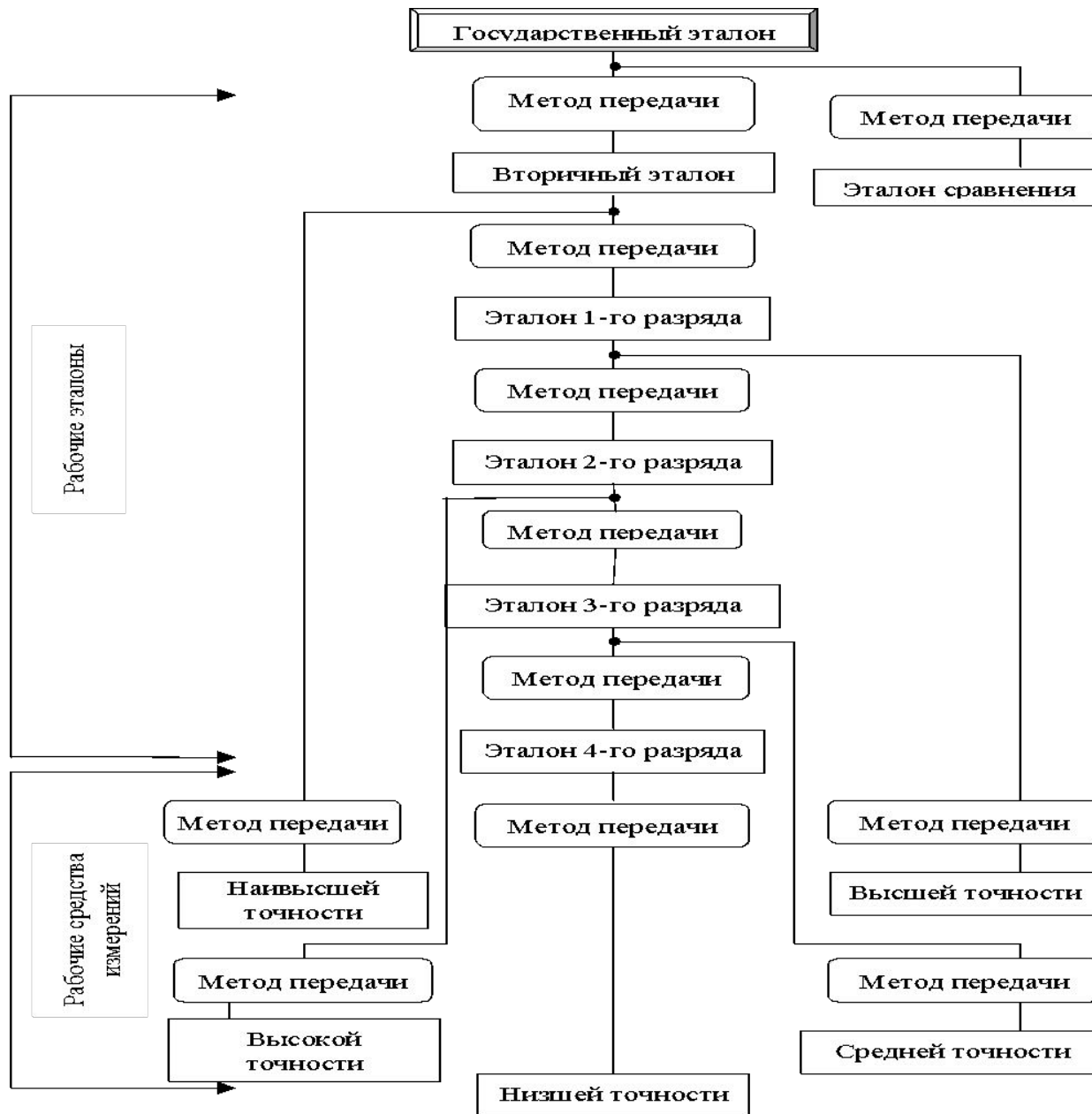
РСИ обладает различной точностью измерений: наиболее точные РСИ при поверке (калибровке) получают размер от вторичных эталонов или рабочих эталонов 1-го разряда; наименее точные - от эталонов низшего разряда (3-го или 4-го).

### **Методы передачи информации о размере единиц**

- **непосредственного сравнения** измеряемой величины и величины, воспроизводимой рабочим эталоном;
- **непосредственного сличения** (т.е. сличения меры с мерой или показаний двух приборов).

Достоверная передача размера единиц во всех звеньях метрологической цепи от эталонов или от исходного образцового средства измерений к рабочим средствам измерений производится в определенном порядке, приведенном в **поверочных схемах**.

**Поверочная схема** – это утвержденный в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам.



Государственная поверочная схема

- **прямые**

(измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно)

- **КОСВЕННЫЕ**

(определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной)

- **СОВОКУПНЫЕ**

(производимые одновременно измерения нескольких одноименных (однородных) величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях)

- **СОВМЕСТНЫЕ**

(производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними. Результат измерений получают путем решения системы уравнений)

- **однократные**

(измерение, выполненное один раз)

- **МНОГОКРАТНЫЕ**

(измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений)

- **равноточные**

(ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью)

- **неравноточные**

(ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях)

- **статические**

(измерение физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения)

- **динамические**

(измерение изменяющейся по размеру физической величины, для получения результата измерения которой необходимо учитывать это изменение)

# СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

**Средство измерений (СИ)** –

техническое устройство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные метрологические характеристики



# Мера

- это средство измерения, предназначенное для воспроизведения или хранения физической величины заданного размера.

- мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например, гиря 1 кг)



- мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины);



- комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике, как в отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины)



- набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях (например, магазин электрических сопротивлений).



# Измерительный прибор

- средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем

- измерительный прибор, показания которого или выходной сигнал являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины, например, стрелочный вольтметр, стеклянный ртутный термометр



- измерительный прибор, показания которого представлены в цифровой форме



- измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний значений измеряемой величины (микрометр, аналоговый или цифровой вольтметр)

- измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний. Регистрация значений измеряемой величины может осуществляться в аналоговой или цифровой форме, в виде диаграммы, путем печатания на бумажной или магнитной ленте (термограф или, например, измерительный прибор, сопряженный с ЭВМ, дисплеем и устройством для печатания показаний)



## Метрологические характеристики СИ (МХ СИ)

- характеристики свойств средств измерений, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений.

# Погрешность средства измерений

- погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой физической величины.

Абсолютная погрешность вычисляется, как разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины, по формуле :

$$\Delta = x - x_d$$

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности могут быть заданы в виде:

$$\Delta = \pm a$$

или

$$\Delta = \pm bx \quad \Delta = \pm(a + bx)$$

где  $\Delta$  - пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы;  
 $x$  - значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале;  
 $a, b$  - положительные числа, не зависящие от  $x$ .

- погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины.

Относительная погрешность средства измерений вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{x_n} \cdot 100\%$$

где  $\Delta$  - пределы допускаемой абсолютной погрешности;

$x$  - значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливаются:

если  $\Delta = \pm bx$ , то в виде:

$$\delta = \pm q$$

если  $\Delta = \pm(a + bx)$ , то в виде

$$\delta = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right]$$

где  $x_k$  - больший (по модулю) из пределов измерений;  $c, d$  - положительные числа,

$$c = b + d, \quad d = \frac{a}{|x_k|}$$

- относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (нормирующему значению), постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.

Приведенная погрешность средства измерений определяется по формуле:

где  $\Delta$  - пределы допускаемой абсолютной основной погрешности.

$x_n$  - нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и  $\Delta$ .

Z В повседневной производственной практике широко пользуются обобщенной характеристикой – *классом точности*.

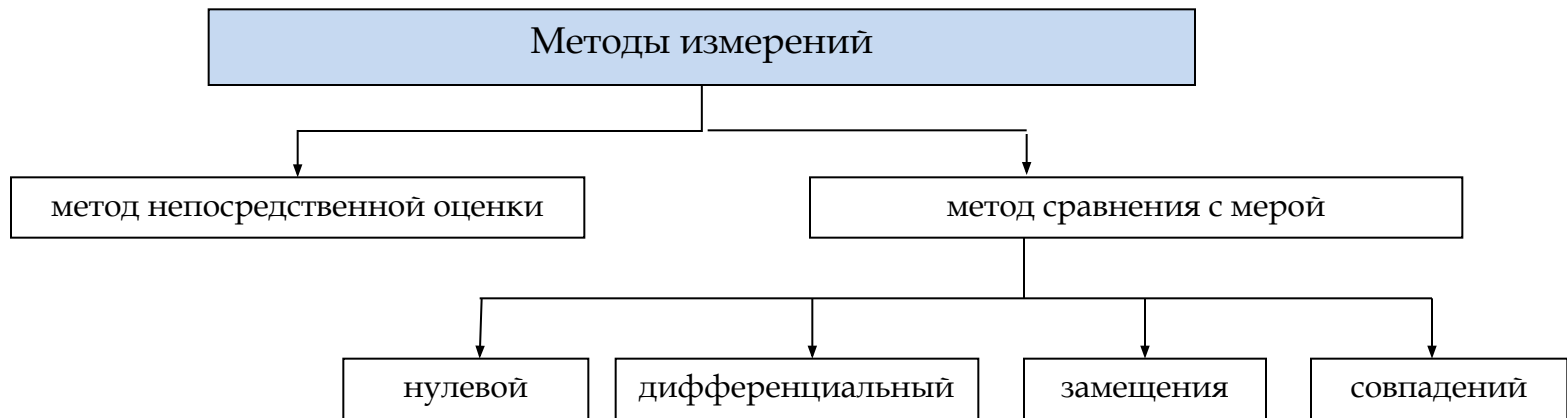
# Методы измерений

Взаимодействие СИ с объектом при измерении основано на физических явлениях, совокупность которых составляет *принцип измерений*, а совокупность приемов использования принципов и СИ называется *методом измерений*.

*Принцип измерений* – физическое явление или эффект, положенные в основу измерений.

*Метод измерений* – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с её единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

Метод измерений обычно обусловлен устройством средств измерений и определяет способы решения измерительной задачи по принятой методике выполнения измерений (МВИ). Под методикой понимают технологию выполнения измерений (совокупность операций) с целью наилучшей реализации метода.



**Метод непосредственной оценки** - это такой метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

**Метод сравнения с мерой** - это такой метод, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Метод сравнения с мерой имеет разновидности, которые часто рассматриваются как самостоятельные методы измерений: *нулевой*, *дифференциальный*, *метод замещения* и *метод совпадений*.

# ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

**Результаты измерений** представляют собой приближенные оценки значений величин, найденные путем измерения.

Обязательно существует погрешность измерения, причинами которой могут быть различные факторы. Они зависят от метода измерения, от технических средств, с помощью которых проводятся измерения, и от восприятия наблюдателя, осуществляющего измерения.

**Погрешность измерения** - отклонение результата измерения  $x_{\text{изм}}$  от истинного или действительного значения ( $x_{\text{и}}$  или  $x_{\text{д}}$ ) измеряемой величины:

$$\Delta = x_{\text{изм}} - x_{\text{и}}$$

**Погрешности измерения** могут быть классифицированы по ряду признаков, в частности:

- а) по способу выражения;
- б) по характеру проявления;

# ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ (ГСИ)

- это система обеспечения единства измерений в стране, реализуемая, управляемая и контролируемая федеральным органом исполнительной власти по метрологии – Росстандарт.

**Единство измерений** - это состояние измерений, при котором их результаты отражены в узаконенных единицах, погрешности известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы.

## Деятельность по обеспечению единства измерения (далее - ОЕИ)

направлена на охрану

- прав и законных интересов граждан,
- установленного правопорядка и
- экономики

путем защиты от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений во всех сферах жизни общества на основе конституционных норм, законов, постановлений правительства РФ и НД.

# Государственная система обеспечения единства измерений

состоит из следующих подсистем:

## Правовой

комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимосвязанным объектам деятельности по ОЕИ

### Нормативная база ОЕИ

Конституция РФ (ст. 71)

ФЗ "Об обеспечении единства измерений"

Постановления Правительства РФ по отдельным вопросам метрологической деятельности

Нормативные документы:

- национальные стандарты (ГОСТ, ГОСТ Р) системы ГСИ
- правила России (ПР) системы ГСИ

Рекомендации (гриф "МИ") системы ГСИ, государственных метрологических научных центров

## Технической

представлена совокупностью:

- межгосударственных, государственных эталонов, эталонов единиц величин и шкал измерений;
- стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
- стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;
- средств измерений и испытательного оборудования, необходимых для осуществления метрологического контроля и надзора;
- специальных зданий и сооружений для проведения высокоточных измерений в метрологических целях;
- научно-исследовательских, эталонных, испытательных, калибровочных и измерительных лабораторий.

## Организационной

представлена Метрологическими службами

Метрологическая служба России

Государственная Метрологическая служба (ГМС)

метрологические службы органов Государственного управления и юридических лиц (МС)

# Государственный метрологический контроль и надзор (ГМКиН)

**Цель** - проверка соблюдения правил законодательной метрологии - Закона РФ "Об обеспечении единства измерений", стандартов, правил по метрологии и других НД.

## **Объекты ГМКиН:**

- ✓ средства измерений,
- ✓ эталоны,
- ✓ методики выполнения измерений,
- ✓ количество товаров,
- ✓ другие объекты, предусмотренные правилами законодательной метрологии.

ГМКиН распространяется на строго ограниченные сферы, объединенные в **10 направлений:**

- 1) здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности;
- 2) торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе операции с применением игровых автоматов и устройств;
- 3) государственные учетные операции;
- 4) обеспечение обороны государства;
- 5) геодезические и гидрометеорологические работы;
- 6) банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- 7) продукция, поставляемая по государственным контрактам;
- 8) испытания и контроль качества продукции на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации и при обязательной сертификации продукции;
- 9) измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитража, других органов государственного управления;
- 10) регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

# Литература

1. Никифоров А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб.пособие/А.Д. Никифоров, Т.А.Бакиев.-М.:2005, -422 с.
2. Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация:-М.:Юрайт-издат,2007.-399с



# Контрольные вопросы

1. Перечислите основные направления развития метрологии
2. Охарактеризуйте основные методы измерений
3. Перечислите международные организации по стандартизации. Дайте им характеристику.