

## Лекция 2.

# Метрологические и математические методы исследования

# Методы

```
graph TD; A[Методы] --> B[Измерительные]; A --> C[Вычислительные]
```

Измерительные

Вычислительные

Методы базируются:

- Метрология
- Теория вероятности
- Математическая статистика
- Вычислительная математика

# Физические величины и их измерение

**Измерение** - это основное средство познания окружающего мира

**Критерии измерения:**

- Достоверность
- Повсеместная понятность
- Требуемая точность

**Метрология** – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

**В метрологии рассматриваются:**

- Общая теория измерения
- - единицы физических величин и их системы
- Методы и средства измерения
- Основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений
- Методы передачи размеров единиц от эталонов или образцов измерений к рабочим средствам измерений

**Физические величины** – это количественная характеристика свойств физического тела или системы тел, процессов и явлений (Примеры: длина, масса, скорость, температура и т.д.).

**Измерением физической величины** – называется экспериментальное, с помощью меры, сравнение данной величины с другой однородной с ней величиной, принятой за единицу измерения.

**Единица измерения** – это конкретное значение физической величины, принятое за основание при сравнении для количественной оценки однородных величин.

**Мера** – это тело или устройство, предназначенное для математического воспроизведения единицы измерения.

**Результат измерения:**

$$A = A_{\text{ед}} \cdot A_{\text{числ}}$$

**Способы получения единицы измерения физической величины:**

- Единицу измерения можно выбрать произвольно (независимая единица измерения)
- Единицу измерения получают при помощи формул, выражающих количественную зависимость между физическими величинами (производные единицы измерения)
- Единицу измерения можно получить путем деления или умножения независимой или производной единицы на целое число (10).

## **Классификация единицы измерения:**

- Системные (основные, производные, дополнительные)
- Внесистемные
  
- Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева
- Международное бюро мер и весов

**Эталон** – это меры и измерительные приборы, предназначенные для хранения и воспроизведения единиц измерений с наивысшей достижимой при данном состоянии науки и техники **ТОЧНОСТЬЮ**.

Международная система единиц (СИ) — система единиц, основанная на Международной системе величин, вместе с наименованиями и обозначениями, а также набором приставок и их наименованиями и обозначениями вместе с правилами их применения, принятая *Генеральной конференцией по мерам и весам* (CGPM).

**Результаты измерений должны быть выражены в системе единиц СИ!**



Наименование		Условное обозначение		Методика определения
величины	единицы	русское	Интернациональное	
Длина	метр	м	m	Метр равен 1 650 763,73 длины волны излучения в вакууме, соответствующего переходу между уровнями атома криптона-86
Масса	килограмм	кг	kg	Килограмм равен массе международного прототипа килограмма
Время	секунда	с	s	Секунда равна 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия
Сила электрического тока	ампер	А	A	Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один друг от друга, вызывал бы на участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия равную $2 \cdot 10^{-7} \text{Н}$

Наименование		Условное обозначение		Методика определения
величины	единицы	русское	Интернациональное	
Термодинамическая температура	кельвин	К	К	Кельвин равен 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды
Сила света	канделла	кд	cd	Канделла равна силе света, испускаемой с поверхности площадью 1/600 000 м <sup>2</sup> полого излучателя в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при 101325 Па
Количество вещества	моль	моль	mol	Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде массой 0,012 кг

Наименование		Условное обозначение		Методика определения
величины	единицы	русское	Интернациональное	
Дополнительные единицы				
Плоский угол	Радиян	рад	rad	Радиян равен углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу
Телесный угол	стерадиан	ср	sr	Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы

# Погрешности измерений и их классификация

**Точность измерения** - определяется близостью его результата к истинному значению измеряемой величины.

**Точность прибора** – определяется степенью приближения его показаний к истинному значению измеряемой величины.

**Точность метода** - определяется физическим явлением, на котором он основан.

**Систематические погрешности** – это ошибки величина и знак которых равны во всех измерениях, осуществляющиеся одними методами с помощью одних и тех же приборов.

**Случайная погрешность** – невозможно предвидеть и устранить, так как она возникает из-за причин, учесть которые нельзя ни в конструкции прибора, ни в методике измерений.

**Субъективная погрешность** – возникает тогда, когда человек активно включен в процесс измерения и погрешность зависит от чувствительности его органов чувств, реакции, наблюдательности, состояния здоровья.

**Промахи**– это грубые ошибки измерения, возникающие из-за неправильной установки прибора, эксплуатации.

**Абсолютная погрешность измерения** - разность между значением величины, полученным при измерении, и ее истинным значением, выражаемая в единицах измеряемой величины.

$$\Delta x = x_i - x$$

**Относительная погрешность** - отношение абсолютной погрешности, измерения к истинному значению измеряемой величины.

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$$

# Обработка и оценка результатов измерений

Методы математической обработки данных:

- статистическая обработка
- аналитические и графические методы

# Статистическая обработка результатов

1. определяют математическое ожидание величины  $x$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

2. определяют среднее квадратичное отклонение:

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



3. определяют среднее квадратичное отклонение одного измерения

$$S = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

4. определяют абсолютную погрешность

$$\Delta x = t_N \cdot S,$$

где  $t(N)$  – коэффициент Стьюдента

5. определяют промахи

$$|x_i - x| < \Delta x$$

# Средства измерения, используемые в экспериментальной практике

Меры

Измерительные преобразователи

Измерительные приборы

Вспомогательные средства измерения

Измерительная установка

Измерительная система

ГОСТ 8.009-84

**Виды погрешностей в зависимости от причины их возникновения**

***Инструментальная погрешность*** - составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств. Эти погрешности определяются качеством изготовления самих измерительных приборов.

***Погрешность метода измерения*** - составляющая погрешности измерения, вызванная несовершенством метода измерений.

***Погрешность настройки*** - составляющая погрешности измерения, возникающая из-за несовершенства осуществления процесса настройки.

**Погрешность отсчёта** - составляющая погрешности измерения, вызванная недостаточно точным считыванием показаний средств измерений. Погрешность возникает из-за видимого изменения относительных положений отметок шкалы вследствие перемещения глаза наблюдателя.

**Погрешность поверки** - составляющая погрешности измерений, являющаяся следствием несовершенства поверки средств измерений. Погрешности от измерительного усилия действуют в случае контактных измерительных приборов. При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения, необходимо выделить упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.

**Влияющая физическая величина** - физическая величина, не измеряемая данным средством, но оказывающая влияние на результаты измеряемой величины, например: температура и давление окружающей среды; относительная влажность и др. отличные от нормальных значений.

Погрешность средства измерения, возникающая при использовании его в нормальных условиях, когда влияющие величины находятся в пределах нормальной области значений, называют **основной**.

Если значение влияющей величины выходит за пределы нормальной области значений, появляется **дополнительная погрешность**.

**Нормальные условия** применения средств измерений - условия их применения, при которых влияющие величины имеют, нормальные значения или находятся в пределах нормальной (рабочей) области значений. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений и поверки регламентированы соответственно ГОСТ 8.050-73 и ГОСТ 8.395-80.

**Нормальная температура** при проведении измерений равна  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $293\text{ K}$ ), при этом рабочая область температур составляет  $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$ .

**Температурные погрешности** вызываются температурными деформациями. Они возникают из-за разности температур объекта измерения и средства измерения. Существуют два основных источника, обуславливающих погрешность от температурных деформаций: отклонение температуры воздуха от 20 °С и кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения.

## **Субъективные погрешности** - погрешности, зависящие от оператора .

Возможны четыре вида субъективных погрешностей:

1. *погрешность отсчитывания*;
2. *погрешность присутствия* (проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды, а тем самым и на измерительное средство);
3. *погрешность действия* (вносится оператором при настройке прибора);
4. *профессиональные погрешности* (связаны с квалификацией оператора, с отношением его к процессу измерения).



**Корреля́ция** — статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом изменения одной или нескольких из этих величин приводят к систематическому изменению другой или других величин. Мерой корреляции двух случайных величин служит коэффициент корреляции ( $r$ )

**Правильность измерений** - это качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

**Сходимость** - это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений одного и того же параметра, выполненных повторно одними и теми же средствами одним и тем же методом в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

**Воспроизводимость** - это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).