

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 ² 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 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).