

# СРС

## Ошибка измерения, учет ошибки и шкалы прибора

Выполнил: Жакупов Д.С  
201 стом.  
Проверил: Базарбек Ж.Б

# План

- Введение
- Основная часть
- Использованная литература

# Введение

- При анализе измерений следует четко разграничивать два понятия: истинные значения физических величин и их эмпирические проявления - результаты измерений.
- *Истинные значения* физических величин - это значения, идеальным образом отражающие свойства данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. Они не зависят от средств нашего познания и являются абсолютной истиной.
- *Результаты измерений*, напротив, являются продуктами нашего познания. Представляя собой приближенные оценки значений величин, найденные путем измерения, они зависят не только от них, но еще и от метода измерения, от технических средств, с помощью которых проводятся измерения, и от свойств органов чувств наблюдателя, осуществляющего измерения.

- В результате измерения разным объектам приписываются различные значения на основе оценок, заданных нашими показателями. Дифференциация в оценках может возникать за счет двух основных источников. Первый источник – это величина реального проявления у объектов определенной степени или аспекта, интересующего нас свойства. Разные оценки возникают тогда, когда наши измерения действительно улавливают эту дифференциацию. В этом случае измерения *отражают реальные* различия между понятиями. Другой источник дифференциации значений – та величина, которая относится к самому измерению или к условиям его осуществления, что предопределяет наличие разных значений у разных объектов. В этой ситуации наши измерения не демонстрируют реальных различий между объектами, т.е. таких, которые отражают подлинную дифференциацию понятий, которые мы хотим измерять. Наблюдаемые нами в этом случае различия возникают из-за погрешностей в процедуре измерения.

- Если бы наши измерения были совершенны, они бы демонстрировали только различия первого рода. Однако наши измерения крайне редко (если вообще когда-либо) бывают безупречными. Дифференциация значений, приписываемых разным объектам, неизбежно отражает не только реальные различия в степени проявления некоторого понятия, но и «искусственные» различия, обусловленные процессом измерения. Любая дифференциация значений, приписанных реальным объектам, обусловленная чем бы то ни было, кроме действительных различий, относится к **ошибкам измерения**. Они представляют собой не действительные различия между объектами, а различия, зарегистрированные ошибочно, из-за недочетов процесса измерения.

- **Погрешность измерения** – оценка отклонения величины измеренного значения величины от её истинного значения. Погрешность измерения является характеристикой (мерой) точности измерения.
- Поскольку выяснить с абсолютной точностью истинное значение любой величины невозможно, то невозможно и указать величину отклонения измеренного значения от истинного. (Это отклонение принято называть ошибкой измерения. В ряде источников, например, в БСЭ, термины *ошибка измерения* и *погрешность измерения* используются как синонимы, но согласно РМГ 29–99 термин *ошибка измерения* не рекомендуется применять как менее удачный) Возможно лишь оценить величину этого отклонения, например, при помощи статистических методов. При этом за истинное значение принимается среднестатистическое значение, полученное при статистической обработке результатов серии измерений. Это полученное значение не является точным, а лишь наиболее вероятным. Поэтому в измерениях необходимо указывать, какова их точность. Для этого вместе с полученным результатом указывается погрешность измерений.
- В зависимости от характеристик измеряемой величины для определения погрешности измерений используют различные методы.

# Метод Корнфельда



интервала в пределах от минимального до максим  $\Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{2}$  измерений, и погрешность как половина разности между

~~Средняя квадратическая погрешность:~~ ~~максимальным и миним~~  $S = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$  этом измерения:

Средняя квадратическая погрешность среднего

арифметического:

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

# Классификация погрешностей

По форме представления

- **Абсолютная погрешность** –  $\Delta X$  является оценкой абсолютной ошибки измерения. Величина этой погрешности зависит от способа её вычисления, который, в свою очередь, определяется распределением случайной величины  $X_{meas}$ . При этом неравенство:
  - $\Delta X > |X_{true} - X_{meas}|,$
  -
- где  $X_{true}$  – истинное значение, а  $X_{meas}$  – измеренное значение, должно выполняться с некоторой вероятностью близкой к 1. Если случайная величина  $X_{meas}$  распределена по нормальному закону, то, обычно, за абсолютную погрешность принимают её среднеквадратичное отклонение. Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах измерения, что и сама величина.



$$\delta_x = \frac{\Delta x}{X}$$

Относительная погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах.

- **Приведенная погрешность** – погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Вычисляется по формуле

$$\delta_x = \frac{\Delta x}{X_n}$$

где  $X_n$  – нормирующее значение, которое зависит от типа шкалы измерительного прибора и определяется по его градуировке:

– если шкала прибора односторонняя, то есть нижний предел измерений равен нулю, то  $X_n$  определяется равным верхнему пределу измерений;

– если шкала прибора двухсторонняя, то нормирующее значение равно ширине диапазона измерений прибора.

Приведенная погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах).



- **Методические погрешности** – погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики.
- **Субъективные / операторные / личные погрешности** – погрешности, обусловленные степенью внимательности, сосредоточенности, подготовленности и другими качествами оператора.
- В технике применяют приборы для измерения лишь с определенной заранее заданной точностью – основной погрешностью, допускаемой нормами в нормальных условиях эксплуатации для данного прибора.
- Если прибор работает в условиях, отличных от нормальных, то возникает дополнительная погрешность, увеличивающая общую погрешность прибора. К дополнительным погрешностям относятся: температурная, вызванная отклонением температуры окружающей среды от нормальной, установочная, обусловленная отклонением положения прибора от нормального рабочего положения, и т.п. За нормальную температуру окружающего воздуха принимают 20°C, за нормальное атмосферное давление 101,325 кПа.
- Обобщенной характеристикой средств измерения является класс точности, определяемый предельными значениями допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими параметрами, влияющими на точность средств измерения; значение параметров установлено стандартами на отдельные виды средств измерений. Класс точности средств измерений характеризует их точностные свойства, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств, так как точность зависит также от метода измерений и условий их выполнения. Измерительным приборам, пределы допускаемой основной погрешности которых заданы в виде приведенных основных (относительных) погрешностей, присваивают классы точности, выбираемые из ряда следующих чисел:  $(1; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0) \cdot 10^n$ , где показатель степени  $n = 1; 0; -1; -2$  и т.д.

т.п.), тряской в городских условиях, с несовершенством объекта измерения (например, при измерении диаметра тонкой проволоки, которая может иметь не совсем круглое сечение в результате несовершенства процесса изготовления), с особенностями самой измеряемой величины (например при измерении количества элементарных частиц, проходящих в минуту через счётчик Гейгера).

- **Систематическая погрешность** – погрешность, изменяющаяся во времени по определенному закону (частным случаем является постоянная погрешность, не изменяющаяся с течением времени). Систематические погрешности могут быть связаны с ошибками приборов (неправильная шкала, калибровка и т.п.), неучтёнными экспериментатором.
- **Прогрессирующая (дрейфовая) погрешность** – непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени. Она представляет собой нестационарный случайный процесс.
- **Грубая погрешность (промах)** – погрешность, возникшая вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры (например, если экспериментатор неправильно прочёл номер деления на шкале прибора или если произошло замыкание в электрической цепи).

- **Погрешность прямых измерений**
- **Погрешность косвенных измерений** – погрешность вычисляемой (не измеряемой непосредственно) величины:

Если  $F = F(x_1, x_2 \dots x_n)$ , где  $x_i$  – непосредственно измеряемые независимые величины, имеющие погрешность  $\Delta x_i$ , тогда:

$$\Delta F = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \Delta x_i \frac{\partial F}{\partial x_i} \right)^2}$$

## Порядок вычисления погрешностей

*Прямые измерения:*

- составляют таблицу измерений;
- находят среднее  $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$
- находят единичные отклонения  $\Delta x_i = x_i - \bar{x}$ ;
- вычисляют квадраты отклонений  $(\Delta x_i)^2$ ;
- находят среднюю квадратичную ошибку  $S_n = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x_i)^2}{(n-1)}}$  ;
- выявляют промахи;
- исключают промахи;
- находят среднеквадратичную ошибку среднего  $S_{\bar{x}} = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}$  ;
- задают значение надежности  $\alpha$  (обычно 0,95);
- выбирают из таблицы коэффициент Стьюдента при данных  $n$  и  $\alpha$ ;
- находят погрешность результата измерения  $\Delta x = \epsilon_\alpha = t_{\alpha n} S_{\bar{x}}$ ;
- записывают окончательный результат в форме  $\bar{x} \pm \Delta x$ ;
- находят относительную ошибку  $\epsilon_x = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$  .

• составляет выражение погрешности согласно выводу, функциональной зависимости

результата;

• записывают окончательный результат в форме  $f(\bar{x}) = f(\bar{r}, \bar{s}, \bar{t}, \dots) \pm \Delta f$ ;

находят относительную погрешность

$$\varepsilon_x = \frac{\Delta f}{f} \cdot 100 \%$$

# Погрешности приборов

- Основной частью большинства измерительных приборов является шкала с нанесенными на ней делениями. Погрешность таких приборов составляет, как уже отмечалось, величину порядка половины цены деления шкалы в той ее части, где производится отсчет (шкала может быть и неравномерной). Поэтому, как правило, не следует стараться при измерениях оценивать на глаз малые доли деления, тем более, что при изготовлении прибора шкала обычно наносится в соответствии с его классом точности.

Для существенного повышения точности измерений в ряде приборов помимо основной имеется дополнительная шкала, называемая нониусом. Обычно это маленькая линейка с делениями, скользящая вдоль основной шкалы. Деления на нониусе наносят таким образом, что одно деление нониуса составляет  $1 - \frac{1}{m}$  деления основной шкалы, где  $m$  – число делений нониуса. Если масштаб мелкий, то деления нониуса делают более крупными, равными  $2 - \frac{1}{m}$  делений основной шкалы. И в том, и в другом случае оказывается, что при любом положении нониуса один из его штрихов совпадает с каким-либо штрихом основной шкалы. Отсчет по нониусу основан на способности глаза достаточно точно фиксировать это совпадение. Поэтому, пользуясь нониусом, можно производить отсчеты с точностью до  $\frac{1}{m}$  части наименьшего деления основной шкалы.

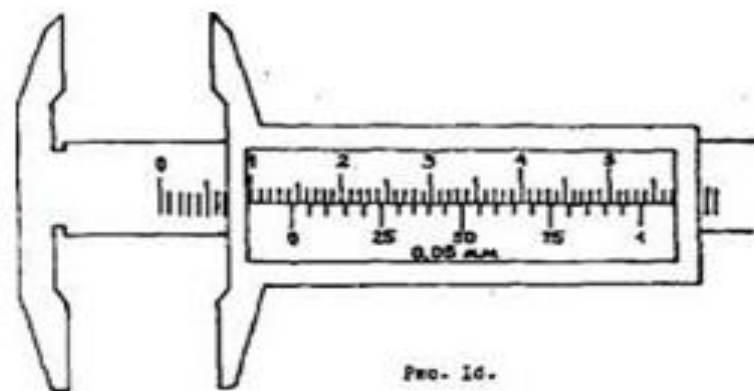


Рис. 16.





Одно деление нониуса составляет  $2 - \frac{1}{20} = 1,95$  мм.

Это означает, что первый (после нулевого) штрих нониуса смещен относительно второго штриха основной шкалы на 0,05 мм. Соответственно штрих с номером  $K$  смещен относительно ближайшего к нему справа штриха основной шкалы на  $K \cdot 0,05$  мм. Поэтому, сдвигая нониус на эту величину, мы получим совпадение  $K$ -го штриха с одним из делений основной шкалы. Сдвинув нониус еще на 0,5 мм, мы обнаружим совпадение со штрихом основной шкалы  $K + 1$  – го штриха нониуса и т.д. Аналогичная картина будет наблюдаться при смещении нулевого штриха нониуса вправо от любого из делений основной шкалы. Таким образом, с помощью изображенного на рисунке штангенциркуля можно оценивать размеры предметов с точностью до 0,05 мм.

# Оценка суммарной погрешности

- Погрешность результата измерений (состоящая из суммы случайных и неисключенных систематических

$$s_{\Sigma} = \sqrt{s^2 + s_{\Theta}^2},$$

погрешностей, принимаемых за

случайные).

где

$$s_{\Theta} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum \Theta_i^2}$$

■ является по формуле средняя квадратическая погрешность суммы неисключенных систематических погрешностей при равномерном распределении (принимаемых за случайные).

## Примечание

Доверительные границы суммарной погрешности  $(\Delta x)_{\Sigma}$  могут быть вычислены по формуле

$$(\Delta x)_{\Sigma} = \pm t_{\Sigma} S_{\Sigma} ,$$

$$t_{\Sigma} = \frac{\ominus + t \cdot S_{\bar{x}}}{S_{\ominus} + S_{\bar{x}}} ; \ominus$$

где  $\ominus$  – граница суммы не исключенных систематических погрешностей результата измерений;  $t \cdot S_{\bar{x}}$  – доверительная граница погрешности результата измерений.

# Использованная литература

1. Линник Ю.В., Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений, 2 изд., М., 1962;
2. Большев Л.Н., Смирнов Н.В., Таблицы математической статистики, 2 изд., М., 1968;
3. Новиков С.М., Жолдакова З.И., Румянцев Г.И. и др. Проблемы прогнозирования и оценки общей химической нагрузки на организм человека с применением компьютерных технологий // Гигиена и санитария. -1997. – №4. – с. 3–8;
4. Новиков С.М. Алгоритмы расчета доз при оценке риска, обусловленного многосредовыми воздействиями химических веществ. – М., 1999;
5. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ №25 от 10.11.97 и Главного государственного инспектора РФ по охране природы №03–19/24–3483 от 10.11.97 «Об использовании методологии и оценки риска для управления качеством окружающей среды и здоровья населения в Российской Федерации»;
6. Оценка рисков для организма человека, создаваемых химическими веществами: обоснование ориентировочных величин для установления предельно допустимых уровней экспозиции по показателям влияния на состояние здоровья. Гигиенические критерии качества окружающей среды, 170. – ВОЗ, Женева, 1995;
7. Большаков А.М., Крутько В.Н., Пуцилло Е.В. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения. – М., 1999.