

Лекция 4. Основы теории погрешностей

Определение. **Измерение** – совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины.

Любое измерение дает результат, несколько отличающийся от истинного значения измеряемой величины. Точность измерений ограничивается несовершенством измерительных приборов, несовершенством наших органов чувств и статистическим характером изучаемых явлений.

Оценка погрешности измерений — одно из важных мероприятий по обеспечению единства измерений.

Количество факторов, влияющих на точность измерения, достаточно велико, и любая классификация погрешностей измерения в известной мере условна, так как различные погрешности в зависимости от условий измерительного процесса проявляются в различных группах.

Определение. **Погрешность измерения** ($\Delta X_{\text{ИЗМ}}$) — отклонение результата измерения от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

$$\Delta X_{\text{ИЗМ}} = X_{\text{ИЗМ}} - Q,$$

где $X_{\text{ИЗМ}}$ — измеренное значение величины, Q — истинное значение измеряемой величины.

На практике вместо истинного значения используют действительное значение величины Q_0 , то есть значение физической величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него. 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. Например, запись $l=(137\pm 0,5)$ см означает, что истинное значение величины l лежит в интервале от 136,5 см до 137,5 см с некоторой оговорённой вероятностью.

Классификация погрешностей

По форме представления

Абсолютная погрешность измерения – это разность между результатом измерения x и действительным x_d (истинным) значением физической величины

$$\Delta = x - x_d$$

Абсолютная погрешность — Δ является оценкой абсолютной ошибки измерения.

Абсолютная погрешность измеряется в тех же единицах измерения, что и сама величина.

Существует несколько способов записи величины вместе с её абсолютной погрешностью.

- Обычно используется запись со знаком \pm . Например, рекорд в беге на 100 метров, установленный в 1983 году, равен $(9,930 \pm 0,005)$ с.*
- Для записи величин, измеренных с очень высокой точностью, используется другая запись: цифры, соответствующие погрешности последних цифр мантиссы, дописываются в скобках. Например, измеренное значение массы электрона равно $m_e = 9,109\ 382\ 91(40) \times 10^{-31}$ кг, что также можно записать значительно длиннее как $(9,109\ 382\ 91 \times 10^{-31} \pm 0,000\ 000\ 40 \times 10^{-31})$ кг.*

Относительная погрешность (δ) — погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения Δ к действительному x_d или измеренному значению x измеряемой величины (РМГ 29-99):

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} \text{ или } \delta = \pm \frac{\Delta}{x_d}$$

Относительная погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах.

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{x} 100\% \text{ или } \delta = \pm \frac{\Delta}{x_d} 100\%$$

Приведённая погрешность (γ) — погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений Δ к условно принятому значению величины L , постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.

Вычисляется по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta}{L}$$

где L — 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 L определяется равным верхнему пределу измерений;

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

Приведённая погрешность является безразмерной величиной, либо измеряется в процентах.

$$\gamma = \frac{\Delta}{L} 100\%$$

По причине возникновения

Методические погрешности — погрешности, обусловленные несовершенством метода, а также упрощениями, положенными в основу методики.

Примером является измерение объемов тел, форма которых принимается (в модели измерений) геометрически правильной, путем измерения недостаточного числа линейных размеров. Так, существенную методическую погрешность будет иметь результат измерения объема помещения путем измерения одной длины, одной ширины и одной высоты. Для более точного измерения объема следовало бы измерить эти параметры по каждой стене в нескольких местах.

Субъективные / операторные / личные погрешности — погрешности, обусловленные степенью внимательности, сосредоточенности, подготовленности и другими качествами оператора.

Например, погрешность, вызванная неправильным направлением взгляда при наблюдении за показаниями стрелочного прибора. Использование цифровых приборов и автоматических методов измерения позволяет исключить такого рода погрешности.

Инструментальные / приборные погрешности — погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений и вызываются несовершенством принципа действия, неточностью градуировки шкалы, ненаглядностью прибора.

Неточность градуировки, конструктивные несовершенства, изменения характеристик прибора в процессе эксплуатации и т. д. являются причинами основных погрешностей инструмента измерения. Дополнительные погрешности, связанные с отклонением условий, в которых работает прибор, от нормальных, отличают от инструментальных (ГОСТ 8.009-84), т.к. они связаны скорее с внешними условиями, чем с самим прибором.

По характеру проявления

Случайная погрешность — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

В появлении таких погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения, однако их влияние как правило можно устранить статистической обработкой.

Случайные погрешности могут быть связаны с несовершенством приборов (трение в механических приборах и т. п.), тряской в городских условиях, с несовершенством объекта измерений (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).

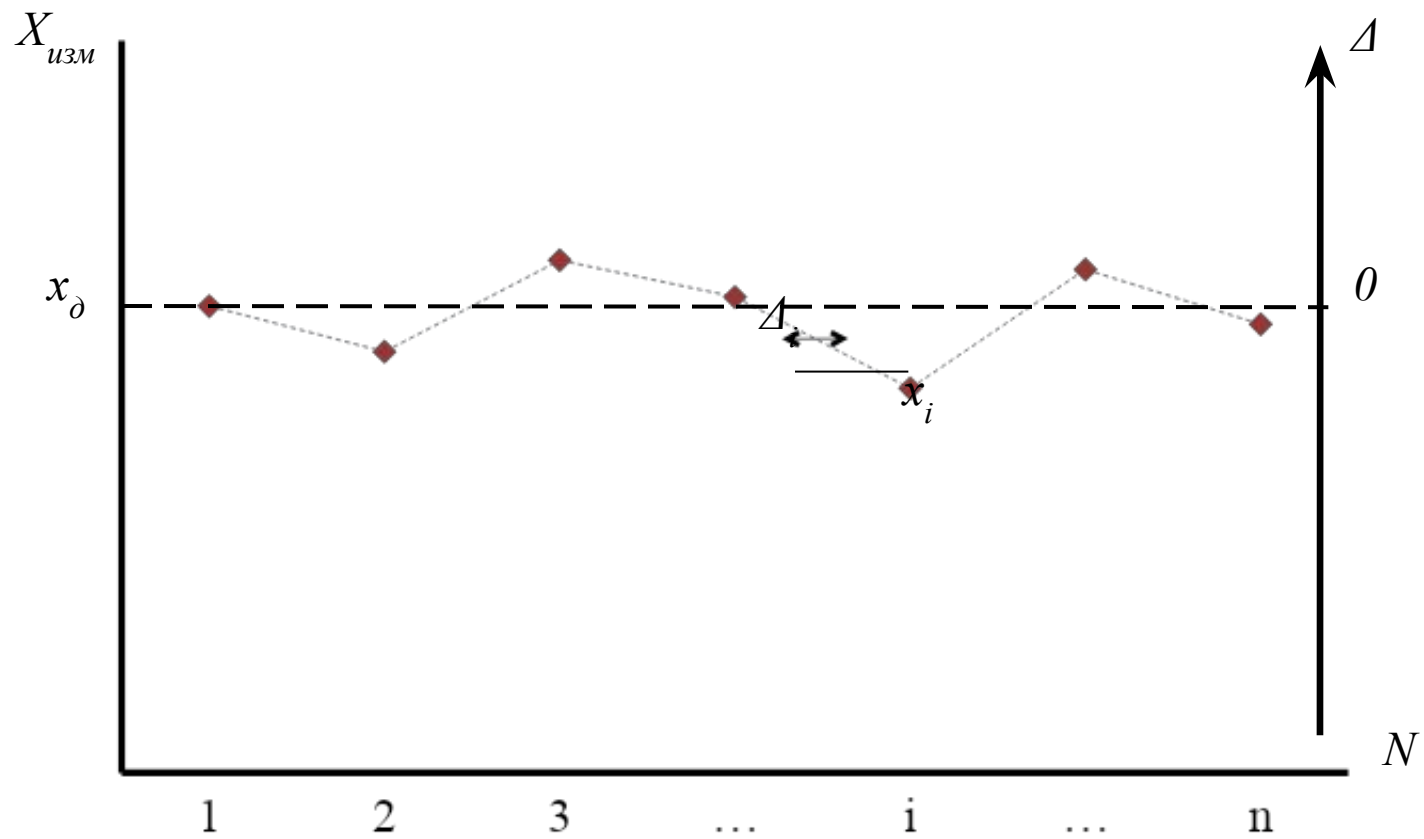


Рисунок 1 – Изменение случайной погрешности от измерения к измерению

Систематическая погрешность — погрешность, изменяющаяся во времени по определённом закону (частным случаем является постоянная погрешность, не изменяющаяся с течением времени).

Причинами появления систематической погрешности могут являться неисправности средств измерений, несовершенство метода измерений, неправильная установка измерительных приборов, отступление от нормальных условий их работы, особенности самого оператора.

Систематические погрешности подразделяются на методические, инструментальные и субъективные.

Систематические погрешности в принципе могут быть выявлены и устранены. Для этого требуется проведение тщательного анализа возможных источников погрешностей в каждом конкретном случае.

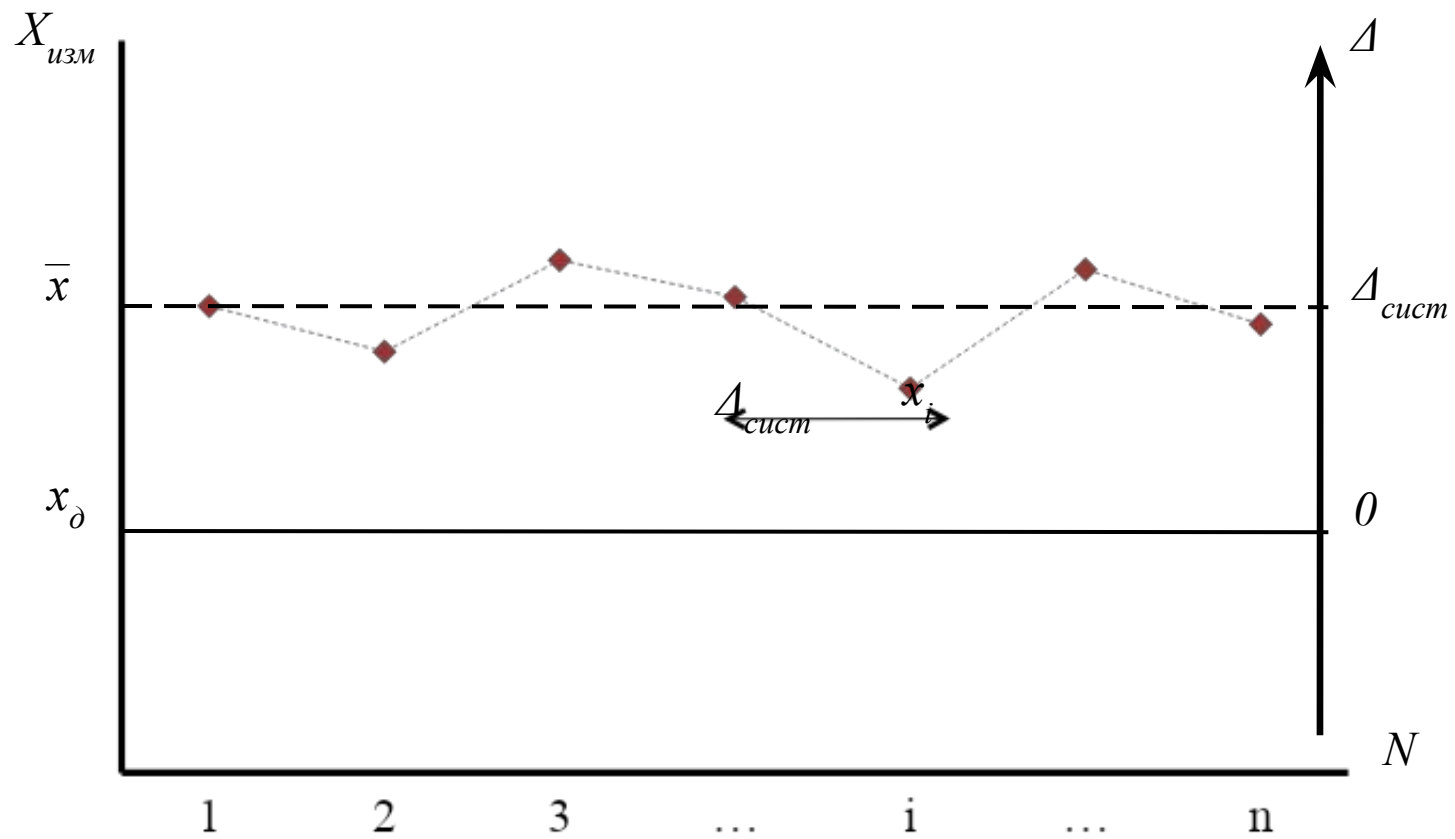


Рисунок 2 – Постоянная систематическая погрешность

Во многих случаях систематическую погрешность в целом можно представить как сумму двух составляющих аддитивной Δ_a и мультипликативной Δ_m .

Аддитивной погрешностью называется погрешность, постоянная в каждой точке шкалы.

Мультипликативной погрешностью называется погрешность, линейно возрастающая или убывающая с ростом измеряемой величины.

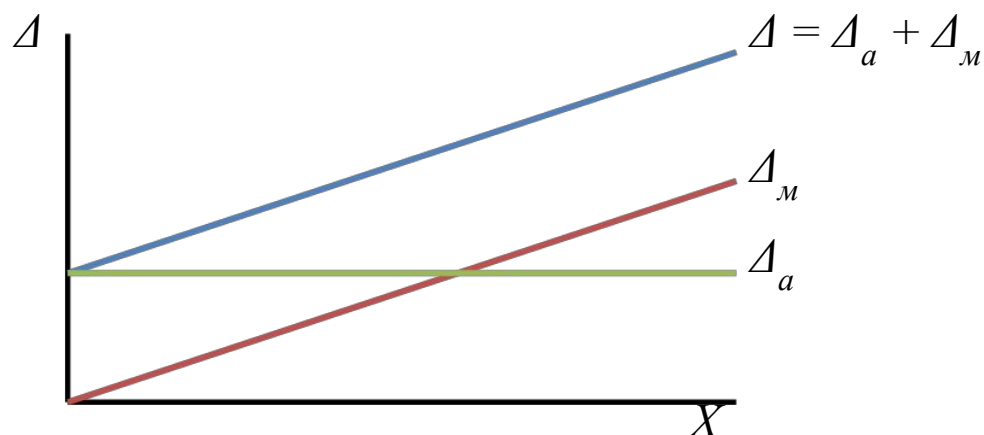


Рисунок 3 – Составляющие систематической погрешности

Такой подход позволяет легко скомпенсировать влияние систематической погрешности на результат измерения путем введения отдельных поправочных коэффициентов для каждой из этих двух составляющих.

Грубая погрешность (промах) — погрешность, возникшая вследствие недосмотра экспериментатора или неисправности аппаратуры.

Причиной могут послужить ошибка оператора, возникновение сильной кратковременной помехи, толчок, нарушение электрического контакта и т. д. Такой результат, содержащий грубую погрешность необходимо выявить, исключить и не учитывать при дальнейшей статистической обработке результатов измерений.

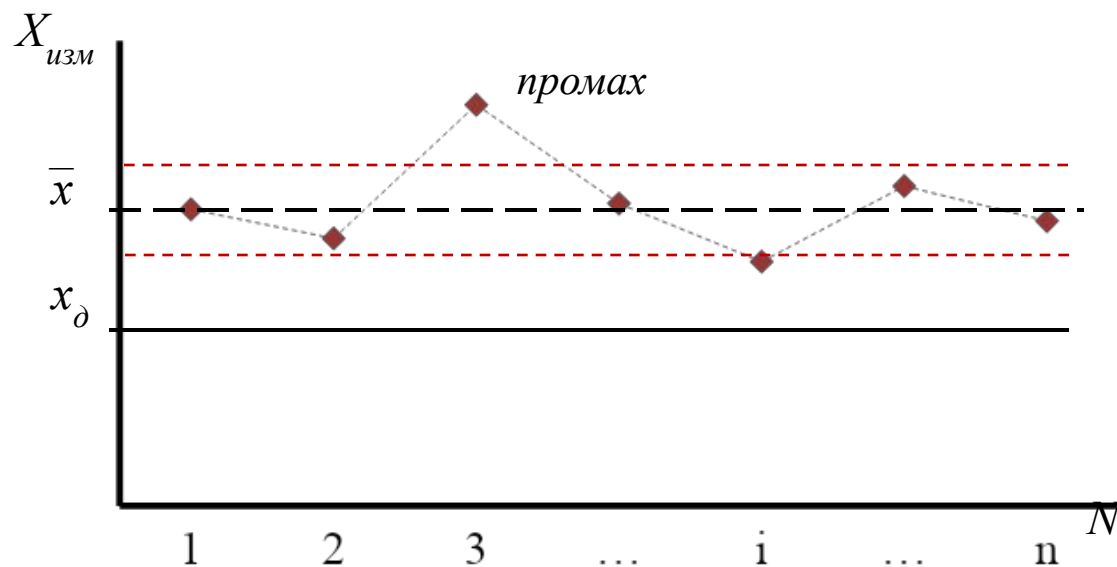


Рисунок 4 – Грубая погрешность (промах)

Класс точности средств измерений

Класс точности средств измерений - обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на их точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.

Классы точности присваиваются средствам измерений при их разработке с учетом результатов государственных приемочных испытаний.

Класс точности хотя и характеризует совокупность метрологических свойств данного средства измерений, однако не определяет однозначно точность измерений, так как последняя зависит от метода измерений и условий их выполнения.