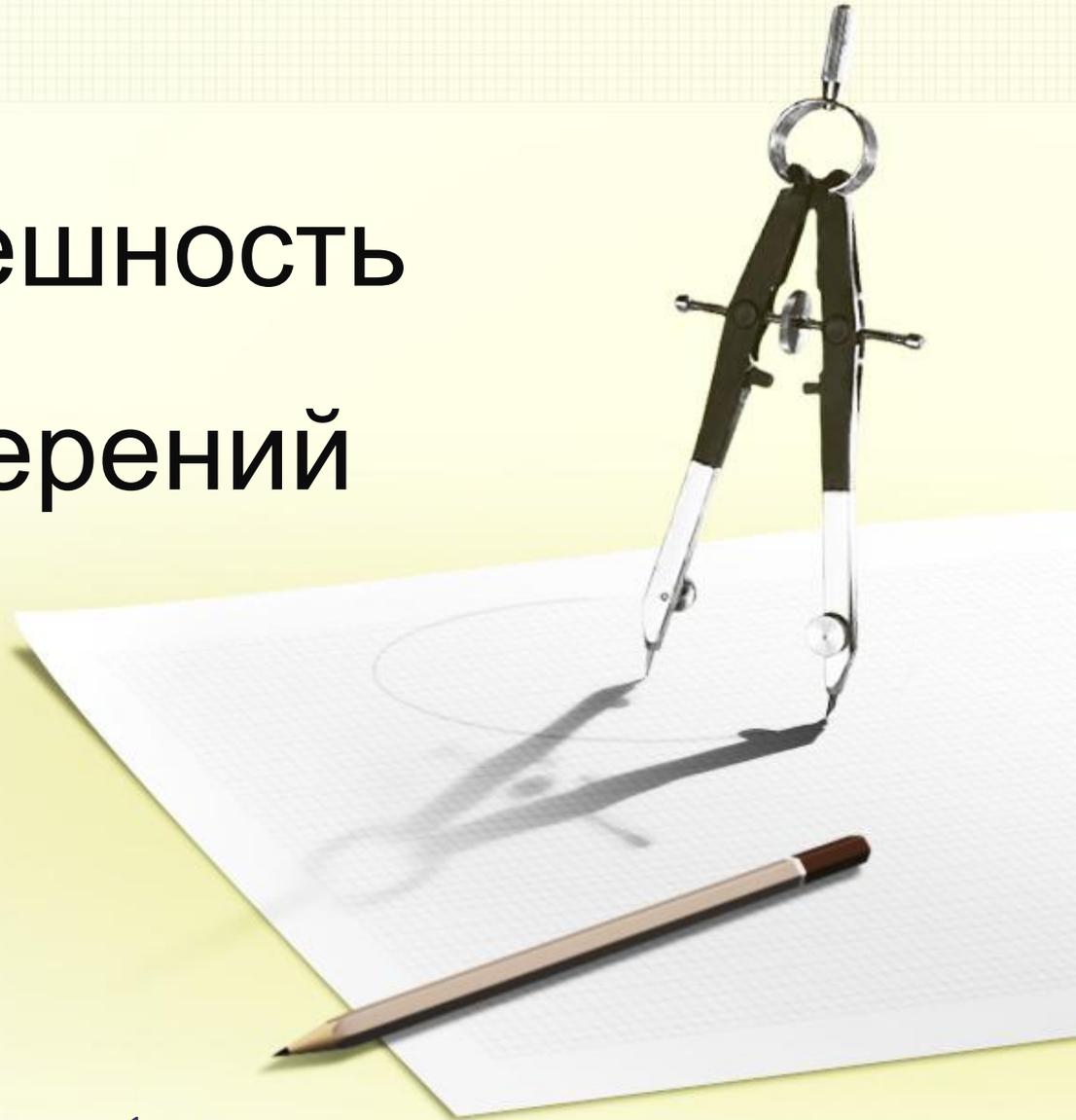


Погрешность измерений



Основные понятия



Истинным называется значение ФВ, идеальным образом характеризующее свойство данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. Практически получено быть не может.

Действительным называется значение ФВ, найденное экспериментально и настолько близкое к истинному, что в поставленной измерительной задаче оно может быть использовано вместо него.

Результат измерения представляет собой значение величины, полученное путем измерения.

Погрешность измерений



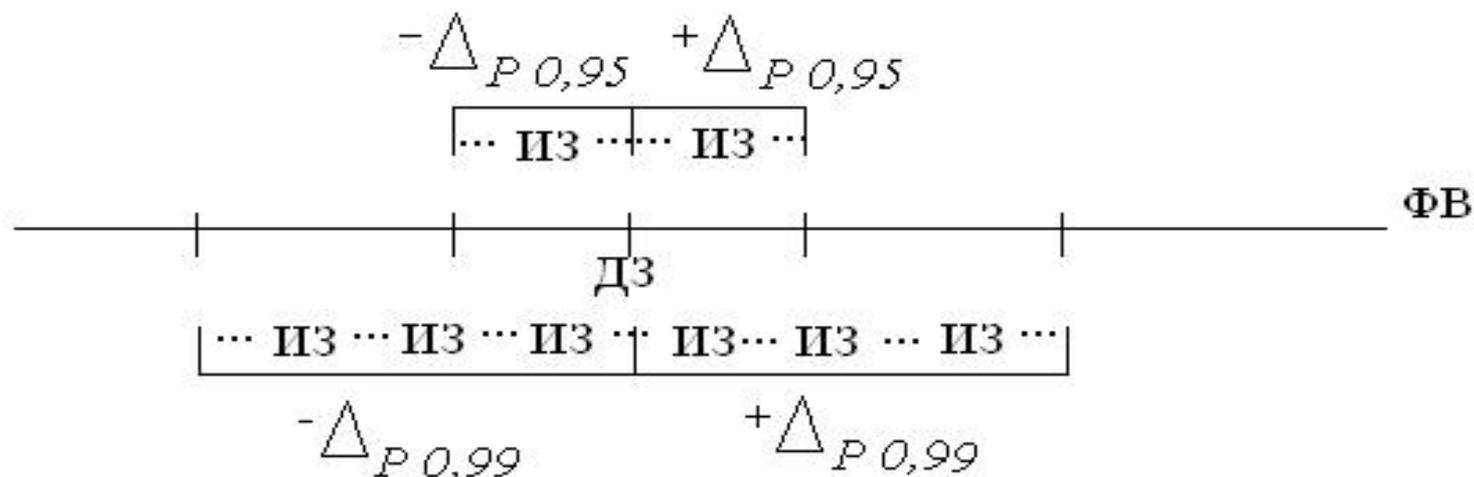
Погрешность результата измерения – это отклонение результата измерения X от истинного (или действительного) значения Q измеряемой величины:

$$\Delta X = X - Q \quad (1)$$

Она указывает границы неопределенности значения измеряемой величины. Близость к нулю погрешности результата измерения отражает ***точность результата измерений***, которая является одной из характеристик качества измерения. Считают, что чем меньше погрешность измерения, тем выше его точность.

Взаимосвязь основных понятий

Взаимосвязь понятий ИЗ, ДЗ, ФВ, Δ и вероятность P



Очевидно, что ИЗ с заданной вероятностью оказывается удалено от найденного в процессе измерения ДЗ на интервал, не превышающий погрешности. При прочих равных условиях (в первую очередь - при одинаковом числе наблюдений), если требуется назначить большую вероятность, интервал погрешности также возрастает.

Взаимосвязь основных понятий



Размеры Δ и P взаимосвязаны: чем выше P , тем больше Δ , следовательно, назначая высокую степень уверенности, мы рассматриваем наихудший вариант контролируемых событий. И наоборот, делая более неопределенными контролируемые посредством измерений события, мы получаем большую уверенность в том, что они произойдут.

Пример: вероятность того, что ракета попадет в точку, оставленную карандашом, близка к нулю. Если постепенно увеличивать размеры точки до размеров земного шара, то вероятность попадания ракеты в эту точку будет постепенно приближаться к единице.

Практически важным является требование одновременно увеличивать P и уменьшать Δ . Такую возможность дает увеличение числа наблюдений. Увеличением числа наблюдений можно добиться, соответственно, роста P при фиксированном Δ , или уменьшения Δ при фиксированном P .

Погрешность измерений



Погрешность средства измерений – разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ. Она характеризует точность средства измерений (характеристику качества СИ, отражающую близость его погрешности к нулю). Понятия погрешности результата измерения и погрешности средства измерений во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым признакам.

Классификация погрешностей



по форме числового выражения

абсолютная

относительная

приведенная

по закономерности появления

случайная

систематическая

в зависимости от источника возникновения

субъективная

инструментальная

методическая

Классификация погрешностей



по зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины

аддитивная

мультипликативная

нелинейная

в зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин

статическая

динамическая

Виды погрешностей по форме числового выражения

Абсолютная погрешность описывается формулой (1) и выражается в единицах измеряемой величины.

Однако она не может в полной мере служить показателем точности измерений, так как одно и то же ее значение, например, $\Delta x = 0,05$ м при $x = 100$ м, соответствует достаточно высокой точности измерений, а при $x = 1$ м – низкой. Поэтому и вводится понятие *относительной погрешности*.

Виды погрешностей по форме числового выражения

Относительная погрешность

(действительная относительная погрешность) есть отношение абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины (показанию рабочего прибора):

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} \quad \text{или} \quad \delta = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\% \quad (2)$$

Действительная относительная погрешность измерения связана обратной зависимостью с точностью измерения:

$$\nu = \frac{1}{\delta}$$

Виды погрешностей по форме числового выражения

Если $x=0$?

В связи с этим для указания и нормирования погрешности СИ используется еще одна разновидность погрешности – приведенная.

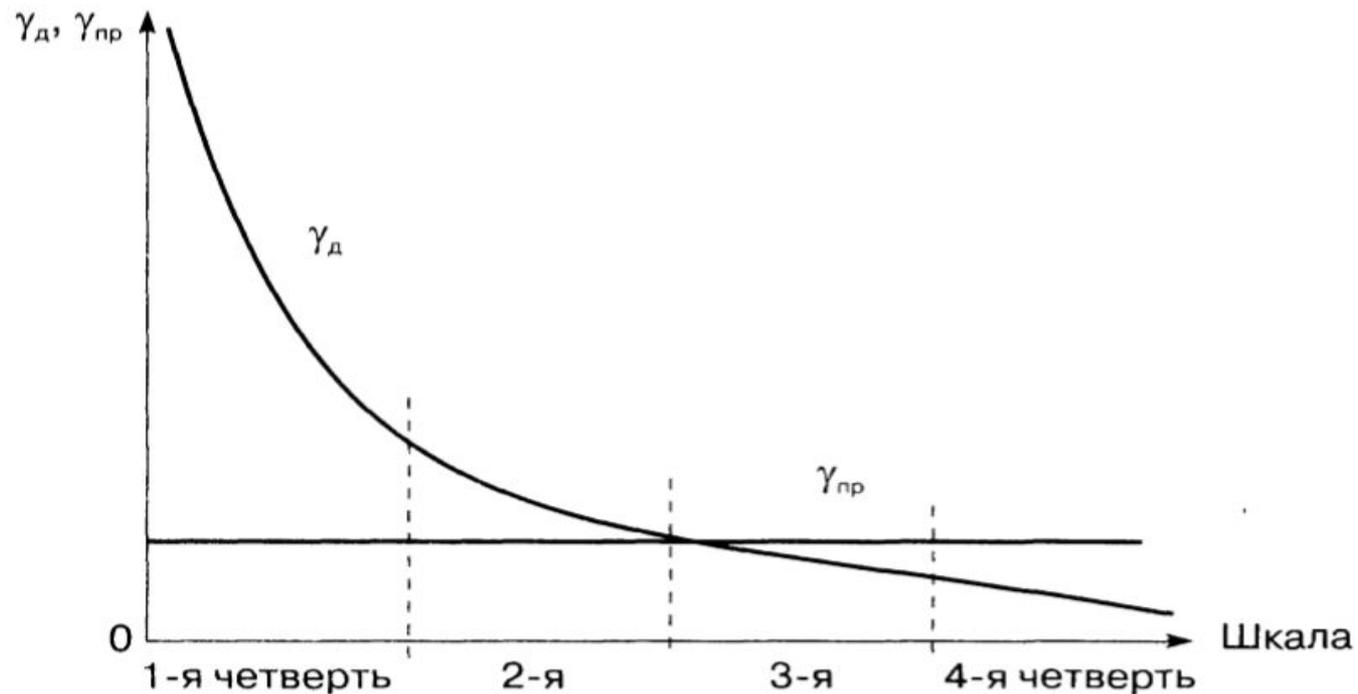
Приведенная погрешность средства измерений – это относительная погрешность, в которой абсолютная погрешность СИ отнесена к условно принятому значению x_N , постоянному во всем диапазоне измерений или его части:

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \quad \text{или} \quad \gamma = \frac{\Delta x}{x_N} \cdot 100\% \quad (3)$$

Условно принятое значение x_N называют нормирующим. Чаще всего за него принимают верхний предел измерений данного СИ, применительно к которому и используется главным образом понятие «приведенная погрешность». Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

Виды погрешностей по форме числового выражения

График зависимости погрешностей показания измерительного прибора на примере использования прибора с односторонней шкалой



Виды погрешностей по форме числового выражения

Действительная относительная погрешность измерения максимальна в 1-й четверти шкалы аналогового прибора и минимальна в 4-й. Следовательно, для получения наименьшей погрешности измерения необходимо использовать 4-ю (в крайнем случае 3-ю) четверть шкалы.

Приведенная относительная погрешность не зависит от показания аналогового прибора, поэтому величина положена в основу класса точности электромеханических приборов.

Класс точности	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	1,0	1,5	2,5	4,0

Виды погрешностей по форме числового выражения



Пример:

Вольтметр имеет полную шкалу 10 В,
6-й класс точности

Это значит, что при любом отсчете стрелка прибора может отклоняться от истинного значения не более, чем на $\pm 0,1$ В.

Если прибор показывает 9 В, то истинное значение может быть от 9,1 до 8,9 В.

Если прибор показывает $3 \{2; 1\}$ В, то ошибка будет возрастать до ? %.

Виды погрешностей по форме числового выражения

Погрешности **косвенных** измерений. **Косвенное измерение** — это измерение, при котором искомое значение величины определяется путем выполнения определенных математических операций, т.е. оценка погрешности производится по формуле:

$$\gamma_d = |k_1 \cdot \gamma_{d1}| + |k_2 \cdot \gamma_{d2}| + \dots + |k_n \cdot \gamma_{dn}|,$$

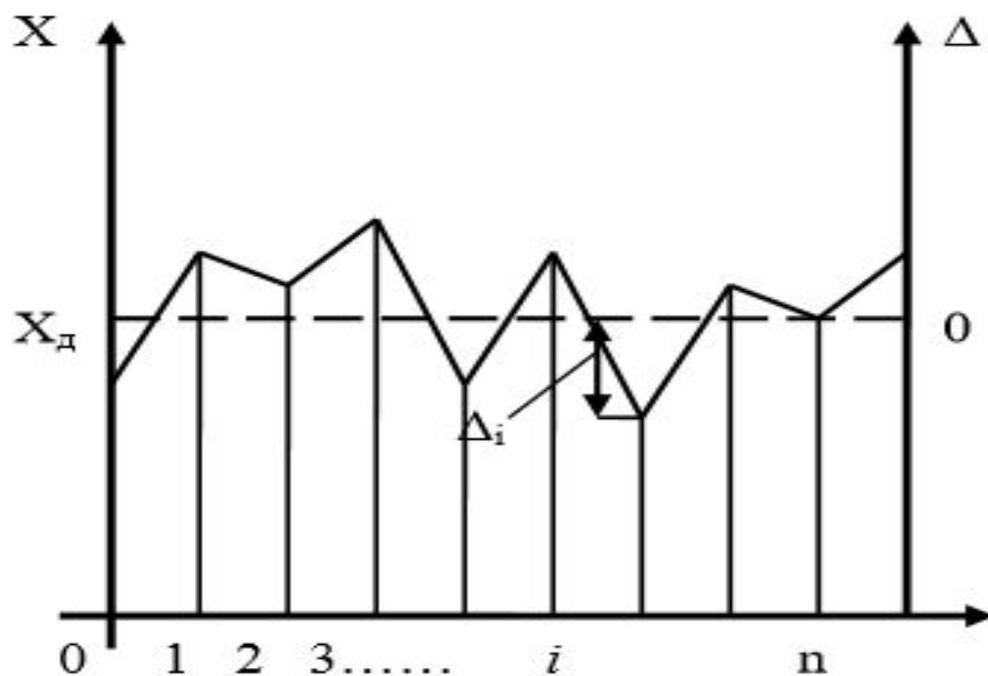
где k_1, k_2, \dots, k_n — показатели степени (могут быть положительными, отрицательными, целыми или дробными числами);

$\gamma_{d1}, \gamma_{d2}, \dots, \gamma_{dn}$ — относительные действительные погрешности прямых измерений.

Анализ формулы позволяет сделать вывод, что при косвенных измерениях погрешность, как правило, больше, чем при прямых измерениях.

Виды погрешностей по закономерности появления

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же размера ФВ, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях.



Классификация погрешностей измерений



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 можно существенно уменьшить, увеличив число наблюдений. Описание случайных погрешностей возможно только на основе теории случайных процессов и математической статистики. Для получения результата, минимально отличающегося от истинного значения измеряемой величины, проводят многократные измерения требуемой величины с последующей математической обработкой экспериментальных данных.

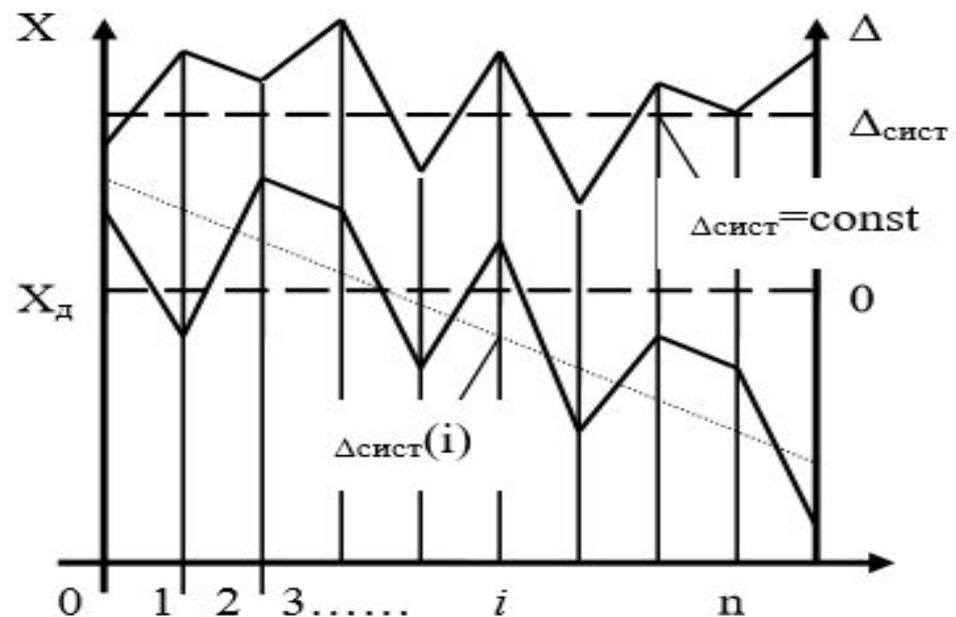
Грубая погрешность (промах) – это случайная погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений; для данных условий она резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Виды погрешностей по закономерности появления

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ.

Их отличительный признак заключается в том, что они могут быть предсказаны, обнаружены и благодаря этому почти полностью устранены введением соответствующей поправки.

Постоянная и переменная систематические погрешности



Виды погрешностей

В зависимости от причин возникновения

Инструментальная погрешность измерения

обусловлена погрешностью применяемого СИ. Иногда эту погрешность называют аппаратурной.

Субъективная (личная) погрешность

измерения обусловлена погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам СИ, диаграммам регистрирующих приборов. Она вызвана состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ.

Погрешность метода измерений – составляющая систематической погрешности измерений из-за несовершенства принятого метода измерений, эта погрешность обусловлена:

Виды погрешностей

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ

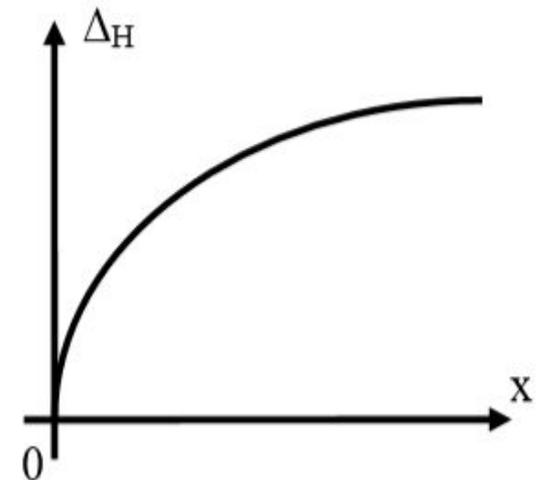
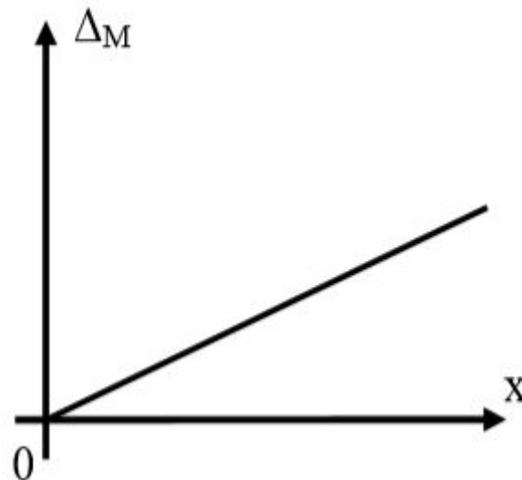
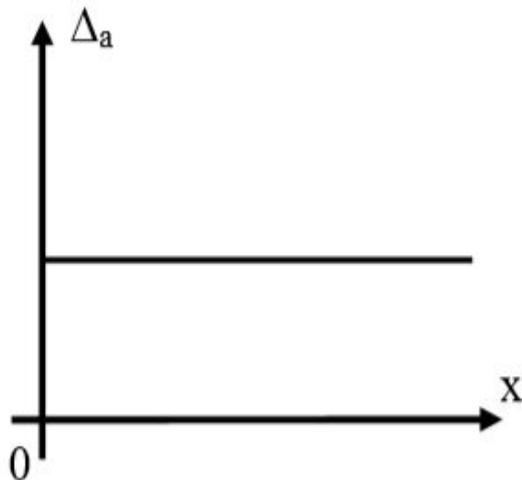
- отличием принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойство, которое определяется путем измерения;
- влиянием способов применения СИ

Пример: при измерении напряжения вольтметром с конечным значением внутреннего сопротивления, вольтметр шунтирует участок цепи, на котором измеряется напряжение, и оно оказывается меньше, чем было до присоединения вольтметра;

- влиянием алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений. Вследствие упрощений, принятых в уравнениях для измерений, нередко возникают существенные погрешности, для компенсации действия которых следует вводить поправки. Иногда погрешность метода называют теоретической погрешностью;
- влиянием других факторов, не связанных со свойствами используемых СИ.

Виды погрешностей по зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины

аддитивные Δ_a , не зависящие от измеряемой величины;
мультипликативные Δ_M , прямо пропорциональны
измеряемой величине;
нелинейные Δ_H , имеющие нелинейную зависимость от
измеряемой величины.



Эти погрешности применяют в основном для описания метрологических характеристик СИ. Такое их разделение весьма существенно при решении вопроса о нормировании и математическом описании погрешностей СИ.

Виды погрешностей в зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин

Статической называется погрешность средства измерений, применяемого для измерения ФВ, принимаемой за неизменную.

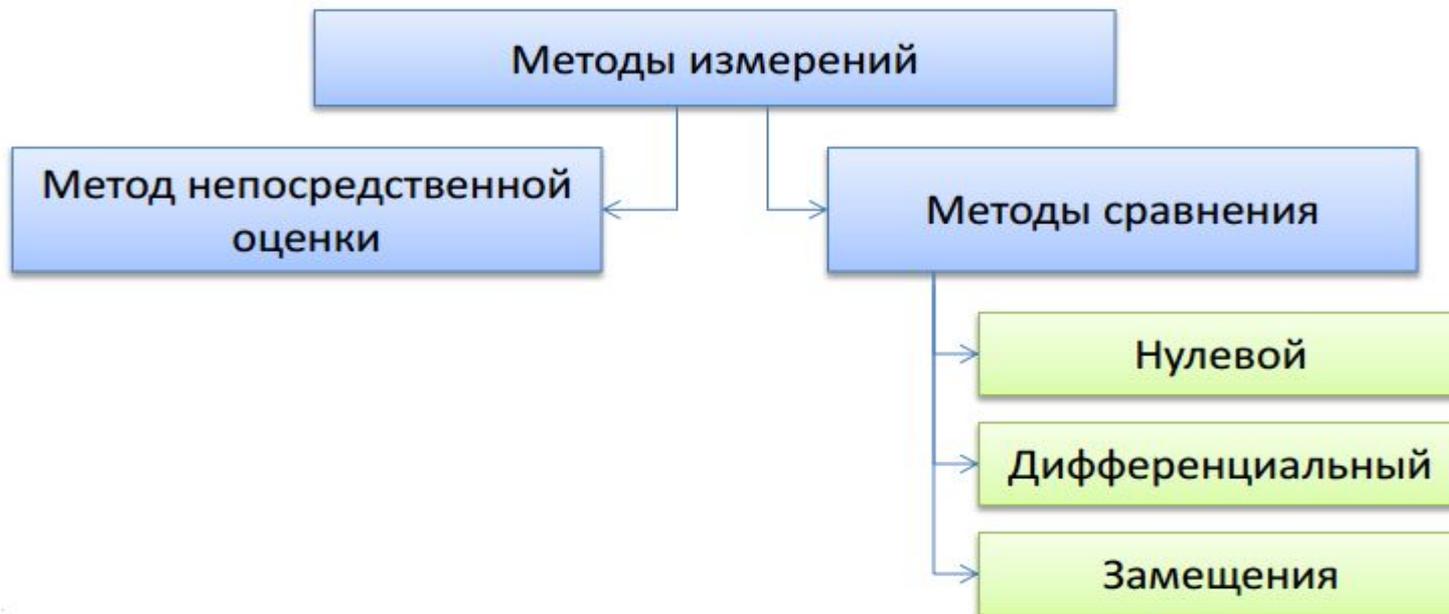
Динамической называется погрешность СИ, возникающая дополнительно при измерении изменяющейся (в процессе измерений) ФВ.

Динамическая погрешность СИ обусловлена несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения измеряемого сигнала.

Методы измерений

Метод измерений - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

В основе классификации методов измерения лежит способ применения меры при получении значения измеряемой величины.



Методы измерений

Метод непосредственной оценки — метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по показывающему средству измерений.

Результат измерения в этом случае определяется непосредственно по отсчетному устройству средства измерения. Использование меры в получении результата происходит опосредовано через процедуру градуировки шкалы средства измерения на этапе его производства.



Методы измерений



Нулевой метод измерений - метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля.

Устройство, с помощью которого определяется равенство нулю указанной разности, называется нуль-индикатором (НИ).

Данный метод позволяет получить высокую точность измерений, при применении высокоточных мер и НИ, обладающих высокой чувствительностью.

Методы измерений

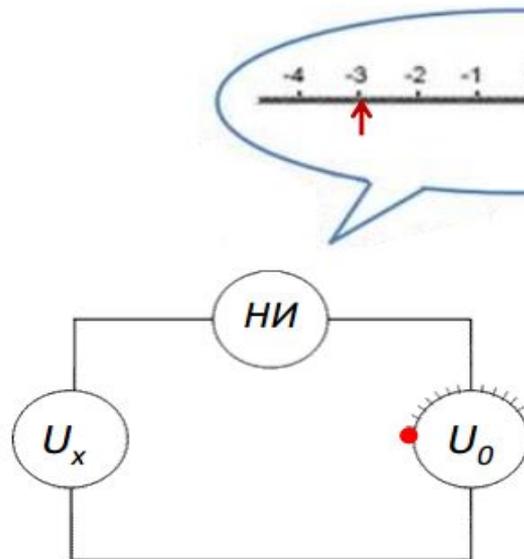
Нулевой метод измерений

Пример: U_x — измеряемая величина; U_0 — мера;

НИ — нуль-индикатор.

Изменяя значение меры, добиваются выполнения равенства $U_x = U_0$.

Признаком равенства этих значений является отсутствие тока через НИ $I_{\text{НИ}} = 0$.



Стрелка нуль-индикатора показывает ноль, следовательно значение искомой величины и меры совпадают.

Методы измерений



Дифференциальный (разностный) метод измерений – метод измерения, при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором измеряется разность между этими двумя величинами.

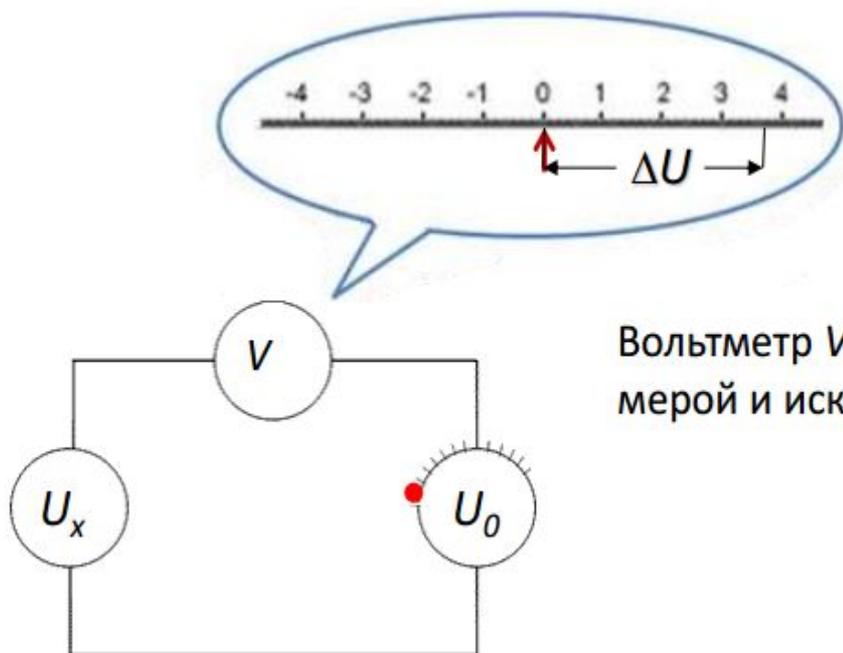
Результат определяется, как сумма показаний средства измерений и значения физической величины воспроизводимой мерой.

Наибольшую точность данный метод позволяет получить при незначительном отличии между измеряемой величиной и известным значением, воспроизводимом мерой.

Методы измерений

Дифференциальный метод измерений

Пример: V — вольтметр, измеряющий разность ΔU между значением измеряемого напряжения U_x и значением воспроизводимым образцовым источником напряжения. Тогда измеряемая величина определяется выражением $U_x = U_0 + \Delta U$.



Вольтметр V измеряет разность между мерой и искомой величиной.



Методы измерений



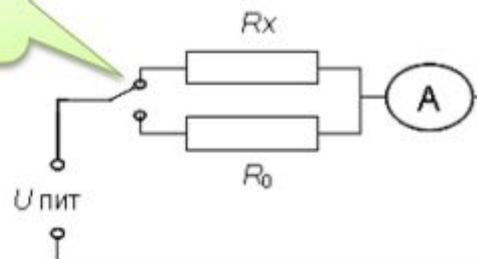
Метод измерений замещением – метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины. С помощью средства измерения производится поочередное измерение искомой величины и величины, воспроизводимой мерой, результат определяется по этим двум значениям.

В качестве примера приведем обобщенную схему измерения значения сопротивления резистора на основе метода замещения. На первом шаге измеряется ток I_x через резистор R_x . На втором — ток I_0 через образцовое сопротивление R_0 . Искомая величина определяется из соотношения.

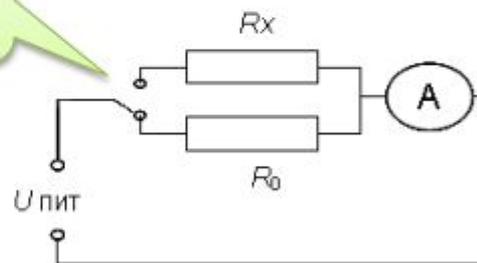
Методы измерений

Метод измерений замещением

Измеряется сила тока I_x через сопротивление R_x



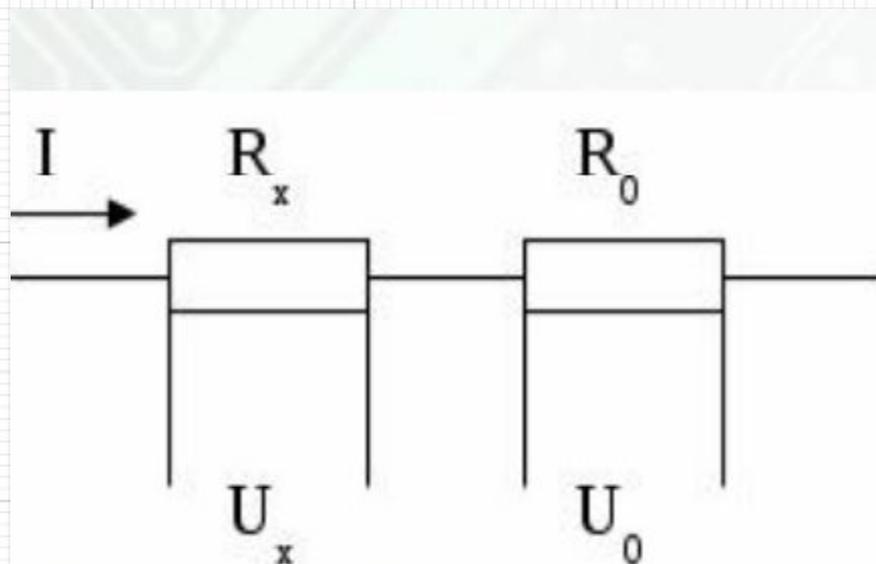
Измеряется сила тока I_0 через сопротивление R_0



Искомая величина определяется по формуле $R_x = I_0 R_0 / I_x$

Методы измерений

Метод измерений замещением



R_x – искомое
сопротивление,
 R_0 – известное.

Поочередно измеряют
напряжения U_x и U_0 .
Так как $I = U_x/R_x = U_0/R_0$
то **$R_x = R_0 \cdot U_x / U_0$**

Методы измерений

Метод совпадений – один из методов сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют по совпадению отметок шкал или периодических сигналов.

Пример: измерение длины штангенциркулем с нониусом, основанное на совпадении делений на шкалах штангенциркуля и нониуса

