

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Основные характеристики измерений: принцип измерения, метод измерения, погрешность, точность, достоверность и правильность измерений.

*Принцип измерений* - явление материального мира, положенное в основу измерения.

*Метод измерений* - прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений.

*Методика (выполнения) измерений* - установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений.

*Алгоритм измерения* – детальное предписание выполнения в определенном порядке совокупности операций, обеспечивающих измерение значения физической величины.

*По способу получения результата измерения:* прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения.

*Прямое измерение* - измерение, при котором искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений.

Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей или шкалой. В этом случае лучше применять *термин прямой метод измерений*.

Прямые измерения характеризуются тем, что они выполняются при помощи средств, предназначенных для измерения данных величин.

Зависимость между результатом измерения  $Y$  и измеряемой величиной  $X$  при прямом измерении характеризуется уравнением  $Y = X$ , т. е. значение измеряемой величины принимается равным полученному результату

*Косвенное измерение* - измерение, при котором искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной.

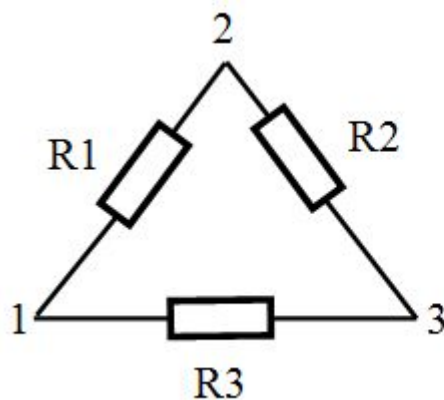
Пример — Определение плотности  $\rho$  тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы  $m$ , высоты  $h$  и диаметра цилиндра  $d$ , связанных с плотностью уравнением :

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}$$

*Совокупные измерения* – это проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

Число уравнений должно быть не меньше числа величин.

Пример: нахождение значений сопротивлений резисторов, соединенных по схеме треугольника. Здесь измеряют сопротивления между каждой парой вершин треугольника и получают систему уравнений



$$\begin{cases} R_{12} = \frac{R1(R2 + R3)}{R1 + R2 + R3}; \\ R_{23} = \frac{R2(R1 + R3)}{R1 + R2 + R3}; \\ R_{31} = \frac{R3(R1 + R2)}{R1 + R2 + R3}. \end{cases}$$

Решая систему уравнений получим:

$$R1 = \frac{A}{2(R_{23} + R_{31} - R_{12})}; \quad R2 = \frac{A}{2(R_{31} + R_{12} - R_{23})}; \quad R3 = \frac{A}{2(R_{12} + R_{23} - R_{31})},$$

$$\text{где } A = 4R_{23}R_{31} - (R_{23} + R_{31} + R_{12})^2.$$

*Совместные измерения* – это проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними.

Пример: нахождение зависимости сопротивления резистора от температуры. Для этого используют известное выражение:

$$R_t = R_0(1 + \alpha_R t)$$

где  $R_t$  – сопротивление резистора при некоторой температуре  $t$ ;  $R_0$  – сопротивление резистора при температуре  $0^\circ\text{C}$ ;  $\alpha_R$  – температурный коэффициент сопротивления;  $t$  – температура.

Решая систему из двух уравнений, составленных для двух значений температуры:

$$R_{t_1} = R_0(1 + \alpha_R t_1)$$

$$R_{t_2} = R_0(1 + \alpha_R t_2)$$

найдем значение  $\alpha_R$

Совокупные и совместные измерения есть обобщение косвенных измерений на случай нескольких величин.

По числу измерений последние подразделяются на: однократное и многократное.

По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения разделяются: на *статические* и *динамические*.

*Статические* - измерения при которых измеряемую величину принимают в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения;

*Динамические* – измерения при которых измеряемая величина изменяется по размеру в процессе измерения.

Например, измерение длины детали при нормальной температуре – статическое измерение, измерение электрического напряжения в тяговой сети – динамическое. Термин «динамическое» относится к измеряемой величине. Однако, очевидно, что для оценки точности результатов динамических измерений необходимо знание динамических свойств средств измерений.

*По условиям, определяющим точность результатов,* измерения бывают равноточные и неравноточные.

*Равноточные измерения* – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью

*Неравноточные измерения* – ряд измерений какой-либо величины, выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях. Ряд неравноточных измерений обрабатывают с учетом веса отдельных измерений.

*Ряд измерений (результатов измерений)* – значения одной и той же величины, полученные из следующих друг за другом измерений. *Среднее значение* из ряда неравноточных измерений определяется с учетом веса каждого единичного измерения. Среднее взвешенное значение иногда называют *средним весовым*.

*По способу выражения результатов измерения* различают абсолютные и относительные измерения.

*Абсолютные измерения* – измерения, основанные на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант.

*Относительные измерения* – измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

Например, измерение силы – абсолютное измерение, т. к. оно основано на измерении основной величины – массы « » в точке измерения массы.

По приему (приемам) сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений разделяются на: методы непосредственной оценки и методы сравнения с мерой.

*Метод непосредственной оценки* – это метод, при котором значение измеряемой величины определяют непосредственно по показывающему средству измерения (измерительному прибору), заранее градуированному в единицах измеряемой величины.

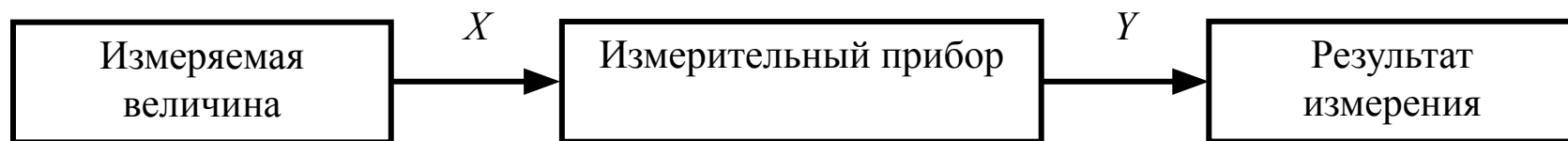


Схема метода непосредственной оценки

Все приборы непосредственной оценки фактически реализуют принцип сравнения с физическими величинами. Но это сравнение одновременное и осуществляется *опосредованно* с помощью промежуточного средства – делений шкалы отсчетного устройства.

*Метод сравнения с мерой* – метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Например, измерение массы на рычажных весах с уравновешенными гирями (мерами массы с известным значением).

Этот метод по сравнению с методом непосредственной оценки более точен, но более сложен.

Методы сравнения с мерой разделяются на следующие: противопоставления, нулевой, дифференциальный, совпадения и замещения

Различают методы *одновременного сравнения*, когда мера и измеряемая величина воздействуют на измерительный прибор одновременно, и *разновременного сравнения*, когда воздействие измеряемой величины и меры на измерительный прибор разнесено во времени. Кроме того, сравнение может быть *непосредственным* и *опосредованным*. В первом случае измеряемая величина и мера непосредственно воздействуют на прибор сравнения, а во втором – через другие величины, однозначно связанные с известной и измеряемой величинами.

Методы одновременного сравнения: противопоставления, нулевой, дифференциальный и совпадения.

Методы разновременного сравнения: замещения.

*Метод противопоставления* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.

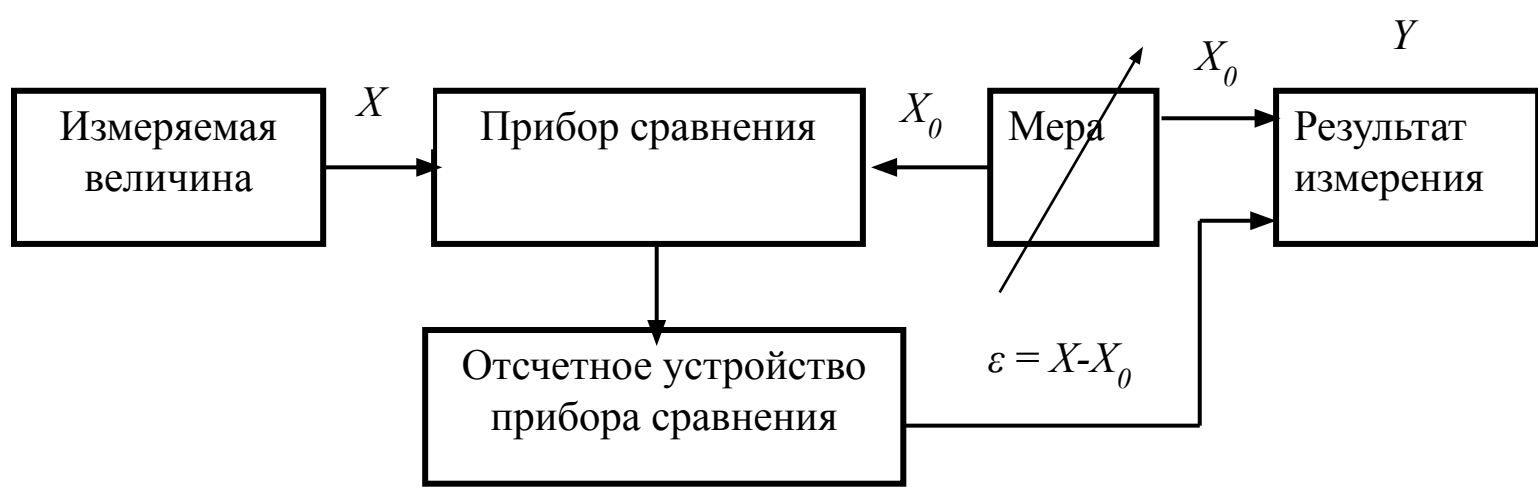


Схема метода противопоставления

Измеряемая величина  $X$  и мера  $X_0$  воздействуют на два входа прибора сравнения. Результирующий эффект воздействия определяется разностью этих величин:

$$\varepsilon = X - X_0$$

Результат измерения находят как

$$Y = X_0 + \varepsilon$$



Необходима точная многозначная мера и несложные устройства сравнения.

Пример: взвешивание груза на равноплечих весах с помещением измеряемой массы и уравнивающих её гирь на двух чашках весов и с полным уравниванием весов.

Метод также применяют при измерении ЭДС, напряжения, тока и сопротивления.

*Нулевой метод* является разновидностью метода противопоставления, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля:

$$\varepsilon = X - X_0 = 0$$

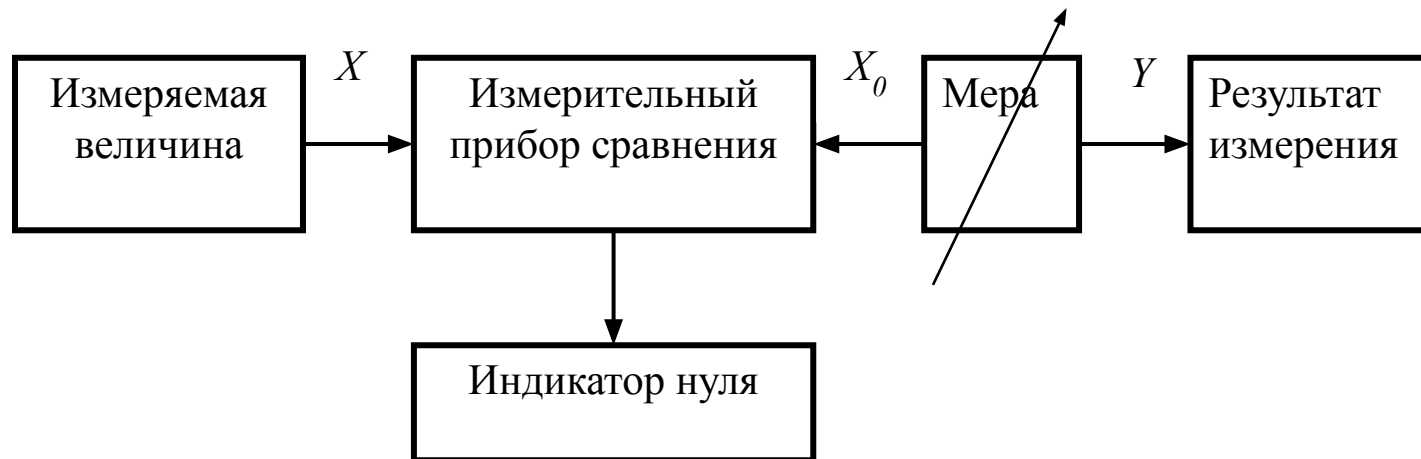


Схема нулевого метода измерения

$$Y = X_0$$

На индикатор нуля воздействует разность величин, поэтому его предел измерения может быть выбран меньшим, а чувствительность большей, чем у прибора для измерения  $X$  методом непосредственной оценки.

Погрешность измерения нулевым методом определяется погрешностью меры и погрешностью индикации нуля. Вторая составляющая обычно много меньше первой. Практически точность измерения нулевым методом равна точности меры.

Примеры: измерение массы на равноплечих весах с полным уравниванием весов (непосредственное сравнение); измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием (опосредованное сравнение).

Необходима многозначная мера. Точность таких мер всегда хуже однозначных мер.

*Дифференциальный метод* – метод, 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.

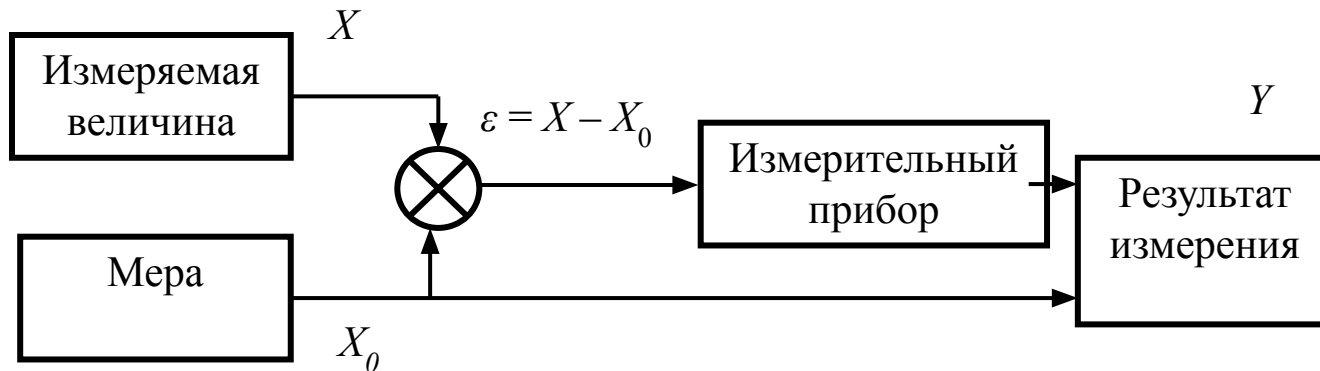


Схема дифференциального метода измерения

Мера имеет постоянное значение  $X_0$  разность измеряемой величины  $X$  и меры

$$\varepsilon = X - X_0$$

не равна нулю и измеряется измерительным прибором. Результат измерения находятся как

$$Y = X_0 + \varepsilon$$

Измерительный прибор измеряет не всю величину  $X$ , а только ее часть, что позволяет уменьшить влияние на результат измерения погрешность измерительного прибора, причем влияние погрешности измерительного прибора тем меньше, чем меньше разность  $\varepsilon$

Пример: при измерении, например, напряжения  $U = 97$  В вольтметром непосредственной оценки с пределом измерения 100 В и допущенной относительной погрешностью измерения этого напряжения 1 % (0,01) получают абсолютную погрешность измерения  $\Delta_1 = 97 \cdot 0,01 = 0,97 \approx 1$  В.

При измерении этого напряжения дифференциальным методом с использованием образцового источника напряжения  $U_0 = 100$  В разность напряжений

$$U - U_0 = (97 - 100) = -3 \text{ В.}$$

измеряют уже вольтметром с пределом измерения 3 В. Пусть его относительная погрешность измерения будет также равна 1 % . Это дает абсолютную погрешность измерения напряжения:  $\Delta_2 = 3 \cdot 0,01 = 0,03$  В.

Приведя эту погрешность к измеряемому напряжению  $U$ , получим относительную погрешность измерения напряжения:

$$\Delta_2/U = 0,03/97 \approx 0,0003(0,03\%)$$

Погрешность приблизительно в 30 раз меньше, чем при измерении напряжения методом непосредственной оценки. Данное увеличение точности измерения объясняется тем, что в первом случае прибором была измерена почти вся величина с относительной погрешностью в 1 % , а во втором случае измеряется не вся величина, а только ее 1/30 часть.

*Метод совпадений* (или метод «нониуса») представляет собой метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов. Этот метод применяется в случаях, когда измеряемая величина меньше цены деления заданной меры. При этом применяют две меры с разными ценами деления, которые отличаются на размер оцениваемого разряда отсчетов.

Примером измерения методом совпадения служит: – измерение длины детали с помощью штангенциркуля.

*Метод замещения* - это метод, в котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины.

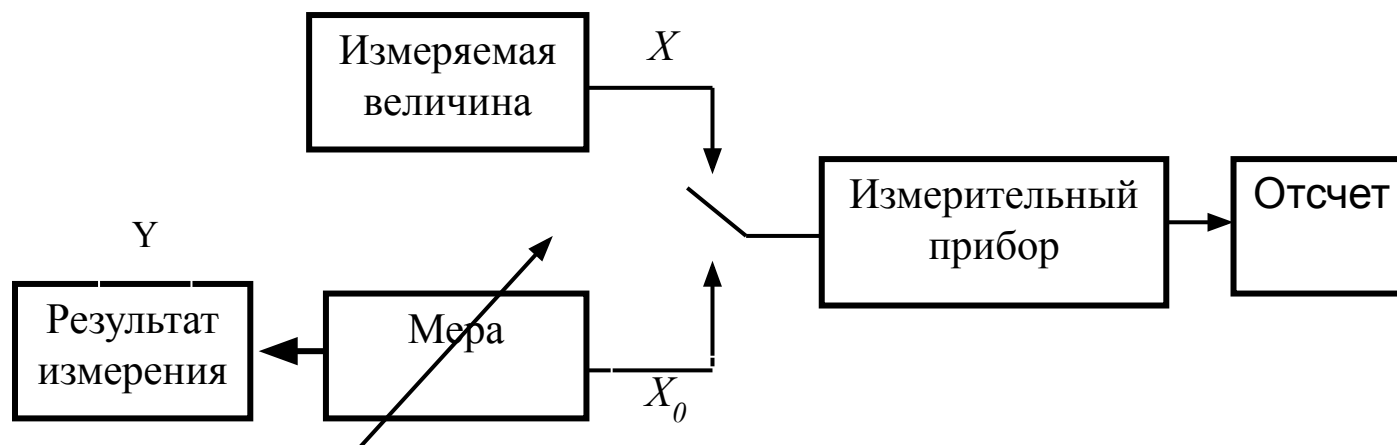


Схема метода замещения

Измерения осуществляют в два этапа. Сначала на вход измерительного прибора подают измеряемую величину  $X$  и отмечают показания прибора  $Y_1$ . Затем вместо измеряемой величины на тот же самый вход прибора подают величину  $X_0$ , воспроизводимую мерой. В этом случае показание прибора становится равным  $Y_2$ . Изменяя величину, воспроизводимую мерой, добиваются равенства показаний, т. е.  $Y_1 = Y_2$ .

В первом случае получаем:

$$Y_1 = X + \Delta_1$$

$\Delta_1$  – погрешность измерительного прибора при отсчете

При воздействии на прибор меры  $X_0$  имеем

$$Y_2 = X + \Delta_2$$

$\Delta_2$  – погрешность измерительного прибора при отсчете

Так как ( $Y_1 = Y_2$ ) и интервал времени между двумя измерениями невелик, то на одной и той же отметке шкалы прибора погрешность одинакова, т. е.  $\Delta_1 = \Delta_2$

Из равенства  $Y_1 = Y_2$  или  $X + \Delta_1 = X + \Delta_2$  получим  $X = X_0$

Исключение погрешности измерительного прибора из результата измерений является достоинством метода замещения. В нулевом методе погрешность измерительного прибора проявляется в том, что нулевое показание может не соответствовать равенству измеряемой величины и меры, а в дифференциальном – она представляет собой погрешность измерения разности меры и измеряемой величины. В методе же замещения не требуется выполнения этого условия. Таким образом, методом замещения можно осуществить высокоточное измерение, имея прибор с большой погрешностью. Точность измерения методом замещения обусловлена всего лишь погрешностью меры. Метод замещения является самым точным из всех известных методов и обычно используется для проведения наиболее прецизионных измерений.