

Метрология,
стандартизация и
сертификация

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ МЕТРОЛОГИИ

Метрология - наука об измерениях, методах и средствах их единства и способах достижения требуемой точности.

Теоретическая метрология включает в себя разработку и совершенствование теоретических основ измерений и измерительной техники, научных основ обеспечения единства измерений в стране.

Она включает в себя следующие основные проблемы:

- развитие общей теории измерений и теории погрешностей, в том числе создание новых методов измерений и разработка способов исключения или уменьшения погрешностей;
- создание и совершенствование систем единиц физических величин;
- создание и совершенствование системы эталонов;
- создание и совершенствование научных основ передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений.

Законодательная метрология - раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, требующие регламентации и контроля со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений.

Ее основные задачи:

- создание и совершенствование системы государственных стандартов, которые устанавливают правила, требования и нормы, определяющие организацию и методику проведения работ по обеспечению единства и точности измерений;
- организация и функционирование соответствующей государственной службы.

- **Измерение** — это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, заключающуюся в сравнении (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей с целью получения значения этой величины (или информации о нем) в форме, наиболее удобной для использования.
- **Физическая величина** — характеристика одного из свойств физического объекта, общая в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.



- **Процесс измерения** заключается в сравнении измеряемой величины с некоторым ее значением, принятым за единицу.
- **Результатом измерения** является число, показывающее отношение значения измеряемой величины к единице измерения.
- **Единицей измерения** называют физическую величину с числовым значением «1», принятую за основание для сравнения с величинами того же рода. Единицы измерения подразделяются на основные и производные. Для возможности сравнения результатов измерений, выполненных в разное время и в разных местах, система единиц устанавливается в законодательном порядке (ГОСТ 8.417-81 ГСИ).

- **Единство измерений** - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.
- **Единообразие средств измерений** - состояние средств измерений, характеризующееся тем, что они градуированы в узаконенных единицах и их метрологические свойства соответствуют нормам.
- **Метрологическая служба** - сеть государственных и ведомственных органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений в стране. Эти органы осуществляют надзор за состоянием средств измерений и обеспечивают передачу размера единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений.

- Всякое измерение необходимо предварительно обдумать, составить план проведения измерений. В связи с этим в теории измерений вводится такое понятие, как методика измерений.
- Методика измерений - детально намеченный распорядок процесса измерений при выбранных схеме и комплексе приборов, включающий правила, последовательность операций, количество измерений и т.д. Применительно к одной и той же схеме измерений и данному комплексу аппаратуры возможны различные методики, и наоборот, для проведения измерений по одной методике можно использовать различные схемы измерений и аппаратуру.

В процессе измерений или установки параметров источников сигналов оператор снимает **отсчеты** или **показания**.

- **Отсчет** - это число, указываемое индикатором прибора. В стрелочных приборах отсчет - это число, написанное у деления шкалы, на котором установилась стрелка; в цифровых - число, наблюдаемое на передней панели в виде светящихся цифр; иногда отсчетом является число, написанное у деления лимба, находящегося против визирной линии.
- **Показание** - физическая величина, соответствующая отсчету. Показание получается в результате умножения отсчета на переводной множитель.

Например, если отсчет по шкале вольтметра 20 В, переключатель «Множитель» установлен против отметки 0,1, то показание прибора будет 2 В.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

- **Прямое измерение** - это измерение, при котором искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных (например, измерение силы тока амперметром). Математически прямые измерения можно записать элементарной формулой

- $Q = X,$ (1)

- где Q - искомое (истинное) значение физической величины;
- X - значение физической величины, найденное путем ее измерения и называемое результатом измерения.

- **Косвенное измерение** - измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Косвенные измерения выражаются следующей формулой:

- $$Q = F(X_1, X_2, \dots, X_m), \quad (2)$$

- где X_1, X_2, \dots, X_m - результаты прямых измерений величин, связанных известной функциональной зависимостью F с искомым значением измеряемой величины Q (например, при измерении сопротивления методом амперметра-вольтметра результатами прямых измерений являются напряжение и сила тока, а результатом косвенных измерений будет сопротивление, найденное по закону Ома).
- **Совокупные измерения** - производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин (например, определение массы отдельных гирь набора по известной массе одной из них).
- **Совместные измерения** - проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними (например, снятие вольт-амперной характеристики диода).

По способу выражения результатов измерения подразделяются на абсолютные и относительные:

- **Абсолютное измерение** - измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Результат измерений выражается непосредственно в единицах физической величины.
- **Относительное измерение** - измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную (например, определение коэффициента усиления как отношения напряжений на входе и выходе устройства). Величина, полученная в результате относительных измерений, может быть или безразмерной, или выраженной в относительных логарифмических единицах (бел, октава, декада) и других относительных единицах.

В зависимости от условий, определяющих точность результата, измерения делятся на три класса:

- 1) измерения максимальной возможной точности, достижимой при существующем уровне техники:
 - эталонные (достигается максимально возможная точность воспроизведения размера физической величины);
 - измерения физических постоянных;
 - астрономические;
- 2) контрольно-поверочные измерения - измерения, погрешность которых не должна превышать некоторого заданного значения. Для таких измерений применяются образцовые средства измерений, а сами измерения осуществляются в специальных лабораториях;
- 3) технические (рабочие) измерения - измерения, в которых погрешность результата измерения определяется характеристиками средства измерения. Средства измерений, применяемые для этой цели, называются рабочими.

КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Средство измерений - техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.

По своему техническому и метрологическому назначению, согласно ГОСТ 16263-70 ГСИ, средства измерений подразделяются следующим образом:

- **меры** - средства измерений, предназначенные для воспроизведения физической величины заданного размера;
- **измерительные приборы**- средства измерений, предназначенные для получения измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем;
- **измерительные преобразователи** - средства измерений, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейших преобразований, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Совокупность различных средств измерений может образовывать:

- **измерительные установки** - совокупность расположенных в одном месте и функционально объединенных друг с другом средств измерений, предназначенных для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем;
- **измерительные системы** - совокупность средств измерений, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

По метрологическому назначению средства измерений подразделяются следующим образом:

- **эталоны** - средства измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающие определение, воспроизведение и хранение единицы физической величины с целью передачи размера единицы физической величины образцовым, а от них рабочим средствам измерений и утвержденные в качестве эталона в установленном порядке;
- **образцовые средства измерений** - меры, измерительные приборы или измерительные преобразователи, имеющие высокую точность и предназначенные для поверки и градуировки по ним других средств измерений, в установленном порядке утвержденные в качестве образцовых;
- **рабочие** - средства измерений, применяемые для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения базируются на определенных принципах.

- **Принцип измерения** - совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.
- **Метод измерения** - совокупность использования принципов и средств измерений.

Различают два основных метода измерений:
метод непосредственной оценки и метод
сравнения.

- **Метод непосредственной оценки** - метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Иногда этот метод называют методом прямого преобразования.
- **Метод сравнения** - метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метод сравнения может реализовываться в следующих модификациях:

- **нулевой метод** (компенсационный) - метод, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля;
- **дифференциальный метод** - метод, при котором формируют и измеряют разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой;
- **метод совпадений**- метод, при котором разность измеряемой и известной величины измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов;
- **метод противопоставления** - метод, при котором измеряемая и известная величины одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами.

В зависимости от метода измерений и свойств применяемых средств измерений все измерения могут выполняться либо с однократными, либо с многократными наблюдениями.

- **Наблюдение** - это единичная экспериментальная операция, результат которой - результат наблюдения - всегда имеет случайный характер.
- **Алгоритм измерения** - предписание о порядке выполнения операций, обеспечивающих измерение искомого значения физической величины.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ

Любое измерение всегда выполняется с некоторой погрешностью, которая вызывается несовершенством методов и средств измерений, непостоянством условий наблюдения, а также недостаточным опытом экспериментатора или особенностями его органов чувств.

Погрешность измерения - отклонение результата измерения X от истинного значения измеряемой величины:

$$Q: \Delta = X - Q.$$

Так как истинное значение физической величины Q на практике неизвестно, при расчетах применяют так называемое **действительное** значение X_d , найденное экспериментально и настолько приближающееся к истинному, что может быть использовано вместо него.

В зависимости от характера проявления погрешности имеют следующие составляющие:

- **случайная** погрешность - погрешность, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины (например, погрешность, возникающая в результате округления);
- **систематическая** погрешность - погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины (например, погрешность, появляющаяся из-за несоответствия действительного и номинального значения меры);
- **грубая** погрешность - погрешность, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях.

В зависимости от характера влияния на результат измерения различают следующие погрешности:

- **аддитивные** - погрешности, значения которых не зависят от значения измерительной величины;
- **мультипликативные** - погрешности, значения которых изменяются с изменением измеряемой величины.

Эти погрешности могут быть и систематическими, и случайными одновременно.

В зависимости от источника возникновения погрешности классифицируются следующим образом:

- **методические** - погрешности, возникающие из-за несовершенства методов измерений и обработки их результатов. Как правило, это систематические погрешности;
- **инструментальные (аппаратурные)** - погрешности, которые определяются погрешностями применяемых средств измерений;
- **внешние** - погрешности, обусловленные отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормальных значений (например, температуры, влажности, магнитных и электрических полей и т.д.). Эти погрешности носят систематический характер;
- **субъективные (личные)** - погрешности, обусловленные индивидуальными особенностями экспериментатора. Могут быть как систематическими, так и случайными.

ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

- **Погрешность средств измерений** - это отличие показания измерительного прибора от действительного значения измеряемой величины. Она включает в себя в общем случае систематическую и случайную составляющие.
- ГОСТ 8.009-84 ГСИ «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» предусматривает следующие показатели точности средств измерений:
- предел, математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение опускаемой систематической составляющей погрешности;
- предел допустимого среднеквадратического отклонения и автокорреляционная функция или спектральная плотность случайной составляющей погрешности.

- Погрешности средств измерений могут быть представлены в следующих формах:

- **абсолютная погрешность** - разность между измеренным X и истинным Q значением измеряемой величины:

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

- В этом случае в результат измерения вводится **поправка** - значение величины, одноименной с измеряемой, прибавляемое к полученному при измерении значению величины с целью исключения систематической погрешности:

$$-\Delta X = \eta_x$$

- **относительная погрешность** - отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины

$$\delta = (X / Q) \cdot 100\% = (X / X_{\text{д}}) \cdot 100\%$$

- Часто в технике измерений пользуются таким понятием, как **точность измерений** - характеристика качества измерения, отражающая близость их результатов к истинному значению, измеряемой величины. Количественно это величина, обратная модулю относительной погрешности измерения:



- **приведенная погрешность** - отношение абсолютной погрешности к некоторому нормирующему значению X_N :
- $$\gamma = (\Delta X / X_N) \cdot 100\% \quad (3)$$
- В данном случае X_N - условно принятая величина, которая может принимать различные значения в зависимости от типа шкалы. В случае, когда шкала прибора равномерна и «0» находится в начале шкалы (самый распространенный в технике измерений случай), в качестве X_N принимают предел измерения.

В зависимости от характера изменения погрешности в пределах диапазона, а также от условий применения средства измерения данного вида погрешности средств измерений нормируются следующим образом: с

■ а) в виде абсолютной погрешности:

- - одним значением a , где $a = \text{const}$, для аддитивной погрешности;
- - для мультипликативной погрешности;
- - таблицей Δ_p для разных уровней (или диапазонов);

б) в виде относительной погрешности:

- - одним значением d для аддитивной погрешности;
- - значением c для мультипликативной погрешности;
- где X_k - конечное значение диапазона. Значения q, c, d выбираются из ряда

$$\text{■ } (1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \times 10^n, \quad (4)$$

где $n = +1, 0, -1, -2, \dots$;

- если диапазон измерения включает ноль, то в этом случае относительная погрешность стремится к бесконечности, и основную погрешность средства измерения нормируют приведенной погрешностью .

В зависимости от пределов допускаемой погрешности все средства измерения делятся на **классы точности** (таблица 1).

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

⊕ Таблица 1 – Примеры обозначения класса точности

Δ	$\Delta_{\text{П}} = \pm a; \Delta_{\text{П}} = \pm(a + bX_{\text{Д}})$	С	Значение указывается в нормативно-технической документации
	Таблицы, графики	IV A ₂	
δ	$\delta_{\text{П}} = \frac{\Delta_{\text{П}}}{X_{\text{Д}}} \cdot 100\% = \pm q$	⊙ 2,0	$\delta = \pm 2,0\%$
	$\delta_{\text{П}} = \pm \left[c + d \left(\frac{X_{\text{К}}}{X_{\text{Д}}} - 1 \right) \right]$	0,02/0,01	c=0,02% b=0,01%
	Таблицы, графики	D G ₁ III	Указывается в нормативно-технической документации
γ	X _Н выражено в единицах измеряемой величины	2,5	$\gamma = \pm 2,5\%$
	X _Н выражено в длине рабочей части шкалы	0,5 ∨	$\gamma = \pm 0,5\%$

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

- **Электромеханические приборы** состоят из относительно простой измерительной цепи и измерительного механизма.
- **Измерительная цепь** - совокупность преобразовательных элементов, которая обеспечивает преобразование измеряемой величины в другую величину, воздействующую на измерительный механизм (например, преобразует переменный ток в постоянный).
- **Измерительный механизм** состоит из механических элементов (пружин, катушек, магнитов), взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение.
- **Электронные измерительные приборы** - это электронные устройства: усилители, счетчики, дешифраторы, электронные ключи и т.д.

- В аналоговых измерительных приборах выходные сигналы, а следовательно, и показания являются непрерывными функциями изменения измеряемой величины.
- В цифровых измерительных приборах вырабатываются дискретные сигналы измерительной информации, а показания представляются в цифровой форме.

- Электронные измерительные приборы по характеру измерений и виду измеряемых величин делятся на 20 подгрупп, которым присваиваются буквенные обозначения:
- А - приборы для измерения силы тока;
- В - приборы для измерения напряжения;
- Е - приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными;
- Р - приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными;
- М - приборы для измерения мощности;
- Ч - приборы для измерения частоты и временных интервалов;
- Ф - приборы для измерения фазовых сдвигов и группового времени запаздывания;
- С - приборы для наблюдения, измерения и исследования формы и спектра сигнала;
- Х - приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств;
- И - приборы для импульсных измерений;
- И - приборы для измерения напряженности поля и радиопомех;
- У - усилители измерительные;
- Г - генераторы измерительные;
- Д - аттенюаторы и приборы для измерения ослаблений;
- К - комплексные измерительные установки;
- Л - приборы для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов;
- Ш - приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов;
- Э - измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов;
- Я - блоки радиоизмерительных приборов;
- Б - источники питания для измерений и радиоизмерительных приборов.

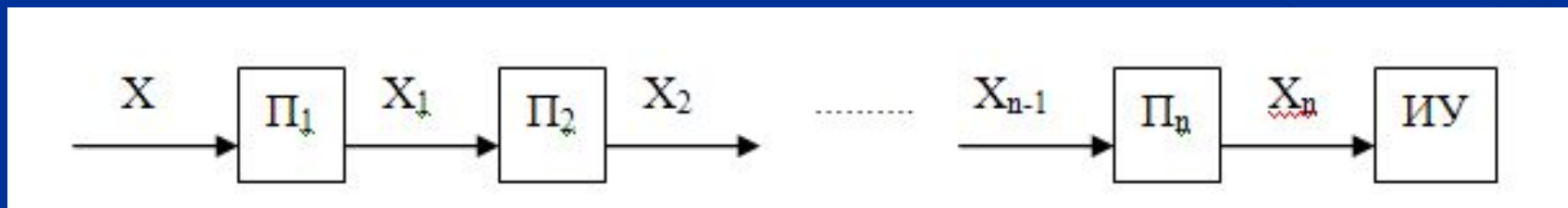
В зависимости от формы представления показаний средства измерения классифицируются следующим образом:

- показывающие, т.е. допускающие только отсчет показаний;
- регистрирующие, т.е. допускающие не только отсчет, но и регистрацию показаний в форме диаграмм (самопишущие приборы) или распечатки в цифровой форме (печатающие приборы).

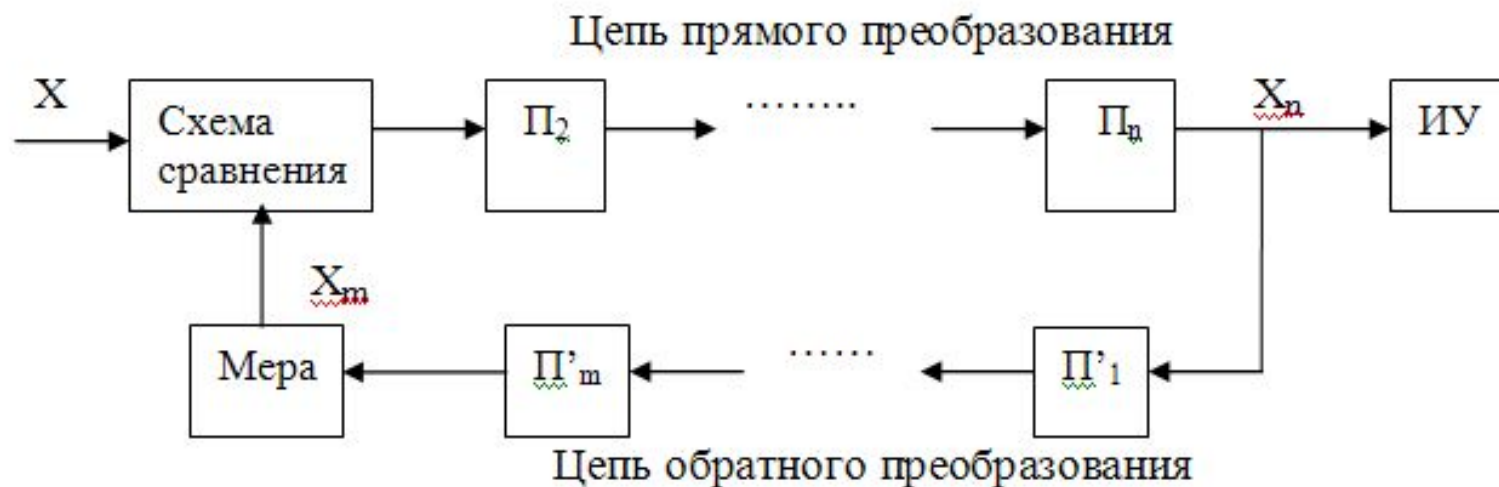
По условиям применения средства измерения классифицируются следующим образом:

- приборы общего применения, предназначенные для использования в различных радиоэлектронных устройствах независимо от их назначения;
- приборы специальные (сервисные), предназначенные для измерения параметров сигналов в определенных устройствах;
- встроенные приборы, входящие в состав радиоэлектронных устройств.

Прибором прямого действия (рисунок 1) называется измерительный прибор, в котором происходит одно или несколько преобразований входного сигнала в одном направлении (т.е. без применения обратной связи). Тип индикаторного устройства ИУ определяется принадлежностью прибора к той или иной группе (аналоговые, цифровые, показывающие, регистрирующие). Измеряемая величина X последовательно преобразуется в величину X_n и затем отображается на индикаторном устройстве.



- **Прибором сравнения** называется измерительный прибор, предназначенный для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно.
- Известная величина воспроизводится набором мер. Измеряемая величина подвергается прямому преобразованию в преобразователях $\Pi_1 \dots \Pi_n$, и по цепи обратной связи сигнал X_n через $\Pi'_1, \dots \Pi'_m$ управляет значением меры. В схеме сравнения измеряемый сигнал сравнивается со значением меры. При полной компенсации в установившемся режиме $X = X - X_m = 0$. Изменением коэффициента преобразования цепи обратного преобразования добиваются нулевых показаний индикаторного устройства ИУ. Значение измеряемой величины будет X_m . Так реализуется нулевой метод.



ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристики средств измерений позволяют оценить свойства средства измерений и возможности его применения в заданных условиях эксплуатации. К ним относятся метрологические и технические характеристики.

Метрологические характеристики оказывают решающее влияние на результаты и погрешности измерений.

К основным метрологическим характеристикам относят следующие:

- чувствительность или цена деления шкалы;
- входной импеданс;
- вариация показаний;
- динамические характеристики;
- погрешности средств измерений;
- выходной код;
- число разрядов;
- цена единицы наименьшего разряда кода приборов с цифровым отсчетом.

- **Чувствительность** измерительного прибора характеризует реакцию прибора на изменение сигнала на входе и равняется отношению изменения сигнала на выходе прибора Δk к вызывающему его изменению измеряемой величины
- **Входной импеданс ($Z_{ВХ}$)** определяет влияние средства измерения на исследуемую схему. За счет потребления некоторой мощности средство измерения может изменить режим работы маломощного источника входного сигнала, что приводит к появлению погрешности измерения. Входной импеданс - величина комплексная.

- **Вариация показаний** измерительного прибора (выходного сигнала измерительного преобразователя) - это разность показаний измерительного прибора, соответствующая данной точке диапазона измерений при двух направлениях медленного изменения параметра входного сигнала. Причиной вариации показаний является трение в опорах подвижной части измерительного механизма.

Такие характеристики, как выходной код, число разрядов кода, относятся к цифровым измерительным приборам.

- **Динамические характеристики** - это характеристики инерционных свойств средства измерения. Они определяют зависимость параметров выходного сигнала средства измерения от меняющихся во времени величин: параметров входного сигнала, нагрузки, внешних факторов - и нормируются передаточной функцией (характеризующей связь между входным и выходным сигналом), графиками амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик, временем установления показаний или быстродействием (величиной, обратной времени установления показаний).

К динамическим характеристикам относятся также разрешающая способность, диапазон измеряемых величин, диапазон рабочих частот и диапазон влияющих величин.

- **Разрешающая способность** - минимальная разность двух значений измеряемых однородных величин, которая может быть различима прибором.
- В техническом описании прибора обычно указывают параметры, которые можно объединить в группу количественных характеристик, определяющих область применения. Область применения характеризуется совокупностью трех групп физических величин: диапазона измеряемых величин; диапазона рабочих частот; диапазона влияющих величин.
- **Диапазон измеряемых величин** - это минимальное и максимальное значения величин, которые могут быть измерены с заданной точностью.
- **Диапазон рабочих частот** - полоса частот, в пределах которой возможна эксплуатация прибора или измерения производятся с погрешностью, не превышающей заданную величину.
- **Диапазон влияющих величин** - это диапазон внешних величин, от которых могут зависеть показания приборов (температуры, внешних полей, ускорений и т.д.).

- **Надежность** измерительного прибора - количественная характеристика, определяющая способность прибора выполнять заданные функции, сохраняя свои эксплуатационные показатели в заданных пределах в течение требуемого промежутка времени или требуемой наработки в определенных режимах и условиях эксплуатации. Надежность может быть установлена одним из следующих показателей:
 - минимальным значением вероятности безотказной работы на заданное время;
 - минимальным значением наработки до первого отказа, или минимальным значением наработки на отказ (не менее 1000 часов);
 - минимальным значением параметра потока отказов;
 - максимальным значением интенсивности отказов.
- **Метрологическая надежность** - вероятность нахождения основных метрологических характеристик и в первую очередь погрешности в допустимых пределах в течение определенного времени.