

## ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Все средства измерений можно характеризовать некоторыми общими свойствами – *метрологическими характеристиками*.

*Метрологическая характеристика* – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений.

Комплекс метрологических характеристик позволяет оценить метрологические (измерительные) возможности конкретного средства измерений, а также легко сопоставлять между собой различные разновидности этих средств.

Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики.

*Нормируемые метрологические характеристики* – совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными документами на средства измерений.

К метрологическим характеристикам относятся: измеряемая, преобразуемая или воспроизводимая (для мер) величина; предел и диапазон измерений; градуировочная характеристика средства измерений; чувствительность измерительного прибора; порог чувствительности; вариация выходного сигнала; потребляемая мощность; входное и выходное сопротивление и др.

*Измеряемая, преобразуемая или воспроизводимая (для мер) величина.* Этот параметр характеризует назначение средства измерений для измерения той или иной величины (напряжение, масса, температура, ускорение, ток и т. д.). Эта величина обычно наносится на средство измерений или указывается в технической документации.

*Пределы измерения* - наименьшее и наибольшее значения измеряемой величины, могущие быть измеренными данным средством измерений.

Значения величины, ограничивающие диапазон измерений снизу и сверху (слева и справа), называют соответственно «*нижним пределом измерений*» или «*верхним пределом измерений*».

*Диапазон измерений; рабочий диапазон* - множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

*Полный диапазон* - диапазон, в котором относительная погрешность не превышает 100 %.

*Градуировочная характеристика* средства измерения – зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально. Градуировочная характеристика может быть выражена в виде формулы, графика или таблицы.

*Чувствительность СИ* - отношение изменения показаний средства измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины.

Абсолютная относительную чувствительность:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dy}{dx}$$

Относительна чувствительность:

$$S_0 = \frac{\Delta Y}{\Delta X / X} \quad \text{или} \quad S_{00} = \frac{\Delta Y / Y}{\Delta X / X}$$

Для стрелочных приборов:  $S = \alpha / x$

$1/S$  – постоянная прибора или цена деления.

*Порог чувствительности СИ* - наименьшее значение изменения величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством измерения.

Используются термины: реагирование и порог реагирования, срабатывание и порог срабатывания.

*Зона нечувствительности СИ; мертвая зона* - диапазон значений измеряемой величины, в пределах которого ее изменения не вызывают значимого изменения показания средства измерений.

*Разрешение* - наименьшее изменение измеряемой величины, которое является причиной заметного изменения соответствующего показания.

*Разрешающая способность* - наименьшая разность между показаниями, которая может быть заметно различима.

*Вариация выходного сигнала* (показаний) СИ - есть средняя разность между значениями выходного сигнала (показаниями) СИ, соответствующими данной точке диапазона измерения, при двух направлениях медленного многократного измерения входного сигнала в процессе подхода к данной точке диапазона измерения .

*Смещение нуля* – показание средства измерений, отличное от нуля, при входном сигнале, равном нулю.

Различают *смещение механического нуля* и *смещение электрического нуля*, наблюдаемое как существование выходного сигнала при нулевом входном сигнале приборов.

*Дрейф показаний СИ* – изменение показаний средства измерений во времени, обусловленное изменением влияющих величин или других факторов.

*Потребляемая мощность. Входное и выходное сопротивления.*

У СИ средств измерений электрических величин потребляемая мощность определяется входным сопротивлением прибора.

Понятие входного сопротивления есть и в измерениях механических, тепловых и другого рода величин. Общее понятие: *обобщенное входное сопротивление*, определяемое как отношение обобщенной силы к обобщенной скорости.

Например, под механическим сопротивлением понимают отношение силы к вызванной ею скорости равномерного движения.

Выходное сопротивление измерительного преобразователя характеризует реакцию его выходного сигнала на подключение к его выходу фиксированной нагрузки. Чем меньше выходное сопротивление предшествующего преобразователя по отношению к входному сопротивлению следующего преобразователя, тем меньше потребляемая последующим преобразователем мощность и тем меньше взаимная зависимость характеристик преобразователей.

*Функция влияния* представляет собой зависимость изменений метрологической характеристики средства измерений от изменений влияющих величин в пределах рабочих условий эксплуатации. По ГОСТ 8.009-2003 функции влияния должны нормироваться отдельно для каждого влияющего фактора и могут выражаться в виде формул, таблиц или графиков. Допускается также вместо функции влияния характеризовать средства измерений наибольшим допустимым изменением метрологических характеристик в пределах рабочих условий.

*Динамические характеристики* средства измерений описывают инерционные свойства средств измерений и определяют зависимость выходного сигнала средств измерений от меняющихся во времени величин: входного сигнала, нагрузки, влияющих величин.

Динамические характеристики определяют характер переходного процесса, протекающего в средстве измерений

Для описания большинства СИ в динамическом режиме работы можно использовать линейное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами:

$$a_n \frac{d^n Y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} Y}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 Y = b_m \frac{d^m X}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} X}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 X$$

где  $a_n \dots a_0$  и  $b_n \dots b_0$  постоянные коэффициенты;  $Y$  и  $X$  – мгновенные значения информативного параметра изменения выходной и измеряемой величин.

*Операторная чувствительность* - отношение операторного изображения информативного параметра изменения выходной величины  $Y(p)$  к операторному изображению измеряемой величины  $X(p)$

$$S(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m \frac{d^m X}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} X}{dt^{m-1}} + b_0}{a_n \frac{d^n Y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} X}{dt^{n-1}} + a_0}$$

$p = \frac{d}{dt}$  - оператор Лапласа

В случае гармонического изменения входной величины используют *комплексную чувствительность*:

$$\dot{S} = \frac{\dot{Y}}{\dot{X}} = \frac{b_m (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_0} = A + jB$$

## Погрешности средств измерений

Составляющая погрешности измерений, обусловленная свойствами применяемых СИ, называется *инструментальной погрешностью измерения*.

*Погрешность средства измерений* - разность между показанием средства измерений и известным опорным (действительным) значением величины.

Четыре составляющие погрешности средств измерений: *основная; дополнительная; обусловленная взаимодействием средств и объекта измерений; динамическая*.

*Основная погрешность*. Она обусловлена неидеальностью собственных свойств средств измерений и показывает отличие действительной функции преобразования средств измерений в нормальных условиях от номинальной функции преобразования.

*Основная погрешность прибора* – погрешность при нормальных условиях использования прибора. Нормальные условия эксплуатации зависят от назначения прибора и его метрологических характеристик. Для основной массы приборов, используемых в промышленности, нормальными условиями эксплуатации СИ считаются: температура окружающего воздуха  $(20 \pm 5)$  °С; относительная влажность 30 – 80 %; атмосферное давление 630 – 795 мм рт. ст.; напряжение питающей сети  $(220 + 4,4)$  В; частота питающей сети  $(50 \pm 0,5)$  Гц.

*Предел допускаемой погрешности средства измерений* - наибольшее значение погрешности средства измерений (без учета знака), устанавливаемое нормативным документом для данного типа средств измерений, при котором оно еще признается метрологически исправным.

Обычно устанавливают пределы допускаемой погрешности, т.е. нижнюю и верхнюю границы интервала, за которые не должна выходить погрешность.

По способу выражения погрешности средств измерений разделяют на абсолютную, относительную и приведенную.

*Абсолютная погрешность средства измерений* - погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой величины.

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности устанавливают по формуле

$$\Delta = \pm a \quad \Delta = \pm(a + bx)$$



$\Delta$  - пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины или в делениях шкалы;

$X$  – значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале;

$a, b$  – постоянные положительные числа.

Пределы допускаемой абсолютной погрешности могут устанавливаться также по более сложной формуле или в виде графика, или в виде таблицы.

*Относительная погрешность средства измерений* - погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к опорному значению измеряемой величины.

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm q$$

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm \left[ c + d \left( \left| \frac{X_K}{x} \right| - 1 \right) \right]$$

$$c = b + d \quad d = \frac{a}{|X_K|}$$

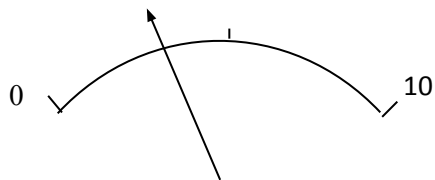
Приведенная погрешность средства измерений - погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к нормирующему значению величины.

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} = \pm p$$

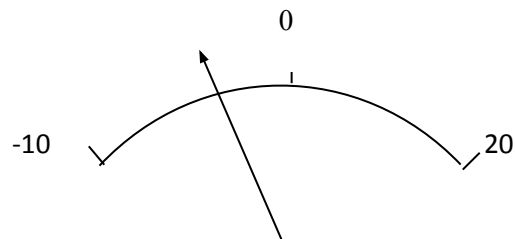
$X_N$  – нормирующее значение – условно принятое значение измеряемой величины, выраженное в тех же единицах, что и  $X$ ;

$p$  – отвлеченное положительное число.

#### Правила выбора нормирующего значения



1) Для средств измерений с равномерной или степенной шкалой, а также для измерительных преобразователей, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений, нормирующее значение устанавливают равным большему из пределов измерений. В данном примере нормирующее значение  $X_N = 10$ .



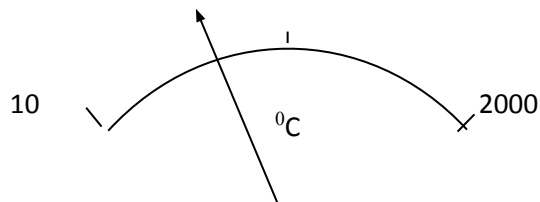
2) Если нулевое значение находится внутри диапазона измерений, то нормирующее значение берется равным большему из модулей пределов измерений, т. е.  $X_N = 20$ .

3) Для электроизмерительных приборов с равномерной шкалой, практически равномерной или степенной шкалой и нулевой отметкой внутри диапазона измерений нормирующее значение  $X_N$  допускают устанавливать равным сумме модулей пределов измерений:

$$X_N = |-10| + |20| = 30$$

Практически равномерная шкала – это шкала, длины делений которой различаются не более чем на 30 %, а цена делений постоянна.

Степенная шкала – шкала с расширяющимися или сужающимися делениями, отличная от равномерной и практически равномерной шкалы.



4) Для средств измерений, для которых принята шкала с условным нулем (например, в градусах Цельсия), нормирующее значение устанавливают равным модулю разности пределов измерений, т. е.

$$X_N = |200 - 10| = 190$$

5) Для средств измерений с установленным номинальным значением нормирующее значение принимают равным этому номинальному значению.

6) Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой (например, для омметров) нормирующее значение устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае пределы абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины.

Значения  $p$ ,  $q$ ,  $c$ ,  $d$  в формулах выбирают из ряда:

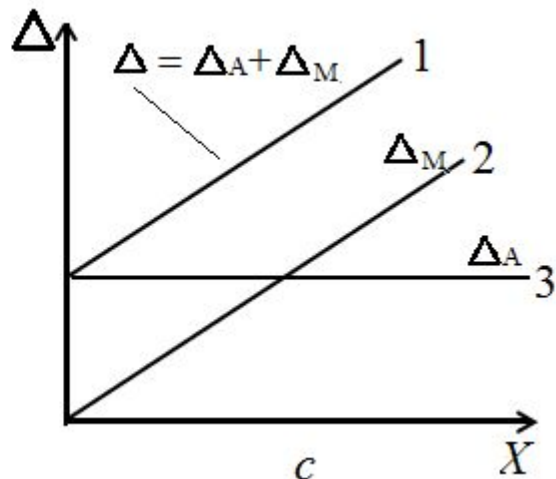
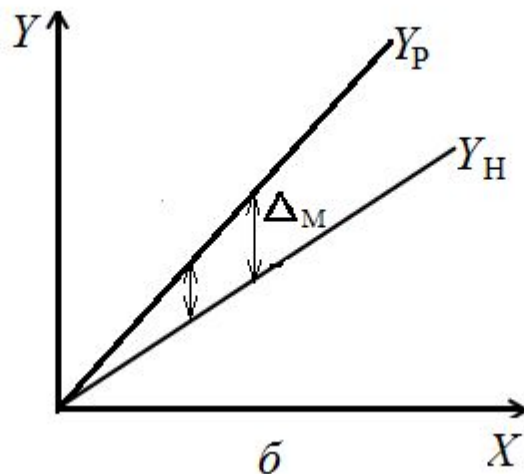
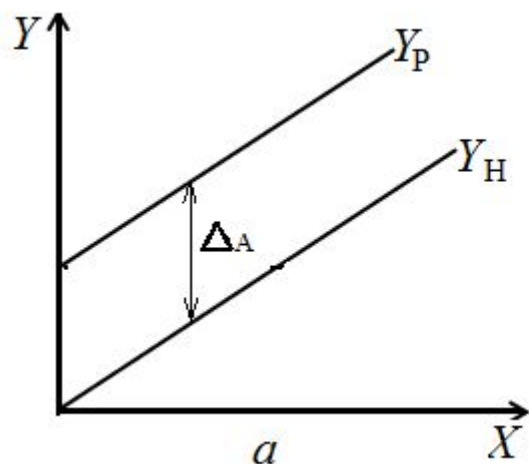
$1 \cdot 10^n$ ;  $1,5 \cdot 10^n$ ;  $(1,6 \cdot 10^n)$ ;  $2 \cdot 10^n$ ;  $2,5 \cdot 10^n$ ;  $(3 \cdot 10^n)$ ;  $4 \cdot 10^n$ ;  $5 \cdot 10^n$ ;  $6 \cdot 10^n$  ( $n = 1, 0, -1, -2$  и т. д.).

Значения, указанные в скобках, не устанавливают для вновь разрабатываемых средств измерений.

При одном и том же показателе степени  $n$  допускается устанавливать не более пяти различных пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений конкретного вида.

По характеру влияния на функцию преобразования основную погрешность можно представить в виде *аддитивной и мультипликативной составляющих*.

*Аддитивная погрешность* (погрешность нуля)  $a$  не зависит от чувствительности прибора и является постоянной для всех значений входной величины в пределах диапазона измерений (прямая 1).



*Мультипликативная погрешность* (погрешность чувствительности)  $bx$  - зависит от чувствительности прибора и изменяется пропорционально текущему значению входной величины (прямая 2).

*Суммарная абсолютная погрешность* выражается уравнением

$$\Delta = a + bx$$

К аддитивной погрешности прибора можно отнести погрешность, вызванную трением в опорах электроизмерительных приборов, которая не зависит от значения входного сигнала, а также помехи, шумы, погрешность дискретности (квантования) в цифровых приборах. Если прибору присуща только аддитивная погрешность или она существенно превышает другие составляющие, то целесообразно нормировать абсолютную погрешность.

К мультипликативной погрешности можно отнести погрешности изготовления добавочного резистора в вольтметре или шунта в амперметре, погрешности коэффициента деления делителя и т. д. Мультипликативная составляющая абсолютной погрешности увеличивается с увеличением измеряемой величины, а так как относительная погрешность остается постоянной, то в этом случае целесообразно нормировать погрешность прибора в виде относительной погрешности.

Аддитивная и мультипликативная погрешности могут иметь как систематический, так и случайный характер.

*Дополнительная погрешность.* Дополнительная погрешность обусловлена реакцией средства измерений на отклонение условий эксплуатации от нормальных. В эксплуатационных условиях при установке прибора, например, на самолет, ему приходится работать при изменении температуры от  $-60$  до  $+60$  °С, давления – от 1000 до 100 ГПа, напряжения питания – на  $\pm 20$  %, коэффициента гармоник – от 1 до 10 % и т. д. Это приведет к появлению погрешностей, естественно, больших, чем в нормальных (лабораторных) условиях или условиях поверки.

*Дополнительные* погрешности нормируются указанием *коэффициентов влияния* изменения отдельных влияющих величин на изменение показаний в виде:

$\Psi_{\theta}$  , % / 10 К – коэффициент влияния от изменения температуры на 10 К

Погрешность прибора в реальных условиях его эксплуатации называется *эксплуатационной* и складывается из его основной погрешности и всех дополнительных и может быть, естественно, много больше его основной погрешности. Таким образом, деление погрешностей на основную и дополнительные является чисто условным и оговаривается в технической документации на каждое средство измерений.

*Пределы допускаемых дополнительных погрешностей* устанавливаются в виде:

- а) постоянного значения для всей рабочей области влияющей величины;
- б) отношения предела допускаемой дополнительной погрешности, соответствующего регламентированному интервалу влияющей величины, к этому интервалу;
- в) предельной функции влияния;
- г) функциональной зависимости пределов допускаемых отклонений от номинальной функции влияния.

Предел допускаемой вариации выходного сигнала и пределы допускаемой нестабильности выражают в виде доли допускаемой основной погрешности.

Способы выражения остальных метрологических характеристик устанавливаются в стандартах на средства измерений конкретного вида.

*Погрешность, обусловленная взаимодействием средств измерений и объекта измерения.* Подключение средства измерений к объекту измерений во многих случаях приводит к изменению значения измеряемой величины относительно того значения, которое она имела до подключения средства измерения к объекту измерений и определение которого является целью измерений. Эта составляющая зависит от свойств средства измерений и объекта измерений.

*Динамическая погрешность средства измерения* – это разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени. Она обусловлена реакцией средства измерения на скорость (частоту) изменения входного сигнала. Эта погрешность зависит от динамических свойств (инерционности) средства измерения, частотного спектра входного сигнала, изменений нагрузки и влияющих величин. На выходной сигнал средства измерений влияют значения входного сигнала и любые изменения его во времени.