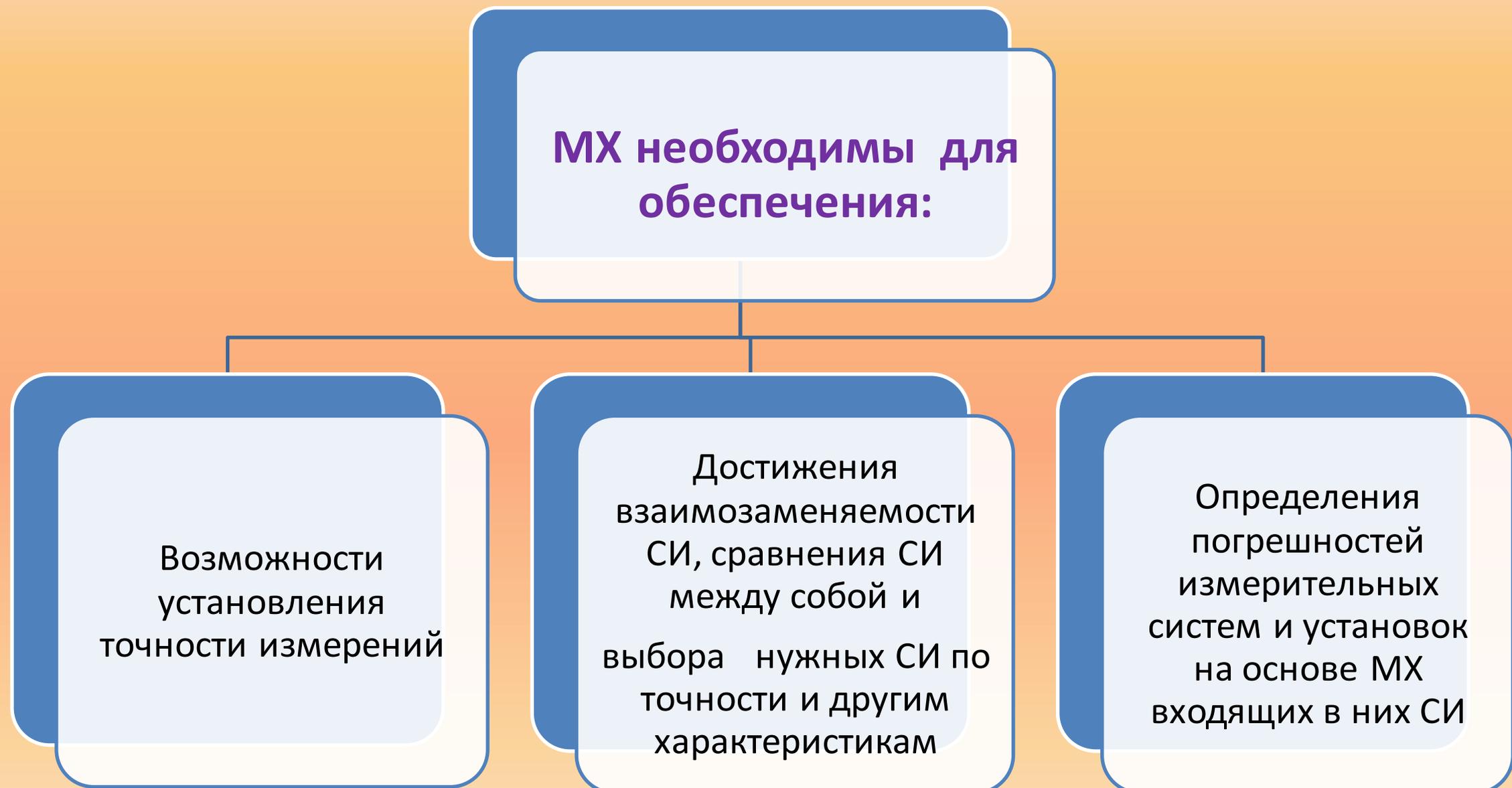


# **Лекция 4 МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИ**

## 4.1 Метрологические характеристики СИ и их нормирование

**Метрологические характеристики** (МХ) - такие характеристики СИ, которые позволяют судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью.



Под **нормированием** понимается установление границ на допустимые отклонения реальных метрологических характеристик СИ от их номинальных значений.

Только посредством нормирования метрологических характеристик можно добиться их взаимозаменяемости и обеспечить единство измерений в государстве. Реальные значения метрологических характеристик определяют при изготовлении СИ и затем проверяют периодически во время эксплуатации. Если при этом хотя бы одна из метрологических характеристик выходит за установленные границы, то СИ либо подвергают регулировке, либо изымают из обращения.

**В технической документации на средства измерений следует приводить перечень метрологических характеристик и нормы на них, исходя из того, что метрологические характеристики должны позволять:**

Прогнозировать характеристики погрешности результатов измерений - при приобретении средства измерений или при планировании измерений

Оценивать характеристики погрешности результатов измерений - при выполнении измерений в реальных условиях эксплуатации

Контролировать сохранность метрологических характеристик средств измерений при их испытаниях с приемлемыми затратами без потери достоверности контроля

**Нормы** на метрологические характеристики средств измерений **устанавливаются** с целью обеспечения гарантий их соблюдения и сохранности на момент приобретения средства измерений, в период их эксплуатации и хранения. В соответствии со стандартами эти нормы сообщаются пользователю в нормативных документах вида технических условий (ТУ) или технических описаний (ТО), а также в рекламной документации (выборочно) в виде пределов допускаемых значений метрологических характеристик. Гарантии сохранности метрологических характеристик обеспечиваются производителем и контролирующими государственными и ведомственными метрологическими органами путем метрологических испытаний средств измерений.

Таким образом, метрологические характеристики, устанавливаемые нормативными документами (технические условия (ТУ), технические описания (ТО)), называются

**нормируемыми метрологическими характеристиками.**



# 1. Характеристики, предназначенные для нахождения результатов измерений

## Градуировочные характеристики

Относят

Могут быть выражены формулой, графиком, таблицей или словесно.

это зависимость между значением  $a_x$  сигнала средства измерений и истинным  $y$  значением его информативного параметра.

$$a_x = \varphi(y).$$

Градуировочная  
характеристика может  
быть:

Простой

Например, показанием  
измерительного прибора считать  
отсчет по его шкале

Сложной

Например, переходной  
характеристикой, выраженной  
дифференциальным уравнением

Иногда градуировочную характеристику выражают с помощью поправок.

**Поправкой** называют величину, которую следует добавить к полученному по упрощенной зависимости  $a_x = \varphi(y)$  числу, чтобы найти значение сигнала СИ.

## 2. Характеристики чувствительности СИ к влияющим факторам

Функции влияния

Относят



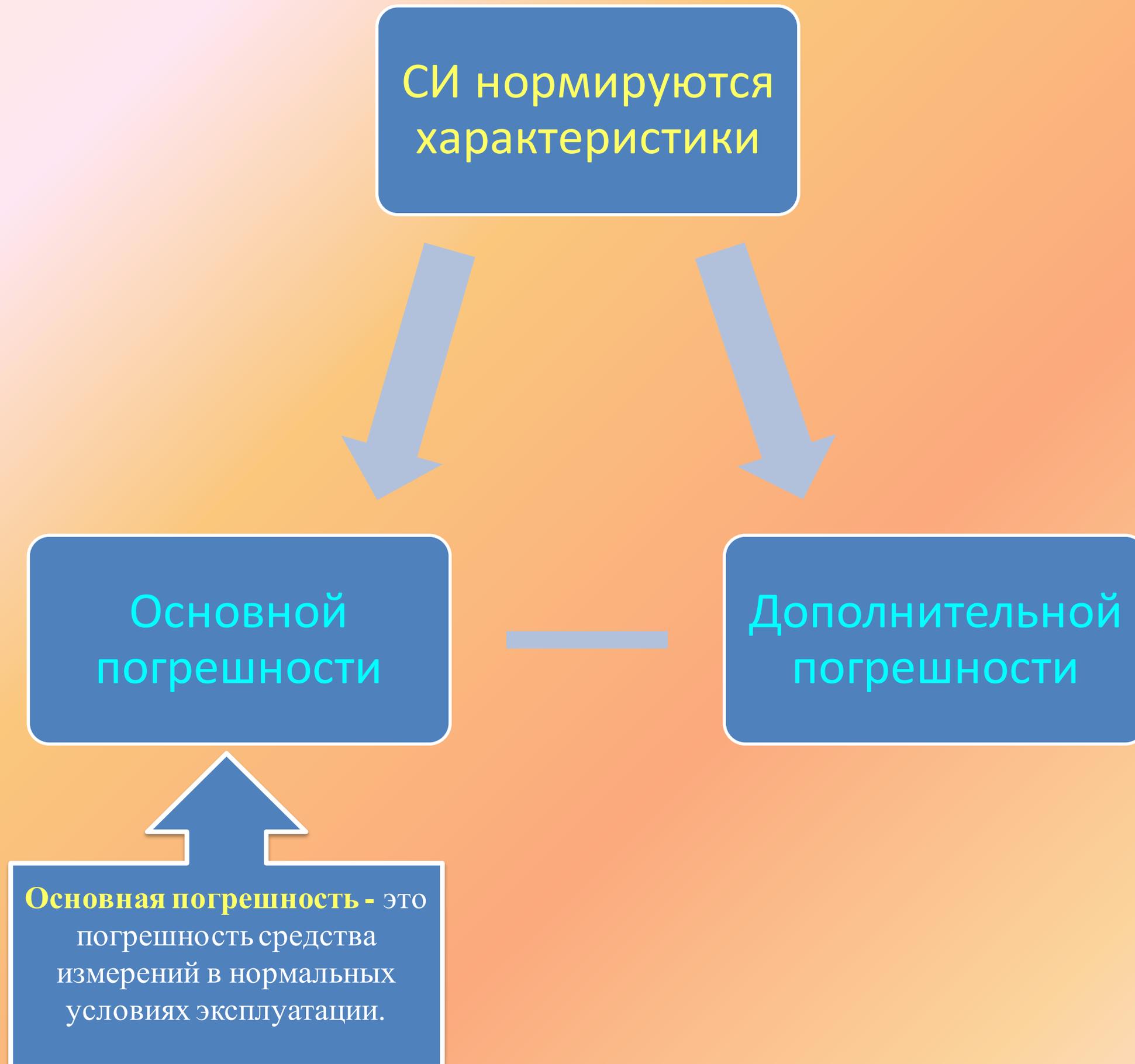
Функция влияния — это зависимость изменения метрологических характеристик СИ от изменения влияющего фактора или совокупности влияющих факторов.

Наиболее существенно от влияющих факторов (внешних воздействий) зависят систематические погрешности средства измерений.

Изменения систематической погрешности, вызванные наличием влияющих факторов, называют дополнительными погрешностями.

Дополнительную погрешность выражают в единицах измеряемой физической величины, в долях основной или систематической погрешности.

### 3. Характеристики погрешностей СИ



При отсутствии или пренебрежимо малой случайной составляющей погрешности устанавливается предел допускаемой основной погрешности, которая может быть представлена в виде абсолютной, либо относительной погрешности, либо как приведенная к некоторому *нормирующему значению* измеряемой величины.

При наличии существенной случайной составляющей погрешности нормы на характеристики систематической и случайной составляющих устанавливаются отдельно:

- - предел допускаемой систематической составляющей погрешности,
- - предел допускаемого среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности.
- Допускается устанавливать характеристику погрешности, которая включает в себя обе составляющие: систематическую и случайную. Такой характеристикой является интервал, заданный нижней  $\Delta_H$  и верхней  $\Delta_B$  границами, между которыми содержатся значения основной погрешности с вероятностью, не меньшей заданной вероятности  $P_0$ , равной обычно 0,8 ÷ 0,95, то есть

$$\bullet P ( \Delta_H \leq \varepsilon \leq \Delta_B ) \geq P_0$$

При зависимости погрешности средства измерений от измеряемой величины нормы на характеристики погрешности могут быть выражены в виде функции или графика.

**Нормы на характеристики дополнительной погрешности** устанавливаются в виде пределов допускаемых изменений характеристик основной погрешности, вызванных отклонением влияющих величин от нормальных значений. Эти пределы указываются в долях от норм на соответствующие характеристики основной погрешности по каждой из влияющих величин отдельно.

При незначительной дополнительной погрешности или по требованию пользователя вместо указания характеристик основной погрешности могут быть указаны характеристики погрешности СИ для расширенной области изменения влияющих величин вплоть до области, соответствующей рабочим условиям применения. В таких случаях указание характеристик дополнительной погрешности оказывается излишним. Но при этом следует иметь в виду, что экспериментальный контроль характеристик погрешности, установленных для рабочих условий, сильно усложняется, поскольку для этого придется искусственно создавать указанные условия путем контролируемого воспроизведения совместного действия влияющих величин в широкой области значений и в достаточном объеме, требующемся для размещения в нем СИ.

# Характеристики погрешности средств измерений

## Метрологические характеристики

## Вариация

- цена наименьшего деления шкалы;
- цена младшего разряда выходного кода АЦП или индикатора цифрового прибора;
- значение наименьшей ступени физической величины

**Метрологические характеристики** - отражают погрешности отсчитывания результата измерения или его округления при представлении результатов измерений или значений физических величин в цифровом коде.

**Вариация (гистерезис)** — разность между показаниями СИ в данной точке диапазона измерения при возрастании и убывании измерений величины и неизменных внешних условиях:

$$H = |X_e - X_y|$$

где  $X_e$  и  $X_y$  — значения измерений образцовыми СИ при возрастании и убывании величины  $X$ .

**Гистерезис** выходного сигнала средства измерений заключается в том, что выходной сигнал СИ зависит не только от размера измеряемой физической величины, но и от направления и скорости изменения физической величины непосредственно перед ее измерением. Вариация равна модулю разности математических ожиданий погрешности СИ при использовании его для измерения физической величины, которая непосредственно перед измерением медленно и плавно уменьшалась и медленно и плавно увеличивалась.

## 4. Динамические характеристики СИ

Динамические характеристики СИ – это характеристики динамических свойств СИ, отражающих зависимость выходного сигнала от изменяющегося во времени входного сигнала.



# Общая классификация МХ средств измерений

## Метрологические характеристики средств измерений

Характеристики, предназначенные для нахождения результатов измерений

1. Функция преобразования
2. Значения меры
3. Цена деления
4. Кодовые характеристики

Характеристики погрешностей

1. Систематическая составляющая
2. Случайная составляющая.
3. Вариация выходного сигнала СИ.
4. Погрешности СИ
5. Функции распределения погрешностей

Характеристики чувствительности СИ к влияющим факторам

1. Функция влияния.
2. Изменение МХ при изменении влияющих величин

Динамические характеристики

1. Полные:
  - переходная
  - импульсная
  - переходная
  - амплитудно-фазовая
  - амплитудно-частотная
2. Частные:
  - время реакции
  - постоянная времени
  - максимальная частота

Помимо точностных характеристик, СИ характеризуются **диапазоном измерений, допустимыми условиями применения, чувствительностью, быстродействием, стабильностью, помехозащищенностью, надежностью и др.**

**Диапазон измерений** – область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ (для преобразователей — это диапазон преобразования).

**Чувствительность средств измерений** – способность реагировать на изменения входного сигнала и оценивается отношением изменения выходного сигнала к вызвавшему его изменению входного сигнала.

$$S = \Delta y / \Delta x.$$

**Чувствительность** – величина обратная цене деления  $C$  шкалы прибора. Для аналоговых средств измерения чувствительность показывает, на сколько делений шкалы отклоняется стрелка прибора при измерении единицы физической величины

$$S = \frac{1}{N} = \frac{N}{R_{\text{дел}}}$$

**Порог чувствительности** – минимальное изменение входного сигнала СИ, вызвавшее изменение выходного сигнала.

**Быстродействие** характеризуется интервалом времени, необходимым для производства единичного измерения.

**Стабильность** отражает постоянство во времени метрологических характеристик. Часто эта характеристика представляется обратной величиной – **нестабильностью** показателей во времени.

**Помехозащищенность** – способность прибора сохранять в процессе измерений свои характеристики при наличии внешних помех.

**Надежность** – свойство средства измерений функционировать при сохранении метрологических и других характеристик в заданных пределах и режимах работы. За показатели безотказности принимают среднюю наработку на отказ (среднее значение наработки средства измерений между отказами) и вероятность безотказной работы за заданный промежуток времени.

## 4.4 Метрологические характеристики измерительных преобразователей



### **Для преобразователей с незначительной нелинейностью,**

которая рассматривается, как причина *погрешности от нелинейности* мультипликативная погрешность выделена быть не может. Поэтому для таких преобразователей основная погрешность нормируется пределом допускаемой основной приведенной погрешности, как для аналоговых приборов. Все остальные метрологические характеристики те же, что и у линейных аналоговых преобразователей. Заметим только, что в этом случае из-за нелинейности преобразователей нормируются частные динамические характеристики, чаще всего время реакции.

### **Для преобразователей с существенной нелинейностью**

нормируются те же характеристики, что и в предыдущем случае, за исключением коэффициента преобразования и полных динамических характеристик, которые не применимы к нелинейным преобразователям. Вместо коэффициента преобразования указывается номинальная функция преобразования в виде функциональной зависимости, графика или таблицы. Отклонения реальных функций преобразования от номинальной учитываются в составе основной погрешности, нормируемой, как в предыдущем случае, в форме приведенной погрешности. В качестве динамической характеристики нормируется, как правило, частная динамическая характеристика - время реакции.

## 4.5 Метрологические характеристики однозначных и многозначных мер

### Для однозначных мер нормируются

Номинальное значение величины, воспроизводимое мерой

Предел допускаемой основной относительной погрешности воспроизведения значения величины

Действие влияющих величин на значения воспроизводимой величины нормируется одним из способов: пределами допускаемых дополнительных погрешностей - по каждой влияющей величине отдельно; функциональной зависимостью значения воспроизводимой величины от влияющих величин - для введения поправок

### Для многозначных мер нормируются

Диапазон значений величины, воспроизводимых мерой

Значение наименьшей ступени величины, воспроизводимой мерой

Выходное сопротивление или импеданс - для мер, воспроизводящих электрические величины, или характеристика взаимодействия меры с устройством, для которого воспроизводится величина

Пределы допускаемой основной относительной погрешности воспроизведения значений величины

Пределы допускаемой дополнительной погрешности, нормируются по каждой величине отдельно

Для мер, управляемых дистанционно указывается вид входного кода, диапазон его возможных значений, номинальная цена единицы младшего разряда входного кода, время реакции выходного сигнала на изменение входного кода на величину, равную 80% от диапазона значений этого кода

## 4.6 Метрологические характеристики цифровых измерительных приборов

### Метрологические характеристики, нормируемые для цифровых приборов:

Диапазон измерения

Пределы допускаемой основной относительной погрешности

Входное сопротивление (импеданс), нормируется только для электроизмерительных приборов

Количество разрядов, представляемых на индикацию

Цена единицы младшего разряда индикации результатов измерений

Вид, число разрядов и цена единицы младшего разряда выходного кода, нормируется в случаях наличия связи с компьютером или печатающим устройством

Пределы допускаемой дополнительной погрешности

Максимальная частота измерений (представляется в  $1/c$ ) или длительность цикла одного преобразования (представляется в  $c$ )

Погрешность датирования отсчетов

Максимальная скорость обмена информацией с внешними устройствами, нормируется в случаях, когда такая связь предусмотрена

## 4.6 Метрологические характеристики аналоговых измерительных приборов

### Метрологические характеристики, нормируемые для аналоговых измерительных приборов:

Диапазон изменения измеряемой величины

Предел допускаемой основной приведенной погрешности  
(выражается в %)

Собственное сопротивление или импеданс (нормируется только для электроизмерительных приборов)

Предел допускаемой дополнительной погрешности (выражается в долях от предела допускаемой основной приведенной погрешности и нормируется для каждой влияющей величины отдельно)

Основная погрешность аналоговых измерительных приборов  
(нормируется без деления на мультипликативную и аддитивную составляющие)

Класс точности