

Погрешности измерений

1. Классификация погрешностей измерений

□ На измерения влияют:

Условия измерений

Метод измерений

Средство измерений



Объект измерений

Измеряемая величина

Оператор

1. Классификация погрешностей измерений

- Объект измерений принято считать неизменным, т.е. всегда предполагается, что существует истинное постоянное значение измеряемой величины.
- Все остальные составляющие процесса измерений:
 - средства измерений (СИ),
 - условия измерений,
 - оператор
- все время меняются.
 - **Примечания**
 - Эти изменения могут быть случайными, мы не в состоянии их предвидеть. Они могут быть и не случайными, но такими, которые мы не смогли заранее предусмотреть и учесть.
 - Если они влияют на результаты измерений, то при повторных измерениях одной и той же величины результаты будут отличаться один от другого тем сильнее, чем больше факторов не учтено и чем сильнее они меняются.

1. Классификация погрешностей измерений

- Всегда есть определенный предел числу явлений, влияющих на результаты измерений, которые принимаются в расчет.
- Общее у этих явлений то, что все они являются следствием причин настолько сложных, что трудно их проследить, и мы иногда удовлетворяемся точностью, которую можно получить без излишних затрат труда и средств.
- Вследствие этого результат даже очень точного измерения будет содержать **погрешность** Δ , которая является отклонением результата измерения x от истинного значения $x_{\text{ист}}$ измеряемой величины

$$\Delta = x - x_{\text{ист}}$$

1. Классификация погрешностей измерений

- **Истинным значением физической величины** называется такое ее значение, которое идеальным образом отражает понятие «физическая величина» с точки зрения количества и качества.
- Истинное значения физической величины неизвестно.
- Термин «истинное значение» физической величины применяют только в теоретических исследованиях.
- В формулу погрешности результата измерения подставляют действительное значение x_D , т.е. значение, найденное опытным путем и настолько приближающееся к истинному, что может быть использовано вместо него.
- Отсюда можно сделать вывод о том, что если истинное значение одно, то действительных значений может быть несколько.

1. Классификация погрешностей измерений

- По способу выражения различают: абсолютные и относительные погрешности измерений.
- Абсолютная погрешность измерения – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины: $\Delta = x - x_{\text{ист}}$
 - **Примечание** – Необходимо различать термины абсолютная погрешность и абсолютное значение погрешности, т.к. абсолютное значение погрешности – значение погрешности без учета ее знака (модуль погрешности). $\Delta_{\text{абс}} = |\Delta| = |x - x_{\text{ист}}|$
- Относительная погрешность измерения – погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному или измеренному значению измеряемой величины.

$$\delta = \frac{\Delta}{x} \cdot 100 \%$$

1. Классификация погрешностей измерений

- **По характеру проявления**, способам обнаружения и учета погрешности измерений подразделяются на систематические и случайные.
- **Систематическая погрешность** измерения – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.
 - **Примечание** – в зависимости от характера измерения систематические погрешности подразделяют на постоянные, прогрессивные, периодические и погрешности, изменяющиеся по сложному закону.
- **Случайная погрешность** измерения – составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

1. Классификация погрешностей измерений

- Составляющие систематической погрешности:
 - Постоянные погрешности – погрешности, которые длительное время сохраняют своё значение, например в течение времени выполнения всего ряда измерений.
 - Прогрессивные погрешности – непрерывно возрастающие или убывающие погрешности. К ним относятся, например, погрешности вследствие износа измерительных наконечников, контактирующих с деталью при контроле ее прибором активного контроля.
 - Периодические погрешности – погрешности, значение которых является периодической функцией времени или перемещения указателя измерительного прибора.
 - Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей.

1. Классификация погрешностей измерений

- По источникам возникновения различают: методические, инструментальные и субъективные погрешности измерений.
- **Методическая погрешность** (погрешность метода измерений) – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.
- **Инструментальная погрешность** измерения (погрешность инструмента) – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.
- **Субъективная погрешность** измерения (личная погрешность) – составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора.

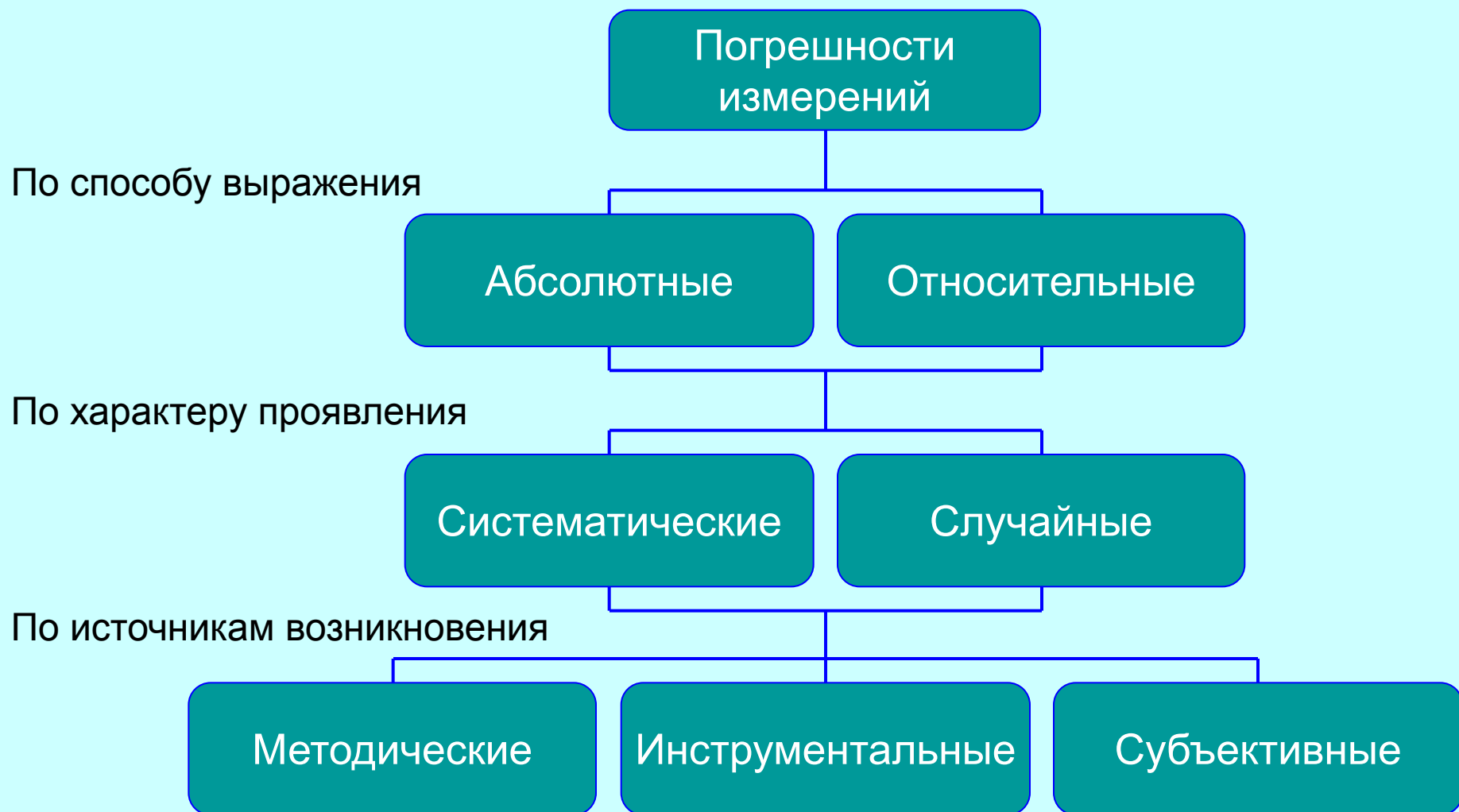
1. Классификация погрешностей измерений

- Методические погрешности возникают:
 - из-за несовершенства, неполноты теоретических обоснований принятого метода измерений
 - из-за непостоянства теоретических или эмпирических коэффициентов рабочих уравнений, используемых для оценки результата измерений
 - при изменении свойств измеряемых объектов, режимов и условий измерений
 - из-за неправильного выбора измеряемых величин (неадекватно описывающих модели интересующих свойств объекта).
- Выявить источники и исключить методические погрешности – главное в технике эксперимента. Уровень решения этой задачи определяется метрологической подготовкой и искусством экспериментатора.

1. Классификация погрешностей измерений

- Инструментальные погрешности обусловлены свойствами СИ:
 - технологией и качеством изготовления (например, неточностью градуировки или нанесения шкалы)
 - стабильностью
 - чувствительностью к внешним воздействиям
 - влиянием на объект измерений
- Субъективные погрешности вызываются:
 - состоянием оператора, проводящего измерения,
 - его положением во время работы,
 - несовершенством органов чувств,
 - эргономическими свойствами СИ.
- Все это, как правило, сказывается на точности визирования и отсчета.

1. Классификация погрешностей измерений



1. Классификация погрешностей измерений

Методические составляющие погрешности измерений

```
graph TD; A[Методические составляющие погрешности измерений] --- B[Неадекватность модели объекту]; A --- C[Отклонения аргументов функции, связывающей измеряемую величину с величиной на "входе" СИ]; A --- D[Отклонения разницы между значениями измеряемой величины на входе СИ и в точке отбора.]; A --- E[Погрешность от квантования]; A --- F[Отличие алгоритма вычислений от точной функции]; A --- G[Погрешности при отборе и приготовлении проб]; A --- H[Погрешности, вызываемые влиянием факторов пробы (компоненты пробы, дисперсность, пористость и т.п.)];
```

Неадекватность модели объекту

Отклонения аргументов функции, связывающей измеряемую величину с величиной на "входе" СИ

Отклонения разницы между значениями измеряемой величины на входе СИ и в точке отбора.

Погрешность от квантования

Отличие алгоритма вычислений от точной функции

Погрешности при отборе и приготовлении проб

Погрешности, вызываемые влиянием факторов пробы (компоненты пробы, дисперсность, пористость и т.п.)

1. Классификация погрешностей измерений

Инструментальные составляющие погрешности измерений

```
graph TD; A[Инструментальные составляющие погрешности измерений] --- B[Основные погрешности СИ]; A --- C[Дополнительные погрешности СИ]; A --- D[Погрешности, вызываемые ограниченной разрешающей способностью СИ]; A --- E[Динамические погрешности СИ]; A --- F[Погрешности взаимодействием СИ с объектом]; A --- G[Погрешности передачи измерительной информации];
```

Основные погрешности СИ

Дополнительные погрешности СИ

Погрешности, вызываемые
ограниченной разрешающей способностью СИ

Динамические погрешности СИ

Погрешности взаимодействием СИ с объектом

Погрешности передачи измерительной информации

1. Классификация погрешностей измерений

Субъективные составляющие
погрешности измерений

```
graph TD; A[Субъективные составляющие погрешности измерений] --- B[Погрешности считывания значений измеряемой величины со шкал и диаграмм]; A --- C[Погрешности обработки диаграмм без применения технических средств]; A --- D[Погрешности, вызванные воздействием оператора на объект измерений и СИ (искажения температурного поля, механические воздействия и т.п.)];
```

Погрешности считывания значений
измеряемой величины со шкал и диаграмм

Погрешности обработки диаграмм
без применения технических средств

Погрешности, вызванные воздействием
оператора на объект измерений и СИ
(искажения температурного поля,
механические воздействия и т.п.)

2. Характеристики погрешностей измерений. Формы представления

- МИ 1317-2004 ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров
- В зависимости от области применения и способов выражения используемые характеристики погрешности измерений могут быть разделены на следующие группы:
 - **нормы характеристик погрешности измерений**
(задаваемые в виде требований или допускаемых значений)
 - **приписанные характеристики погрешности измерений**
(приписываемые совокупности измерений, выполняемых по стандартизованной или аттестованной методике)
 - **статистические оценки характеристик погрешностей измерений**
(оцениваемые непосредственно в процессе выполнения измерений и обработки их результатов).

2. Характеристики погрешностей измерений. Формы представления

Наименование характеристик погрешности измерений	Способы регламентации		
	задаваемые в виде требований (нормируемые значения)	приписываемые совокупности измерений (приписанные значения)	оцениваемые в процессе измерений (статистические оценки)
1. СКО погрешности измерений	Предел допускаемых значений $\sigma[\Delta]$	Наибольшее возможное значение $\sigma[\Delta]$	Оценка $S[\Delta]$, нижняя $S_l[\Delta]$ и верхняя $S_h[\Delta]$ границы доверительного интервала с указанием доверительной вероятности P
2. Границы, в которых погрешность измерений находится с заданной вероятностью	Нижняя Δ_l и верхняя Δ_h границы интервала с указанием вероятности P	Нижняя Δ_l и верхняя Δ_h границы интервала с указанием вероятности P	Оценки нижней Δ_l и верхней $\tilde{\Delta}_h$ границ интервала с указанием вероятности P

2. Характеристики погрешностей измерений. Формы представления

Наименование характеристик погрешности измерений	Способы регламентации		
	задаваемые в виде требований (нормируемые значения)	приписываемые совокупности измерений (приписанные значения)	оцениваемые в процессе измерений (статистические оценки)
3. Характеристики случайной составляющей погрешности: 3.1. СКО погрешности измерений	Предел допускаемых значений $\sigma[\Delta]$	Наибольшее возможное значение $\sigma[\Delta]$	Оценка $S[\Delta]$, нижняя $S_l[\Delta]$ и верхняя $S_h[\Delta]$ границы доверительного интервала с указанием доверительной вероятности P
3.2. Нормализованная автокорреляционная функция	Нормализованная функция $r_{\Delta}(\tau)$	Приписанная функция $r_{\Delta}(\tau)$	Оценка функции $\tilde{r}_{\Delta}(\tau)$

2. Характеристики погрешностей измерений. Формы представления

Наименование характеристик погрешности измерений	Способы регламентации		
	задаваемые в виде требований (нормируемые значения)	приписываемые совокупности измерений (приписанные значения)	оцениваемые в процессе измерений (статистические оценки)
4. Характеристики неисключенной систематической составляющей погрешности: 4.1. СКО	Предел допускаемых значений $\sigma[\Delta_c]$	Наибольшее возможное значение $\sigma[\Delta_c]$	Оценка $S[\Delta_c]$, нижняя $S_l[\Delta_c]$ и верхняя $S_h[\Delta_c]$ границы доверительного интервала с указанием доверительной вероятности P
4.2. Границы, в которых составляющая погрешности находится с заданной вероятностью	Нижняя Δ_{cl} и верхняя Δ_{ch} границы интервала с указанием вероятности P	Нижняя Δ_{cl} и верхняя Δ_{ch} границы интервала с указанием вероятности P	Оценки нижней Δ_{cl} и верхней $\tilde{\Delta}_{ch}$ границ интервала с указанием вероятности P

3. Погрешности средств измерений (инструментальная погрешность)

- Инструментальная погрешность обусловлена свойствами применяемых СИ и в свою очередь состоит из ряда составляющих, вызванных:
 - неидеальностью собственных свойств СИ,
 - реакцией СИ на изменения влияющих величин и на скорость изменения измеряемых величин,
 - воздействием СИ на объект измерений,
 - способностью СИ различать малые изменения измеряемых величин во времени и т.д.
- Характеристики инструментальной погрешности изменяются от экземпляра к экземпляру СИ и могут самопроизвольно изменяться во времени.
- В погрешности СИ различают три составляющие: основную, дополнительную и динамическую погрешности.

3. Погрешности средств измерений (инструментальная погрешность)

- ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений
- Принимают следующую модель инструментальной составляющей погрешности измерений

$$\Delta_{\text{инстр}} = \Delta_{\text{СИ}} * \Delta_{\text{взаим}}$$

- где символом * обозначено объединение погрешности СИ в реальных условиях эксплуатации и составляющей погрешности, обусловленной взаимодействием СИ с объектом измерений.
- **Примечание** – под объединением понимают применение к составляющим погрешности измерений некоторого функционала, позволяющего рассчитать погрешность, обусловленную совместным воздействием этих составляющих.

3. Погрешности средств измерений (инструментальная погрешность)

Различают две модели погрешности СИ

Модель 1

$$(\Delta_{СИ})_1 = \Delta_c * \Delta * \Delta_{\Gamma} * \sum_{i=1}^l \Delta_{доп\ i} * \Delta_{дин}$$

Модель 2

$$(\Delta_{СИ})_2 = \Delta * \sum_{i=1}^l \Delta_{доп\ i} * \Delta_{дин}$$

Δ_c – систематическая составляющая основной погрешности СИ

Δ – случайная составляющая основной погрешности СИ

Δ_{Γ} – случайная составляющая основной погрешности СИ, обусловленная гистерезисом

$\sum_{i=1}^l \Delta_{доп\ i}$ – объединение дополнительных погрешностей СИ, обусловленных действием влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала СИ

$\Delta_{скор}$ – динамическая погрешность СИ, обусловленная влиянием скорости (частоты) изменения входного сигнала СИ

Δ – основная погрешность СИ (без разделения на составляющие)

4. Модель погрешности измерений

$$\Delta_{\text{изм}} = \Delta_{\text{инстр}} * \Delta_{\text{мет}} * \Delta_{\text{опер}} * \Delta_{\text{обр}}$$

- $\Delta_{\text{инстр}}$ – инструментальная составляющая погрешности результата измерений
- $\Delta_{\text{мет}}$ – методическая составляющая погрешности результата измерений
- $\Delta_{\text{опер}}$ – составляющая погрешности результата измерений, обусловленная квалификацией оператора
- $\Delta_{\text{обр}}$ – составляющая погрешности результата измерений, обусловленная алгоритмом обработки результатов, использованием стандартных справочных данных и физических постоянных.