



Лекция 2.
КАЧЕСТВО И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ



План.

1. Качество измерений.
2. Классификация средств измерений.
3. Характеристики средств измерений.



КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

- Под качеством измерений понимается совокупность свойств, обуславливающих соответствие средств, метода, методики, условий измерений и состояния единства измерений требованиям измерительной задачи (техники безопасности, экологического, экономического и других факторов).



Результат измерения

- это значение величины, полученное путем ее измерения.

Результат зависит от того, насколько качественно проведено измерение. Когда говорят «результат измерения», то следует указывать к чему он относится - к показанию средства измерения и неисправленному результату, к исправленному результату, и проводилось ли усреднение результатов нескольких измерений.





- **Неисправленный результат** - это значение величины, полученное с помощью средства измерения, до введения в него поправок, учитывающих систематические погрешности. Если говорят только об одном измерении, неисправленный результат идентичен показанию.
- **Исправленный результат** - полученное с помощью средства измерения значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие предполагаемых систематических погрешностей.

Качество измерений характеризуется:

- размером допускаемых погрешностей;
- точностью;
- достоверностью;
- правильностью;
- сходимостью;
- воспроизводимостью.





Погрешность измерения - это отклонение результата измерения ($X_{изм}$) от истинного значения измеряемой величины ($X_{д}$):

$$\Delta X_{изм} = X_{изм} - X_{д} \quad (1)$$


Погрешность измерений представляет собой сумму целого ряда составляющих, каждая из которых имеет свою причину.

Погрешности измерения могут быть *классифицированы* по следующим признакам:


а) по характеру проявления (систематические, случайные и промахи).

1. *Систематическая погрешность* - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.
2. *Случайная погрешность* — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом в серии повторных измерений одного и того же размера физической величины.
3. *Промах (грубая погрешность)* - случайная погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Измерение, где допущен промах, во внимание не принимают.






б) по способу выражения
погрешности
(абсолютные и относительные).

- 
- **Абсолютная погрешность** — это погрешность, выраженная в тех же единицах, что и измеряемая величина. Ее можно рассчитать по формуле


$$\Delta X = X - X_{ист} = X - X_{ср} \quad (2)$$

где X —результат измерения.



В том случае, когда не известно $X_{ист}$, используют $X_{ср}$ - среднее арифметическое нескольких измерений.



- **Относительная погрешность** представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины и выражается в процентах или долях измеряемой величины

$$\sigma = X - X_{ист} / X_{ист} = \Delta X / X_{ист} \quad (3)$$

или

$$\begin{aligned} \sigma &= (X - X_{ист} / X_{ист}) \cdot 100 = \\ &= (X - X_{ср} / X_{ср}) \cdot 100, \% \quad (4) \end{aligned}$$

**в) по условиям измерения
величины погрешности
(статические и динамические).**

- ***Статическая погрешность*** - погрешность результата измерений, свойственная условиям статического измерения.
- ***Динамическая погрешность*** - погрешность результата измерений, свойственная условиям динамического измерения.





- **Точность** - это качество измерений, отражающее близость результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям. Точность оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности.

Например, если погрешность 10^{-6} , то точность будет 10^6 .



- **Достоверность** характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятности и математической статистики. Это дает возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата с погрешностью, не превышающей заданных границ.



- **Под правильностью** измерений понимают качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.
- **Сходимость** - это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях. Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей.
- **Воспроизводимость** - это качество измерений, которое отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различное время, разными методами и так далее, но приведенных к одним и тем же условиям измерения.

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

- **Средством измерения (СИ)** называется техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени.
- **Метрологическая характеристика СИ** - это характеристика одного из его свойств, влияющих на результат измерений или его погрешность.



Классификация средств измерений

Средства измерения классифицируют по следующим признакам:



- по конструктивному исполнению;
- по метрологическому назначению;
- по уровню стандартизации.



По конструктивному исполнению


СИ подразделяются на:

меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки, измерительные системы, измерительные принадлежности.



- **Мера** - это средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера (например, гири - мера массы, резистор - мера электрического сопротивления).


Различают меры однозначные и многозначные.



- **Под однозначной** понимают меру, воспроизводящую физическую величину одного размера (гиря, мерная колба и так далее).

- **Под многозначной** понимают меру, воспроизводящую ряд одноименных величин различного размера (линейка, бюретка и так далее).

Меры могут быть объединены в наборы.



- **Набор мер** - это специально подобранный комплект мер, применяемых не только в отдельности, но и в различных сочетаниях для воспроизведения ряда одноименных величин различного размера.



- **Стандартный образец** - это мера для воспроизведения единиц величин, характеризующих свойства или состав веществ и материалов. Например, стандартный образец свойств ферромагнитных материалов, образцы шероховатости поверхности.
- **Образцовое вещество** - это вещество с известными свойствами, воспроизводимыми при соблюдении условий приготовления, указанных в утвержденной спецификации. Например, «чистая» вода, «чистые» газы, «чистые» металлы.



- **Измерительный преобразователь** - это средство измерения, предназначенное для выработки измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки или хранения, но недоступной для непосредственного восприятия наблюдателем (термопара, частотный преобразователь).
- **Измерительный прибор** - средство измерения, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне (рН-метры, весы, фотоэлектроколориметры и так далее).

Измерительные приборы бывают **аналоговыми и цифровыми**

- Аналоговый измерительный прибор - измерительный прибор, показания которого является непрерывной функцией измеряемой величины (вольтметр, ртутный термометр и так далее).
- Цифровой измерительный прибор - прибор, показания которого представлены в цифровой форме (преобразование сигнала в значение физической величины происходят дискретно), например, измерительный микроскоп с цифровым отсчетом.

По типу отсчетного устройства измерительные приборы делят на показывающие, регистрирующие, самопишущие.





- **Под измерительной установкой** понимают совокупность средств измерений (мер, измерительных приборов, преобразователей) и вспомогательных устройств для выработки сигналов информации в форме, удобной для восприятия и расположенных в одном месте (испытательный стенд).
- **Измерительная система** - это совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, размещенных в разных точках контролируемого пространства с целью измерения одной или нескольких физических величин, свойственных этому пространству (контролирующие, управляющие системы с ЭВМ).



- **Измерительные принадлежности – вспомогательные средства измерений величин.**

Они необходимы для вычисления поправок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности.

Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны при строго регламентированной температуре; психрометр – если строго оговаривается влажность окружающей среды.

По метрологическому назначению СИ подразделяются на рабочие и метрологические.

- **Рабочие средства измерения** предназначены непосредственно для измерений в различных сферах деятельности: в науке, технике, в производстве, медицине, то есть там, где необходимо получить значение той или иной физической величины.
- **Метрологическое средство измерения** предназначено для метрологических целей: воспроизведения единицы и ее хранения или передачи размера единицы рабочим СИ. К ним относятся эталоны, образцовые СИ, поверочные установки, стандартные образцы.



По уровню стандартизации различают стандартизованные и нестандартизованные средства измерения.

- **Стандартизованными** считаются средства измерения, изготовленные в соответствии с требованиями государственного стандарта и соответствующие техническим характеристикам установленного типа средств измерения, полученным на основании государственных испытаний, и внесенные в Государственный реестр СИ.
- **Нестандартизованные** - уникальные средства измерения, предназначенные для специальной измерительной задачи, в стандартизации требований к которым нет необходимости. Они не подвергаются государственным испытаниям, а подлежат метрологической аттестации.



Характеристики средств измерений

- **Принцип действия** - физический принцип, положенный в основу средства измерения данного типа.
- **Отсчетное устройство** - часть элементов средства измерения, показывающая значение измеряемой величины.
- **Указатель отсчетного устройства** — часть отсчетного устройства, положение которого относительно отметок шкалы определяет показание СИ. Например, у барометра указателем является подвижная стрелка.
- **Шкала средства измерения** - часть отсчетного устройства, представляющая собой упорядоченный ряд отметок, соответствующих последовательному ряду значений величины, вместе со связанной с ними нумерацией.
- **Деление шкалы** - промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерения.



Характеристики средств измерений

- **Цена деления шкалы** - разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.
- **Диапазон показателей средства измерения** — область значений шкалы прибора, ограниченная конечным и начальным значением шкалы, которые называют верхним и нижним пределами измерений соответственно.
- **Номинальное значение** - значение величины, приписанное мере или партии мер при изготовлении.
- **Класс точности** - обобщенная характеристика средства измерения.





- **Метрологические характеристики (МХ) СИ** - характеристики, оказывающие влияние на результаты и погрешности средства измерения, предназначенные для оценки технического уровня и качества средства измерения, для определения результатов измерений и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерений.
- **Погрешность СИ** - разность между показанием измеряемой физической величины.

Погрешности средств измерений могут быть классифицированы по следующим признакам:

- по происхождению;
- по характеру проявления;
- по отношению к изменяемости измеряемой величины;
- по отношению к условиям применения;
- по способу выражения.



По происхождению различают инструментальные погрешности и методические.

- **Инструментальные погрешности** возникают вследствие недостаточно высокого качества элементов СИ. К этим погрешностям можно отнести погрешности изготовления, сборки элементов, недостаточной жесткости деталей и так далее. Инструментальная погрешность индивидуальна для каждого СИ.
- Причиной возникновения **методических погрешностей** служит несовершенство метода измерений, в результате чего измеряемая величина на выходе средства измерения преобразуется в другую величину, которая отражает нужную лишь приблизительно, но гораздо проще реализуется. Причиной появления методических погрешностей является также неточность соотношений, используемых для нахождения оценки измеряемой величины.
- **Предел допускаемой погрешности СИ** — это наибольшая по абсолютной величине погрешность СИ, при которой оно может быть признано и допущено к применению.



По характеру проявления они бывают систематические, случайные, грубые.

- **Систематическая погрешность** - это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины (неточность, износ, неуравновешенность СИ и так далее). Постоянные систематические погрешности внешне себя не проявляют, обнаружить их можно только проверкой нуля или чувствительности СИ.
- **Случайной погрешностью** называют составляющую погрешности СИ, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Случайная погрешность возникает при одновременном воздействии многих источников, каждый из которых сам по себе оказывает незаметное влияние на результат, но суммарное воздействие этих источников может оказаться достаточно сильным.
- **Грубые погрешности (промахи)** СИ возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора, а также при кратковременных резких изменениях условий проведения измерений (например вибрация). Если их обнаруживают сразу, результаты отбрасывают. Часто их выявляют при обработке результатов с помощью критериев оценки грубых погрешностей.



По отношению к изменямости измеряемой величины погрешности СИ бывают статические, динамические.

- **Статическая погрешность** - погрешность, не зависящая от скорости измерения. Статическая погрешность возникает при измерении с помощью СИ постоянной величины. Если в паспорте указывают предельные погрешности в статических условиях, то они могут характеризовать точность СИ в динамических условиях.
- **Динамическая погрешность** - погрешность, зависящая от скорости изменения измеряемой величины во времени. Возникновение ее обусловлено инертностью элементов измерительной цепи. Динамическая погрешность определяется как разность между погрешностью средства измерения в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени. То есть динамическая погрешность возникает из-за несоответствия реакции СИ на скорость изменения входного сигнала.



По отношению к условиям применения погрешности СИ бывают основные и дополнительные.

- **Основная погрешность** - погрешность, определяемая в нормальных условиях применения средства измерения, которые оговариваются в нормативно-технических документах на прибор (например, температура, атмосферное давление и так далее).
- **Дополнительная погрешность** - составляющая погрешности СИ, дополнительно возникающая вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений. В условиях производства дополнительные погрешности могут оказаться больше основных, и заказчик СИ в определенных случаях может не соглашаться на выделение в отдельное указание дополнительных погрешностей и потребовать аттестации СИ по суммарной эксплуатационной погрешности в рабочих условиях.



По способу выражения погрешности СИ бывают абсолютные, относительные, приведенные.

- **Абсолютная погрешность** — погрешность СИ, выраженная в единицах измеряемой физической величины

$$\Delta X_{п} = X_{п} - X_{д} \quad (5)$$

где $X_{п}$ - показание прибора, $X_{д}$ - действительное значение измеряемой величины.

- **Относительная погрешность** - погрешность СИ, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к действительному значению измеренной физической величины в пределах диапазона измерений

$$\sigma_{п} = (\pm \Delta X_{п} / X_{п}) 100, \% \quad (6)$$

- **Приведенная погрешность** - это погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности СИ к условно принятому значению физической величины, которое постоянно во всем диапазоне или в некоторой его части

$$\gamma = (\Delta X_{п} / X_{N}) 100, \%$$

Условно принятое значение величины X_N называют нормирующим значением. Часто за нормирующее значение принимают верхний предел измерений, диапазон измерений, длину шкалы и так далее. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.





- **Под классом точности СИ** понимают такую его обобщенную характеристику, которая определяется пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность измерений.
- Значения класса точности устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений.
- Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса СИ, приводятся в нормативно-технических документах со ссылкой на стандарт или технические условия, в которых установлен класс точности для этого типа СИ.

Обозначения могут иметь форму:

- заглавных букв латинского алфавита (например, М, С и так далее);
- римских цифр (I, II, III, IV и так далее) с добавлением условных знаков;
- арабских цифр с добавлением какого-либо условного знака.



Правила построения, примеры обозначения классов точности и варианты расчетов пределов допускаемых погрешностей

Формула для определения пределов допускаемых погрешностей	Примеры пределов допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности	
		в документации	на средствах измерения
$\Delta n = \pm a$	-	класс точности М	М
$\Delta n = \pm (a + bx_{из})$	-	класс точности С	С
$\gamma = \pm p$	$\gamma = \pm 1,5$	класс точности 1,5	1,5
$\gamma = \pm p$	$\gamma = \pm 0,5$	класс точности 0,5	$\nabla 0,5$
$\sigma_n = \pm q$	$\sigma_n = \pm 0,5$	класс точности 0,5	$\circlearrowleft 0,5$
$\sigma_n = \pm [c + d(Xк/Xп) - 1]$	$\sigma_n = \pm [0,02 + 0,01(Xк/Xп) - 1]$	класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01





Спасибо за внимание!

- к.с.-х.н., доцент Горькова Ирина Вячеславовна
- E-mail: laboratory2@orelsau.ru