

# Методика измерений

- ***Методикой измерений*** называется установленная совокупность операций и правил, выполнение которых при измерении обеспечивает получение результатов в соответствии с данным методом. Основная потеря точности при измерениях происходит не за счет возможной метрологической неисправности применяемых средств измерений, а, в первую очередь, за счет несовершенства методов и методик выполнения измерений.
- По Закону РФ от 27.04.93 № 4871-1 «Об обеспечении единства измерений» измерения должны осуществляться по аттестованным в установленном порядке методикам.

- Разработка методик выполнения измерений должна включать в себя следующие этапы:
- анализ технических требований к точности измерений, изложенных в стандартах, технических условиях или технических заданиях;
- определение конкретных условий проведения измерений;
- выбор испытательного и вспомогательного оборудования, а также средств измерений;
- разработку при необходимости нестандартных средств измерений;
- исследование влияния условий проведения измерений и подготовки испытуемых объектов к измерениям на результаты измерений;
- определение порядка подготовки средств измерений к работе, последовательности и количества измерений;
- разработку или выбор алгоритма обработки экспериментальных данных и правил оформления результатов измерений.

- В нормативно-технической документации на методики выполнения измерений предусматриваются нормы точности измерений, специфика измеряемой величины (диапазон, наименование продукции и т.д.), максимальная автоматизация измерений и обработки данных.

- Методики выполнения измерений перед их вводом в действие должны быть аттестованы и стандартизованы. Аттестация включает в себя
- разработку и утверждение программы аттестации;
- выполнение исследований в соответствии с программой;
- составление и оформление отчета об аттестации;
- оформление аттестата методики выполнения измерений.

- При аттестации должна быть проверена правильность учета всех факторов, влияющих на точность измерений, установлена достоверность их результатов. Аттестацию методик выполнения измерений проводят государственные и ведомственные метрологические службы.
- При этом государственные метрологические службы проводят аттестацию методик особо точных, ответственных измерений, а также измерений, проводимых в организациях Ростехрегулирования.

Измерение

# Виды измерений



- *Измерение* — это нахождение значения физических величин опытным путем с помощью специальных технических средств.
- По способу получения результата, т.е. числового значения измеряемой величины, измерения подразделяются на следующие **виды:**
  - прямые;
  - косвенные;
  - совместные;
  - совокупные.

- При **прямых** измерениях числовое значение измеряемой величины определяется по данным отсчета показаний средств измерений.
- Результат **косвенных** измерений определяется на основании прямых измерений величин, связанных с измеряемой величиной известной зависимостью (например, оценка плотности по результатам измерения объема и массы).
- **Совместные** измерения производятся для двух или нескольких неоднородных величин в целях нахождения функциональной зависимости между ними.
- **Совокупными** называют одновременные измерения нескольких одноименных величин, искомые значения которых находят решением системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях.

- Измерения также классифицируются:
- по характеристике точности — на равноточные и неравноточные;
- числу измерений в серии — на однократные и многократные;
- отношению к изменению измеряемой величины — на статические и динамические;
- выражению результата измерений — на абсолютные и относительные;
- метрологическому назначению — на технические (при помощи рабочих средств измерений) и метрологические (при помощи эталонов и образцовых средств для воспроизведения единицы физической величины).

- *Прямые измерения* являются основой более сложных измерений. В соответствии с РМГ 29 — 99 «Рекомендации по межгосударственной стандартизации ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» (взамен ГОСТ 16263 — 70 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения») различают следующие методы прямых измерений:
  - метод непосредственной оценки — использование отсчетного устройства средств измерений;
  - метод сравнения с мерой — измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой;

- метод дополнения — значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор сравнения воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению;
- дифференциальный метод — измеряется разность между измеряемой и известной однородной величиной, воспроизводимой мерой;
- нулевой метод — аналогичен дифференциальному, но разность между измеряемой величиной и мерой сводится к нулю.

# Результат и погрешность измерения

- *Результат* — значение физической величины, полученное с использованием регламентированного метода измерения.
- Под *погрешностью результата измерения*, или *погрешностью измерения* (количественный показатель), понимается отклонение результата измерения от истинного (на практике — действительного) значения измеряемой физической величины. *Точность* (качественный показатель) — степень приближения результата к истинному значению измеряемой ФВ.

- *Истинное значение* — значение, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую величину.
- *Действительное значение* — значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.



- При отсутствии необходимых эталонов, обеспечивающих воспроизведение, хранение и передачу соответствующих значений величин, необходимых для определения погрешности (точности) результатов измерений, в отечественной и международной практике за действительное значение зачастую принимают общее среднее значение (математическое ожидание) заданной совокупности результатов измерений.
- В зависимости от формы выражения различают **абсолютную**, **относительную** и **приведенную** погрешности измерения.

- **Абсолютная** погрешность  $\Delta$  определяется по формуле

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X_A$$

- где  $X_{\text{изм}}$  — результат измерения;  $X_A$  — действительное значение физической величины, полученное экспериментально из предположения, что оно наиболее близко к истинному значению ФВ.

- ***Относительная*** погрешность определяется по формуле

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_A}$$

- ***Погрешность средства измерения***  
— это разность между показанием средства измерения и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ.

- Использование только абсолютной погрешности не позволяет сравнивать между собой по точности СИ с разным пределом измерений, а указание относительной погрешности также ограничена из-за непостоянства. Поэтому *большое распространение получило нормирование приведенной погрешности, выраженное отношением абсолютной погрешности СИ к условно принятому значению величины, постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона.*

- *Приведенная* погрешность  $\gamma$ , %, определяется из соотношения

$$\gamma = \pm \frac{\Delta}{X_N} 100,$$

- где  $X_N$  — условное нормирующее значение физической величины, выраженное в единицах абсолютной погрешности.

- В качестве истинного значения  $X_{\text{ист}}$  при многократных ( $n$ ) измерениях параметра выступает его среднее арифметическое значение.
- Среднее арифметическое из ряда измерений всегда имеет меньшую погрешность, чем погрешность каждого определенного измерения. Отсюда также следует, что при необходимости повышения точности результата в 2 раза число измерений нужно увеличить в 4 раза и т.д.

- В зависимости от характера появления, причин возникновения и возможностей устранения различают **систематическую** и **случайную** составляющие погрешности измерений, а также грубые погрешности (**промахи**).
- *Случайная погрешность измерения* — составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с такой же тщательностью, одной и той же физической величины.
- *Систематическая погрешность измерения* — составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.
- *Промах* — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которое для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.



- *Цель измерений* — получение оценки истинного значения измеряемой величины.

# Обработка результатов прямых многократных измерений

- Основная цель обработки экспериментальных данных — получение результата измерения и оценка его погрешности. Измерение, результат которого получен из ряда однократных измерений, называется ***многократным***.

- Чтобы оценить погрешность однократного измерения, используют результаты специально поставленного аналогичного эксперимента или данные предварительных исследований условий измерений, погрешностей использованных средств и методов измерений, а также погрешностей оператора.

- Для определения результата **многократных** измерений и оценки их погрешностей широкое распространение получили вероятностно-статистические методы.
- Многократные измерения подразделяются на равно- и неравноточные.
- *Равноточные* измерения — это ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью.
- *Неравноточные* измерения — это измерения какой-либо величины, выполненные различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях. Обработку таких измерений проводят с учетом оценки доверия к тому или иному отдельному результату измерения, входящему в ряд неравноточных измерений.

- Порядок обработки результатов прямых многократных равноточных измерений изложен в ГОСТ 8.207 — 76 «Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения».

- **Контрольные вопросы**

- Что называется погрешностью измерений?
- В чем разница между абсолютной и относительной погрешностью?
- Что такое систематическая погрешность, как она проявляется и учитывается при измерениях?
- Что такое случайная погрешность, как она проявляется и учитывается при измерениях?
- В чем причины проявления грубых промахов?
- Назовите методы оценки результатов измерений и объясните суть каждого из методов.

**Средства измерения**  
**Классификация средств**  
**измерения**

- Средства измерения принято классифицировать по виду, принципу действия и метрологическому назначению.
- Различают следующие виды средств измерений: меры, измерительные устройства, которые подразделяются на измерительные приборы и измерительные преобразователи; измерительные установки и измерительные системы.



- *Мера* — это средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.
- *Измерительный прибор* — средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.
- *Измерительный преобразователь* — средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.
- *Измерительная установка* — совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенная на одном месте.
- *Измерительная система* — совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических сигналах управления.

- Измерительные приборы, используемые для линейных измерений в машиностроении, классифицируют по назначению, конструктивному устройству и по степени автоматизации.
- *По назначению* измерительные приборы разделяют на универсальные, специальные и для контроля.
- *По конструктивному устройству* измерительные приборы делят на механические, оптические, электрические и пневматические и др.
- *По степени автоматизации* различают измерительные приборы ручного действия, механизированные, полуавтоматические и автоматические.

- Универсальные измерительные приборы применяют в контрольно-измерительных лабораториях всех типов производств, а также в цехах единичных и мелкосерийных производств.
- Универсальные измерительные приборы подразделяются:

на механические:

*простейшие инструменты* — проверочные измерительные линейки, щупы, образцы шероховатости поверхности;

*штангенинструменты* — штангенциркуль, штангенглубиномер, штангенрейсмас, штангензубомер;

*микрометрические инструменты* — микрометр, микрометрический нутромер, микрометрический глубиномер;

*приборы с зубчатой передачей* — индикаторы часового типа;

*рычажно-механические* — миниметры, рычажные скобы;

### оптические:

вертикальные и горизонтальные оптиметры, малый и большой инструментальные микроскопы, универсальный микроскоп, концевая машина, проекторы, интерференционные приборы;

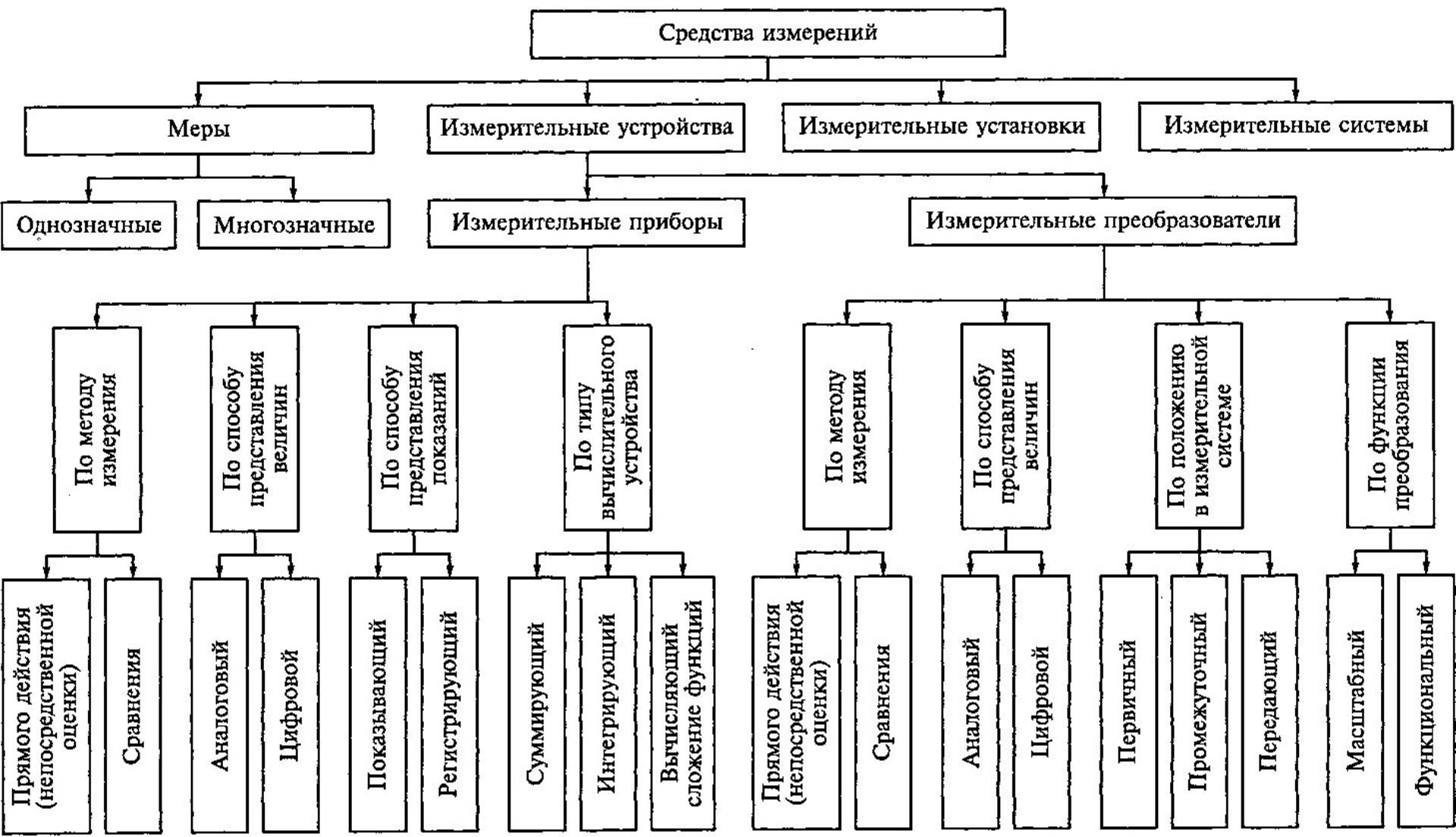
### пневматические:

длинномеры (ротаметры);

### электрические:

электроконтактные измерительные головки, индуктивные приборы, профилографы, профилометры, кругломеры.

- Специальные измерительные приборы предназначены для измерения одного или нескольких параметров деталей определенного типа; например приборы для измерения (контроля) параметров коленчатого вала, распределительного вала, параметров зубчатых колес, диаметров глубоких отверстий.
- Приборы для контроля геометрических параметров по назначению делят на приборы для приемочного (пассивного) контроля (калибры), для активного контроля в процессе изготовления деталей и приборы для статистического анализа и контроля.



**Метрологические  
характеристики  
измерительных средств**

- **Основными нормируемыми характеристиками измерительных средств для технических измерений являются:**
- *диапазон измерений* — область значений измеряемой величины, для которой нормированы пределы погрешности прибора;
- *диапазон показаний* (измерений по шкале) — область значений шкалы, ограниченная ее начальным и конечным значениями; например для вертикального оптиметра диапазон показаний 0,2 мм, пределы показаний (начальное и конечное значения шкалы)  $\pm 0,1$  мм.

Диапазон измерений меньше или равен диапазону показаний.

- *Пределы измерения* — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерения.
- *Цена деления шкалы* — разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.
- *Длина (интервал) деления шкалы* — расстояние между осями двух соседних отметок шкалы.
- *Чувствительность* — свойство, отражающее способность реагировать на изменение измеряемой величины.
- *Стабильность* — свойство, отражающее постоянство во времени метрологических показателей



- *Основная метрологическая характеристика измерительного средства* — погрешность измерительного средства или инструментальная погрешность средства имеет определяющее значение для наиболее распространенных технических измерений, включающих в себя измерительные средства для измерения длин и угловых размеров. В зависимости от условий использования измерительных средств различают основную и дополнительную погрешность.

- *Основной погрешностью* средства измерений называют погрешность при использовании средства измерения в нормальных условиях, указываемых в стандартах, технических условиях, паспортах и т. п. В зависимости от режима применения различают динамическую и статическую погрешности.
- Статическая погрешность измерительного средства — погрешность, возникающая при использовании измерительных средств для измерения постоянной величины.
- Динамическая погрешность — погрешность, возникающая при использовании измерительного средства для измерения переменной во времени величины.

- Основную погрешность средств измерений нормируют согласно ГОСТ 13.000—68, заданием пределов допускаемой основной погрешности. Когда основная погрешность находится в этих пределах, средства измерения допускаются к применению.
- Пределы допускаемой основной погрешности задают в виде абсолютных, относительных или приведенных погрешностей измерительного средства.

- *Основная погрешность СИ* определяется в нормальных условиях его применения. *Дополнительная погрешность СИ* — составляющая погрешности СИ, дополнительно возникающая из-за отклонений какой-либо из влияющих величин (температура и др.) от ее нормального значения.
- ***Класс точности характеризует, в каких пределах находится погрешность данного типа средств измерения, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполненных с помощью этих средств. Классы точности конкретного типа СИ устанавливают в нормативной***

# Классы точности средств измерения

- В настоящее время в повседневной практике при эксплуатации средств измерения принято нормирование метрологических характеристик на основе классов точности средств измерения. Под **классом точности** понимается обобщенная характеристика данного типа средств измерения, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

- Средства измерения должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к метрологическим характеристикам, установленным для присвоенного им класса точности.

- Метрологические характеристики, определяемые классами точности, нормируют следующим образом.
- Пределы допускаемых основной и дополнительной погрешностей выражают в форме приведенных, относительных или абсолютных погрешностей (в зависимости от характера измерения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерения конкретного вида).

- Пределы всех основных и дополнительных допускаемых погрешностей выражаются не более чем двумя значащими цифрами, при этом погрешность округления при вычислении пределов не должна превышать 5 %.



- В зависимости от *формы выражения погрешности* классы точности могут обозначаться заглавными буквами латинского алфавита (например, M, C) или римскими цифрами (I, II, III и т.д.) с добавлением условных знаков, смысл которых раскрывается в нормативно-технической документации. При этом меньшие пределы погрешности должны соответствовать буквам, находящимся ближе к началу алфавита, или меньшим цифрам. Если же класс точности обозначается арабскими цифрами с добавлением какого-либо условного знака, то эти цифры непосредственно устанавливают оценку снизу точности показаний средств измерения.

Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Обозначение класса точности	
		в документации	на средстве измерения
Приведенная погрешность $\gamma$	$\pm 1,5$	Класс точности 1,5	1,5
	$\pm 0,5$	Класс точности 0,5	0,5
Относительная погрешность $\delta$	$\pm 0,5$	0,5	0,5
Абсолютная погрешность $\Delta$	—	Класс точности М	М
	—	Класс точности С	С

- Примеры обозначения классов точности в документации и на средстве измерения приведены в таблице.