



Раздел I. МЕТРОЛОГИЯ

Тема 1.1. Основы метрологии.

Занятие №2.

Учебные вопросы:

3. Связи и характеристики основных элементов измерения (метод измерения, методика измерений, измерение, результат и погрешность измерений)
4. Классы точности средств измерения

3. Связи и характеристики основных элементов измерения

Метод измерения

Измерительное средство, условия и приемы его использования образуют *метод измерения*.

Средства измерения — технические средства для определения размеров ФВ, имеющие нормированные метрологические свойства.

По степени универсальности средства измерения подразделяют на универсальные и специализированные. *Универсальные СИ* используются в условиях единичного и мелкосерийного производства. Они включают в себя измерительные инструменты (штангенциркули, микрометры и др.), измерительные головки (рычажные скобы, нутромеры, индикаторы, микрометры и др.), оптико-механические измерительные приборы (оптиметры, длиномеры, микроскопы и др.), пневматические измерительные приборы. *Специализированные и специальные СИ* (калибры, автоматы, полуавтоматы) применяют в крупносерийном и массовом производстве.

По связи с объектом средства измерений подразделяются на контактные, бесконтактные, внешние и встроенные; по режиму работы — на статические и динамические.

По классификации РМГ 29—99 «Метрология. Основные термины и определения» СИ подразделяются на следующие виды:

- *меры* — СИ, воспроизводящие или хранящие физическую величину (концевые меры длины, гири, калибры и др.);
- *измерительные преобразователи* — СИ, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для дальнейшего преобразования и обработки (термопары, усилители и др.);
- *измерительные приборы и инструменты* — СИ, предназначенные для переработки сигнала измерительной информации в доступные для наблюдателя формы (амперметр, манометр и др.);
- *измерительные установки* — совокупность функционально объединенных СИ и вспомогательных устройств (установки для испытания механических, электротехнических, магнитных и других свойств материалов);
- *измерительные системы* — комплекс СИ и вспомогательных устройств с каналами связи (проводными, телевизионными и др.), предназначенные для выработки, передачи и автоматической обработки сигналов измерительной информации.

Условия измерения согласно ГОСТ 8.050—73 «ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений» должны соответствовать значениям температуры, давления, влажности, плотности воздуха, магнитного поля и других показателей при осуществлении линейных, угловых и других измерений (табл. 1.6).

**Таблица 1.6** — Условия выполнения линейных и угловых измерений

№ п/п	Влияющая величина	Номинальное значение влияющей величины
1.	Температура для всех видов измерений	20°С (293 К)
2.	Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических измерений, измерения давления и параметров движения	100 кПа (750 мм рт. ст.)
3.	Давление воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, силы света, измерений в спектроскопии и других областях, кроме указанных в п. 2	101,3 кПа (760 мм рт. ст.)
4.	Относительная влажность воздуха для линейных, угловых измерений, измерений массы, измерений в спектроскопии	58%
5.	Относительная влажность воздуха для измерения электрического сопротивления	55%
6.	Относительная влажность воздуха для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения	65%
7.	Относительная влажность воздуха для всех видов измерений, кроме указанных в пп. 4, 5, 6	60%
8.	Плотность воздуха	1,2 кг/м ³
9.	Ускорение свободного падения	9,8 м/с ²
10.	Магнитная индукция (напряженность магнитного поля) и напряженность электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин	0
11.	Магнитная индукция (напряженность магнитного поля) и напряженность электростатического поля для всех видов измерений, кроме указанных в п. 10	Соответствует характеристикам поля Земли в данном географическом районе

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.

Стандартизация методик применяется для измерений, широко применяемых на предприятиях.

Методики выполнения измерений периодически пересматриваются в целях их усовершенствования.

Общие требования к разработке и выполнению методик устанавливают ГОСТ Р 8.563—96 «ГСИ. Методики выполнения измерений» и МИ 2377—98 «ГСИ. Разработка и аттестация методик выполнения измерений».

Измерение

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 Δ определяется по формуле

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X_{\text{д}},$$

где $X_{\text{изм}}$ — результат измерения;

$X_{\text{д}}$ — действительное значение физической величины, полученное экспериментально из предположения, что оно наиболее близко к истинному значению ФВ.

Относительная погрешность δ определяется по формуле

$$\delta = \pm \frac{\Delta}{X_{\text{д}}}.$$

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



ограничено из-за ее непостоянства (в большинстве случаев). 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 γ , %, определяется из соотношения

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

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

Например, $X_N = X_{\max}$, где X_{\max} — верхний предел измерений СИ, если нижний предел СИ — нулевое значение односторонней шкалы прибора.

В качестве истинного значения $X_{\text{ист}}$ при многократных (n) измерениях параметра выступает его среднее арифметическое значение \bar{X} :

$$X_{\text{ист}} \approx \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i.$$

Величина $X_{\text{изм}}$, полученная в одной серии измерений, является случайным приближением к ее истинному значению. Для оценки ее возможных отклонений от истинного значения определяют опытное среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / n(n-1)}.$$

Для оценки рассеяния отдельных результатов X_i измерения относительно среднего \bar{X} определяют СКО по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \text{ при } n \geq 20$$

или по формуле

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \text{ при } n < 20.$$

Приведенные выражения для определения СКО соответствуют центральной предельной теореме теории вероятностей, согласно которой

$$S_{\bar{X}} = S\sqrt{n},$$

т.е. 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. Кроме того, величина S_x используется при оценке погрешностей *окончательного результата*, а S — при оценке погрешности *метода измерения*.

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.

Так как случайные погрешности результатов измерений являются случайными величинами, в основе их обработки лежат методы теории вероятностей и математической статистики.

Случайная погрешность характеризует сходимость результатов измерений, а совместно с систематической — точность измерений.

Промах — погрешность результата отдельного измерения, входящего в ряд измерений, которое для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда.

Случайная $\Delta_{сл}$ и систематическая $\Delta_{сист}$ составляющие погрешности измерения проявляются одновременно.

Цель измерений — получение оценки истинного значения измеряемой величины. Оценка может осуществляться методами вычисления неопределенности (РМГ 43—2001) или характеристик погрешности. **Неопределенность измерений** — параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине. Последовательность действий при оценивании характеристик погрешности и вычислении неопределенности измерений одинакова.

4. 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.

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 документации.

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, М, С) 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.

Примеры обозначения классов точности в документации и на средстве измерения приведены в табл. 1.7.

Таблица 1.7 — Примеры обозначения классов точности

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