

ЛЕКЦИЯ №4

Метрологические характеристики средств измерений

Все средства измерений, независимо от их конкретного исполнения, обладают рядом общих свойств, необходимых для выполнения ими их функционального назначения. Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называются метрологическими характеристиками. Комплекс нормируемых метрологических характеристик устанавливается таким образом, чтобы с их помощью можно было оценить погрешность измерений, осуществляемых в известных рабочих условиях эксплуатации посредством отдельных средств измерений или совокупности средств измерений, например автоматических измерительных систем.

Одной из основных метрологических характеристик измерительных преобразователей является статическая характеристика преобразования (иначе называемая функцией преобразования или градуировочной характеристикой). Она устанавливает зависимость $y = f(x)$ информативного параметра y выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра x входного сигнала.

Статическая характеристика нормируется путем задания в форме уравнения, графика или таблицы. Понятие статической характеристики применимо и к измерительным приборам, если под независимой переменной x понимать значение измеряемой величины или информативного параметра входного сигнала, а под зависимой величиной y – показание прибора.

Если статическая характеристика преобразования линейна, т.е. $y = Kx$, то коэффициент K называется чувствительностью измерительного прибора (преобразователя). В противном случае под чувствительностью следует понимать производную от статической характеристики.

Важной характеристикой шкальных измерительных приборов является цена деления, т.е. то изменение измеряемой величины, которому соответствует перемещение указателя на одно деление шкалы. Если чувствительность постоянна в каждой точке диапазона измерения, то шкала называется равномерной. При неравномерной шкале нормируется наименьшая цена деления шкалы измерительных приборов. У цифровых приборов шкалы в явном виде нет, и на них вместо цены деления указывается цена единицы младшего разряда числа в показании прибора.

Важнейшей метрологической характеристикой средств измерений является погрешность.

Погрешности измерений

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта (согл. 16263-70).

Результат любого измерения отличается от истинного значения физической величины на некоторое значение, зависящее от точности средств и

методов измерения, квалификации оператора, условий, в которых проводилось измерение, и т. д. Отклонение результата измерения от истинного значения физической величины называется погрешностью измерения.

Поскольку определить истинное значение физической величины в принципе невозможно, т. к. это потребовало бы применения идеально точного средства измерений, то на практике вместо понятия истинного значения физической величины применяют понятие действительного значения измеряемой величины, которое настолько точно приближается к истинному значению, что может быть использовано вместо него. Это может быть, например, результат измерения физической величины образцовым средством измерения.

Абсолютная погрешность измерения – это разность между результатом измерения и действительным (истинным) значением физической величины:

$$\Delta = x_u - x$$

Относительная погрешность измерения – это отношение абсолютной погрешности к действительному (истинному) значению измеряемой величины (часто выраженное в процентах):

$$\delta = (\Delta / x_u) 100\%$$

Приведенная погрешность – это выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению L – условно принятому значению физической величины, постоянному во всем диапазоне измерений:

$$\gamma = (\Delta / L) 100\%$$

Для приборов с нулевой отметкой на краю шкалы нормирующее значение L равно конечному значению диапазона измерений. Для приборов с двухсторонней шкалой, т. е. с отметками шкалы, расположенными по обе стороны от нуля значение L равно арифметической сумме модулей конечных значений диапазона измерения.

Погрешность измерения (результатирующая погрешность) является суммой двух составляющих: систематической погрешности и случайной погрешности.

Систематическая погрешность – это составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины. Причинами появления систематической погрешности могут являться неисправности средств измерений, несовершенство метода измерений, неправильная установка измерительных приборов, отступление от нормальных условий их работы, особенности самого оператора. Систематические погрешности в принципе могут быть выявлены и устранены. Для этого требуется проведение тщательного анализа возможных источников погрешностей в каждом конкретном случае.

Систематические погрешности подразделяются на методические, инструментальные и субъективные.

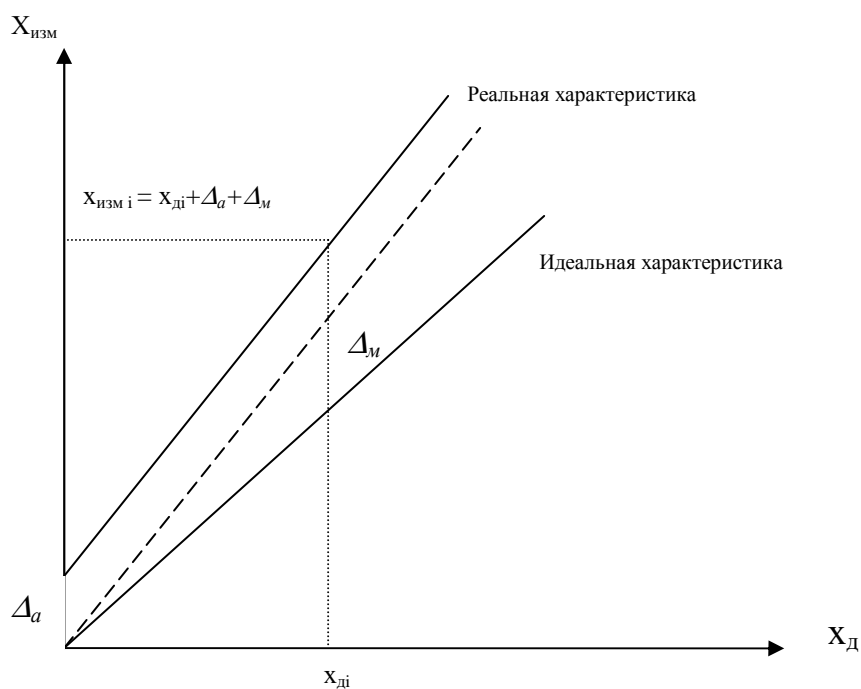
Методические погрешности происходят от несовершенства метода измерения, использования упрощающих предположений и допущений при выводе применяемых формул, влияния измерительного прибора на объект измерения. Например, измерение температуры с помощью термопары может

содержать методическую погрешность, вызванную нарушением температурного режима объекта измерения вследствие внесения термопары.

Инструментальные погрешности зависят от погрешностей применяемых средств измерения. Неточность градуировки, конструктивные несовершенства, изменения характеристик прибора в процессе эксплуатации и т. д. являются причинами основных погрешностей инструмента измерения. Дополнительные погрешности, связанные с отклонением условий, в которых работает прибор, от нормальных, отличаются от инструментальных (ГОСТ 8.009-84), т. к. они связаны скорее с внешними условиями, чем с самим прибором.

Субъективные погрешности вызываются неправильными отсчетами показаний прибора человеком (оператором). Например, погрешность от параллакса, вызванная неправильным направлением взгляда при наблюдении за показаниями стрелочного прибора. Использование цифровых приборов и автоматических методов измерения позволяет исключить такого рода погрешности.

Во многих случаях систематическую погрешность в целом можно представить как сумму двух составляющих аддитивной Δ_a и мультипликативной Δ_m .



Такой подход позволяет легко скомпенсировать влияние систематической погрешности на результат измерения путем введения отдельных поправочных коэффициентов для каждой из этих двух составляющих.

Случайная погрешность — это составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Наличие случайных погрешностей выявляется при проведении ряда измерений постоянной физической величины, когда оказывается, что результаты измерений не совпадают друг с другом. Часто случайные

погрешности возникают из-за одновременного действия многих независимых причин, каждая из которых в отдельности слабо влияет на результат измерения.

Во многих случаях влияние случайных погрешностей можно уменьшить путем выполнения многократных измерений с последующей статистической обработкой полученных результатов.

В некоторых случаях оказывается, что результат одного измерения резко отличается от результатов других измерений, выполненных при тех же контролируемых условиях. В этом случае говорят о грубой погрешности (промахе измерения). Причиной могут послужить ошибка оператора, возникновение сильной кратковременной помехи, толчок, нарушение электрического контакта и т. д. Такой результат, содержащий грубую погрешность необходимо выявить, исключить и не учитывать при дальнейшей статистической обработке результатов измерений.

Класс точности средства измерений – обобщенная характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей. Класс точности выбирается из ряда $(1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6) \cdot 10^n$, где $n = 1; 0; -1; -2$ и т. д. Класс точности может выражаться одним числом или дробью (если аддитивная и мультипликативная погрешности сопоставимы – например, $0,2/0,05$ – адд./мульти.).

Все средства измерений имеют определенные метрологические характеристики. Меры характеризуются номинальным и действительным значениями.

Номинальное значение меры - это значение величины, что указано на мере или приписано ей.

Действительное значение меры - это действительное значение величины, что воспроизводится мерой.

Измерительные приборы состоят из чувствительного элемента, который (находится под непосредственным действием физической величины, измерительного механизма и отсчетного приспособления. Отсчетное приспособление указывающего прибора имеет шкалу и указатель, что выполнен в виде материального стержня-стрелки, или в виде луча света светового указателя. Шкала имеет совокупность отметок и проставленных возле некоторых из них чисел отсчета, которые отвечают ряду последовательных и значений величины.

Основными метрологическими характеристиками измерительных приборов являются:

- цена делений шкалы;
- начальное и конечное значение шкалы;
- диапазон показаний;
- граница измерений;
- вариация показаний;
- стабильность средства измерения;
- измерительное усилие прибора;
- класс точности средства измерения.

Цена деления шкалы - это разница значений величины, что отвечает двум соседним отметкам шкалы. Чувствительность прибора определяется отношением сигнала на выходе прибора к вызванному им изменению измерительной величины.

Начальное и конечное значение шкалы - это наименьшее и наибольшее значение измеряемой величины, определяемое на шкале.

Диапазон показаний - это область значений измеряемой величины, для которой нормированы допустимые погрешности прибора.

Граница измерений - это наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Вариации показаний - это разница показаний прибора, которые отвечают данной точке диапазона измерений при двух направлениях медленных измерений показаний прибора.

Стабильность средства измерения - это качества средства измерения, что отображает неизменность во времени его метрологических характеристик.

Измерительное усилие прибора - это сила, что создается прибором при контакте с изделием и действует по линии измерения. Оно, как правило, вызывается пружиной, которая обеспечивает контакт чувствительного элемента прибора, например, измерительного наконечника, с поверхностью измеряемого объекта. При деформации пружины имеет место изменение усилия: разница между наибольшим и наименьшим значениями - это максимальное колебание измерительного усилия.

Класс точности средства измерения - это обобщена его характеристика, определенная границами допустимых и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерения, которые влияют на их точность и определяются стандартами на отдельные виды средств измерения. Класс точности, хотя и характеризует совокупность метрологических характеристик данного средства измерения, однако не определяет однозначно точность измерений, поскольку последняя зависит от метода измерения и условий их выполнения.

В стране ведется государственный реестр средств измерения. Делается это с целью:

- формирование рациональной номенклатуры средств измерения и государственных стандартных образцов, своевременного освоения новых типов измерительной техники и снятия из производства устаревших средств измерения;

- учета средств измерения и государственных стандартных образцов утвержденных типов и создания централизованных государственных фондов информационных данных о средствах измерения и стандартные образцы, которые допущены в производство и выпуск в обиход;

- обеспечение заинтересованных предприятий и организаций, в том числе национальных органов метрологической службы других стран, необходимой информацией относительно фонда государственного реестра.

Схема метрологических характеристик приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема метрологических характеристик

Особым средством измерений является эталон.

Эталон - это высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера вторым средствам измерений. Вот эталона единица величины передается *разрядным эталонам*, а вот их - *рабочим средствам измерений*.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие.

Первичный эталон - это эталон, воспроизводящий единицу физической величины с наивысшей точностью, возможной в данной области измерений на современном уровне научно-технических достижений. Первичный эталон может быть национальным (государственным) и международным.

Национальный эталон утверждается в качестве исходного средства измерения для страны национальным органом по метрологии.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также и между собой, что необходимо для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей. Сличению подлежат как эталоны основных величин системы СИ, так и производных. Установлены и периоды сличения. Например эталоны метра и килограмма сличают каждые 25 течение. А электрические и световые эталоны - один раз в 3 года.

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны. Размер воспроизводимой единицы вторичным эталоном сличается с государственным эталоном. *Вторичные эталоны* (их иногда называют "эталон-копии") могут утверждаться либо Госстандартом Украины, либо государственными научными метрологическими центрами, что связано с

особенностями их использования. *Рабочие эталоны* воспринимают размер единицы вот вторичных эталонов и в своей очередь служат для передачи размера менее точному рабочему эталону (или эталону более низкого разряда) и рабочим средствам измерений.

Самыми первыми официально утвержденными эталонами были прототипы метра и килограмма, изготовленные во Франции, которые в 1799 г. были переданы на хранение в Национальный архив Франции, поэтому их стали называть "метр Архива" и "килограмм Архива".

Для наглядности видов эталонов приведена данная схема (рис. 2).

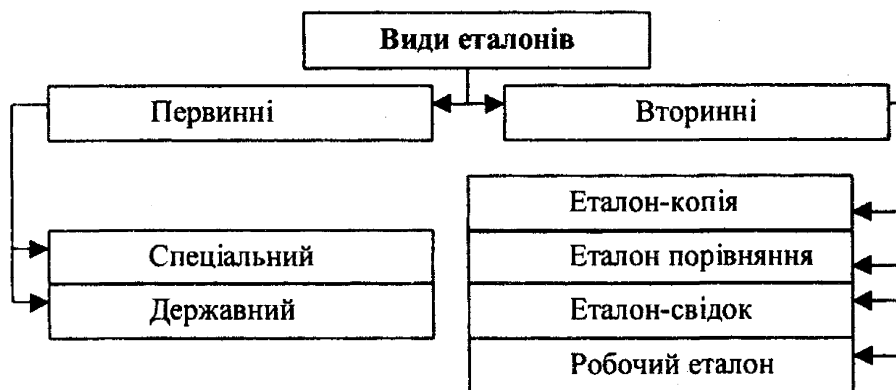


Рис. 2. Схема видов эталонов

Первичные эталоны.

Если эталон воспроизводит единицу с наиболее высокой в стране точностью, то он называется *первичным*. Первичные эталоны основных единиц воспроизводят единицу в соответствии с ее определением. Примером первичного эталона является комплекс средств измерений для воссоздания метра в длинах световых волн излучения криптона - 86.

Специальный эталон воспроизводит единицу в особенных условиях, в которых прямая передача размера единицы от существующих эталонов технически невозможная с необходимой точностью (высокое давление, температура и т. др.). Он заменяет в этих условиях первичный эталон.

Государственный эталон - это первичный или специальный эталон, официально утвержденный как выходной для страны. Государственные эталоны утверждаются Госстандартом страны и на каждый из них разрабатывается государственный стандарт.

Вторичные эталоны.

В метрологической практике очень распространенные вторичные эталоны, значения которых устанавливаются за первичными эталонами. Они создаются и утверждаются в тех случаях, когда это необходимо для организации проверочных работ, для сохранения и меньшего износа государственного эталона. Как пример вторичного эталона можно назвать эталон-копию единицы массы килограмма в виде платиноиридиевого веса и рабочий эталон килограмма, изготовленный из нержавеющей стали.

Эталон-копия - это вторичный эталон, предназначенный для сохранения единицы и передачи ее размера рабочим эталонам.

Эталон сравнения - это вторичный эталон, предназначенный для сравнения эталонов, которые по тем или другим причинам не могут быть непосредственно сравненные друг с другом.

Эталон-свидетель - это вторичный эталон, предназначенный для проверки сохранения государственного эталона, для замены на случай повреждения или потери. Эталон-свидетель используется лишь тогда, когда государственный эталон является невозпроизводимым.

Рабочий эталон - это вторичный эталон, предназначенный для сохранения единицы и передачи ее размера образцовым средствам измерения наиболее высокой точности, а при необходимости - наиболее точным рабочим мерам и измерительным приборам.

Вторичные эталоны реализуются в виде: комплекса средств измерения, одиночных эталонов, групповых эталонов и эталонных наборов.

Государственные эталоны сохраняются в метрологических Институтах и других органах государственной метрологической службы страны. С разрешения Госстандарта допускается их хранение и использование в органах ведомственной метрологической службы.

Кроме национальных эталонов единиц, физических величин существуют международные эталоны, которые сохраняются в Международном бюро мер и весов. Программой деятельности Международного бюро предусмотрены систематические международные сличения национальных эталонов наибольших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами и между собой.

Выбор средств измерения в технике.

При контроле качеств материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий, технологического процесса и готовых изделий чаще всего используются такие средства измерения.

Для измерения линейных величин: линейка измерительная металлическая, микрометр, штангенрейсмус, штангенциркуль, толщиномер индикаторный, курвиметр, микроскоп.

Для измерения угловых величин: угломер с нониусом, микроскоп.

Для измерения массы - ваго технические и лабораторные.

Для измерения силы - разрывные машины и динамометры разных конструкций.

Для измерения давления - манометры разных конструкций.

Для измерения температуры - термометры ртутные стеклянные лабораторные, термометры биметаллические, потенциометры автоматические самозаписывающие и показывающие разных конструкций, термопары, термокраски.

Для измерения времени - секундомеры разных конструкций, часы песчаные настольные и тому подобное.

Для измерения влажности воздуха - гигрометры, гигрографы, психрометры разных конструкций.

Для измерения скорости перемещения воздуха - анемометры разных конструкций.

Для измерения электрических величин: амперметры, вольтметры и тому подобное.

Схема выбора средств измерения приведена на рис. 3.



Рис. 3. Схема выбора средств измерения в технике

При выборе средств измерения учитываются их метрологические параметры, эксплуатационные факторы (организационная форма контроля, особенности конструкции и размеры изделий, производительность оборудования и др.), а также экономические рассуждения. Важное значение имеет правильный выбор допустимых погрешностей средств измерения: недостаточная точность средств измерения приводит к снижению качества продукции и повышению ее себестоимости, высокая точность повышает трудоемкость и стоимость измерений и ведет к увеличению затрат на производство.

Выбор средств измерения проводится в соответствии с государственными стандартами, которые устанавливают допустимую погрешность измерений в зависимости от предельных отклонений контролируемого параметра.