

Курс «Технические средства автоматизации»

Лекция

«Основные понятия об измерениях и средствах измерения»

Измерения являются основой построения систем управления технологическими процессами. Без знания текущих параметров невозможно контролировать и управлять ходом процесса.

Наука об измерениях, методах, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности называется *метрологией*.

Слово "метрология" образовано из двух греческих слов: "метрон" – мера и "логос" – учение. Дословный перевод слова "метрология" – учение о мерах.

Измерить какую-либо величину, значит сравнить её с другой однородной величиной (мерой), принятой за единицу измерения.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Одной из главных задач метрологии является обеспечение единства измерений. Решение этой задачи невозможно без создания эталонной базы измерений.

Эталон (фр.(фр. etalon) - средство измерений(фр. etalon) - средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы, а так же передачу её размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью называется **первичным**. Все остальные разновидности эталонов называют вторичными (эталон копия, эталон сравнения, рабочий эталон). В России, как и в подавляющем большинстве стран мира, применяют Международную систему единиц, сокращенно СИ (от начальных букв русской транскрипции французского наименования Systeme Internationale). В качестве основных единиц были выбраны *метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль*, а все производные единицы являлись когерентными. Когерентные единицы образуются из уравнений связи между величинами, в которых числовые коэффициенты приняты равными 1 при подстановке единиц СИ.

Измерение – это нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. Измерения обычно осуществляются на естественных или созданных человеком объектах, которые называют объектами измерений.

Объект измерения – это сложное явление или процесс, характеризующийся множеством отдельных физических величин (параметров объекта), каждая из которых может быть измерена в отдельности, но в реальных условиях действует на измерительное устройство совместно со всеми остальными параметрами.

Физическую величину, которая выбрана для измерения, называют **измеряемой величиной**.

Процесс решения любой задачи измерения включает в себя, как правило, три этапа:

- подготовку;
- проведения измерения (измерительного эксперимента);
- обработку его результатов.

В процессе проведения самого измерения объект измерения ОИ и средство измерений СИ, способное измерять выбранную физическую величину X , приводится во взаимодействие (рис. 1).

В результате измерения получают значение физической величины, которая представляет собой оценку физической величины в виде некоторого числа принятых для ее измерения единиц.

Результат измерения – это значение физической величины, найденное путем ее измерения.

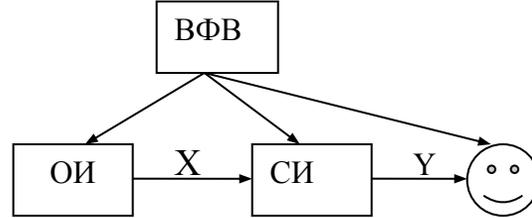


Рис. 1.

Значение физической величины представляет собой оценку этой величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

Различают истинное и действительное значения физической величины.

Истинное значение физической величины – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

В философском аспекте истинное значение всегда остается неизвестным, а совершенствование измерений позволяет приближаться к истинному значению физической величины.

Действительное значение физической величины – значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Информацию о значении физической величины, получаемую при измерении, называют *измерительной информацией*. Средство измерений СИ представляет измерительную информацию в виде некоторого сигнала, воспринимаемого человеком или различными техническими устройствами – потребителями измерительной информации.

Под *сигналом* в общем случае понимают некоторый физический процесс, параметры которого содержат информацию.

Этот сигнал функционально связан с измеряемой физической величиной, поэтому его называют *сигналом измерительной информации*.

В процессе измерения на средство измерений, оператора и объект измерений воздействуют, как правило, различные внешние факторы – влияющие физические величины ВФВ.

Влияющей физической величиной называют физическую величину, не являющуюся измеряемой данным средством измерений, но оказывающую влияние на результат измерения этим средством.

Несовершенство использования средств измерений, неточность их градуировки, действие влияющих физических величин (температура окружающей среды, влажность воздуха, внешние электромагнитные поля, вибрация и т.п.), субъективные ошибки человека – оператора, осуществляющего измерения, и ряд других факторов являются причинами, обуславливающими неизбежное появление погрешности измерения.

Чтобы составить представление о выполненном или предполагаемом измерении, необходимо знать его основные характеристики (принцип измерений, метод измерений и погрешность (иногда точность) измерения).

Принцип измерений – совокупность физических явлений, на которых основано измерение.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Погрешность (или ошибка) измерения – отклонение результата измерения X от истинного значения $X_{и}$ измеряемой величины.

Классификация измерений

Измерения классифицируются по нескольким признакам.

а) По зависимости измеряемой величины от времени:

- *статические* (измеряемая величина остается постоянной во времени в процессе измерения);
- *динамические* (измеряемая величина изменяется в процессе измерения).

б) По сложившимся совокупностям измеряемых величин:

- *электрические;*
- *механические;*
- *теплотехнические;*
- *физико-химические;*
- *радиационные;*
- *и т.д.*

в) По условиям, определяющим точность результата:

- *измерения максимально возможной точности*, достижимой при современном уровне техники. Это измерения, связанные с созданием и воспроизведением эталонов, а также измерения универсальных физических констант;
- *контрольно-поверочные измерения*, погрешности которых не должны превышать заданного значения. Такие измерения осуществляются государственными и ведомственными метрологическими службами;
- *технические измерения*, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Технические измерения являются наиболее распространенными и выполняются во всех отраслях хозяйства и науки. К ним, в частности, относятся и технологические измерения.

г) По числу измерений (наблюдений), выполняемых для получения результата:

- измерения с однократным наблюдением (*обыкновенные*);
- измерения с многократными наблюдениями (*статистические*).

Под наблюдением при измерении в данном случае понимают экспериментальную операцию, выполняемую в процессе измерения, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих совместной обработке для получения результатов измерения.

д) По способу получения результата (по виду уравнения измерения):

- *прямые измерения* – измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных. В процессе прямого измерения объект измерения приводится во взаимодействие со средством измерений и по показаниям последнего, отсчитывают значение измеряемой величины или указанные измерения умножаются на постоянный коэффициент для определения значения измеряемой величины. Математически прямое измерение можно описать выражением (2). **Примером** прямых измерений могут служить: измерение длины линейкой, массы с помощью весов, температуры термометром и т.д. К прямым измерениям относят измерения подавляющего большинства параметров химико-технологических процессов.
- *косвенные измерения* - измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Примером косвенных измерений могут служить измерения: плотности однородного тела по его массе и объему, электрического сопротивления по падению напряжения и силе тока и т.д.

В современных микропроцессорных измерительных приборах очень часто вычисления искомой измеряемой величины производятся “внутри” прибора. Измерения, проводимые такого рода средствами измерений, относятся к прямым измерениям. К косвенным измерениям относятся только такие измерения, при которых расчет осуществляется вручную или автоматически, но после получения результатов прямых измерений. При этом может быть учтена отдельно погрешность расчета.

- *совокупные измерения* – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величины находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Пример. Нахождение сопротивлений двух резисторов по результатам измерения их сопротивлений при последовательном и параллельном включении резисторов.

$$R1=R_1+R_2$$

$$R2= (R_1 * R_2) / (R_1 + R_2)$$

- *совместные измерения* – проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для нахождения зависимости между ними.

Пример. При определении зависимости сопротивления резистора от температуры используют известное выражение:

$$R_t = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot (t - 20) + \beta \cdot (t - 20)^2]$$

где R_t – сопротивление резистора при некоторой температуре t ; R_{20} – сопротивление резистора при температуре 20°C ; α и β – температурные коэффициенты. Искомые значения R_{20} , α и β находят решением системы трех уравнений, составленной для трех различных значений температуры. Здесь сопротивление R_t и температура t измеряются прямым способом.

Методы измерений

Прямые измерения, являясь самостоятельными и наиболее распространенными, в то же время служат основой для более сложных видов измерений (косвенных, совокупных и совместных). В связи с этим методы прямых измерений являются общими для всех видов измерений и в дальнейшем будут называться просто методами измерений.

С учетом того, что метод измерений представляет собой совокупность приемов использования принципов и средств измерений, различают два метода измерений:

- метод непосредственной оценки;
- метод сравнения с мерой.

Классификационным признаком в таком разделении методов является наличие или отсутствие при измерениях меры.

Метод непосредственной оценки (отсчета) – метод измерения, в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (*прибор прямого действия* – измерительный прибор, в котором сигнал измерительной информации движется в одном направлении, а именно с входа на выход).

Метод сравнения с мерой – метод измерения, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Методы сравнения в зависимости от наличия или отсутствия при сравнении разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, подразделяют на **нулевой и дифференциальный**.

Нулевой метод – это метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (*прибор сравнения*, или *компаратор*, - измерительный прибор, предназначенный для сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно).

Дифференциальный метод – это метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность между измеряемой величиной и известной, воспроизводимой мерой.

Как в нулевом, так и в дифференциальном методе могут быть выделены методы противопоставления, замещения и совпадения.

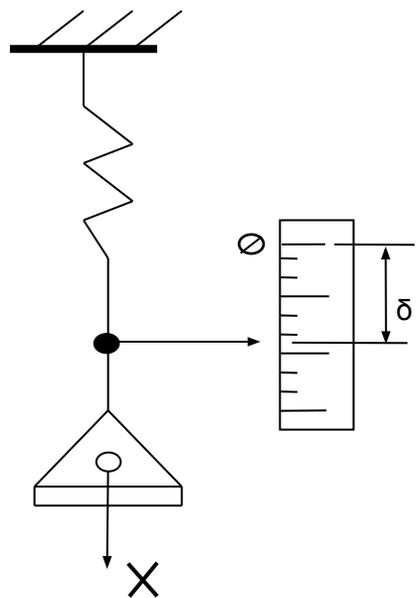


Рис. 2

Метод непосредственной оценки с отчетом показаний по шкале прибора характеризуется тем, что лицу, осуществляющему измерение, не требуется каких-либо вычислений, кроме умножения показаний прибора на некоторую постоянную величину, соответствующую данному прибору. Примером данного метода измерений может служить взвешивание груза **X** на пружинных весах (рис.2). Масса груза здесь определяется на основе измерительного преобразования по значению δ деформации пружины.

Процесс измерения по методу непосредственной оценки характеризуется быстротой, что делает его часто незаметным для практического использования. Однако точность измерения обычно оказывается невысокой из-за воздействия влияющих величин и необходимости градуировки шкал приборов.

Нулевой метод измерения характеризуется равенством воздействий, оказываемых измеряемой величиной и мерой, на прибор, используемый для сравнения. Различают нулевые методы противопоставления, замещения и совпадения. Первые два из этих методов иногда называют соответственно **методами полного противопоставления и полного замещения**

Примером **нулевого метода противопоставления** может служить взвешивание груза X на равноплечных весах (рис.3), когда масса груза определяется массой гирь, уравновешивающих воздействие груза на рычаг весов. Состояние равновесия определяется по положению указателя нуль-индикатора, который в этом случае должен находиться на нулевой отметке.

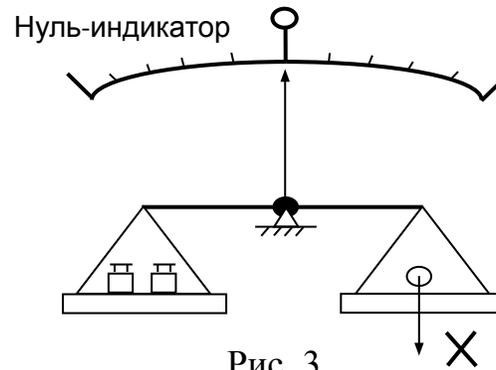


Рис. 3

Весы при таком измерении выполняют функцию компаратора. Данный метод используется для измерения самых разнообразных физических величин и, как правило, обеспечивает большую точность измерения, чем метод непосредственной оценки, за счет уменьшения влияния на результат измерения погрешностей средства измерений, которое в данном случае осуществляют только сравнение воздействий, создаваемых измеряемой величиной и мерой.

Недостатком данного метода является необходимость иметь большое число мер, различных значений (т. е. необходимость воспроизводить любое значение известной физической величины без существенного понижения точности). Как правило, это связано с существенными трудностями.

Классификация средств измерений

Средство измерений – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

В метрологии средства измерений принято классифицировать по виду, принципу действия и метрологическому назначению.

Различают следующие **виды средств измерений**: меры, измерительные устройства, измерительные установки и измерительные системы.

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Меры подразделяются на **однозначные** и **многозначные**.

Самым многочисленным видом средств измерений являются измерительные устройства, применяемые самостоятельно или в составе измерительных установок и измерительных систем.

В зависимости от формы представления сигнала измерительной информации измерительные устройства подразделяют на измерительные приборы и измерительные преобразователи.

Измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительная информация обычно представляется в виде перемещения указателя по шкале, перемещения пера по диаграмме или в виде цифр, появляющихся на табло.

Измерительные приборы могут быть классифицированы по ряду признаков:

По методу измерения:

- прямого действия;
- сравнения.

По способу представления величин:

- аналоговый;
- цифровой.

По способу представления показаний:

- показывающий;
- регистрирующий (самопишущий, печатающий).

По типу вычислительного устройства:

- суммирующий;
- интегрирующий;
- вычисляющий сложные функции.

Измерительный преобразователь – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Измерительная информация представляется преобразователями обычно в виде сигналов постоянного или переменного тока, или напряжения, давления сжатого воздуха или жидкости, частоты гармонических колебаний, последовательности прямоугольных импульсов и т.п.

Измерительные преобразователи классифицируют:

По методу измерения:

- прямого действия;
- сравнения.

По способу представления величин:

- аналоговый;
- цифровой.

По положению в измерительной системе:

- первичный;
- промежуточный;
- передающий.

Первичный преобразователь (датчик) – это преобразователь стоящий первым в измерительной цепи, как правило, в контакте с измеряемой средой. Их иногда называют чувствительными элементами.

Промежуточный преобразователь – предназначен для преобразования измерительного сигнала, выработанного первичным преобразователем, для дальнейшего использования (измерения). Занимает место в измерительной цепи после первого.

Передающий преобразователь – вырабатывает сигнал удобный для подачи в измерительный прибор (обычно находится в самом приборе).

Помимо приведенной классификации измерительных устройств используют и другие.

По роду измеряемой величины измерительные устройства подразделяют на амперметры – для измерения тока, термометры – для измерения температуры, манометры – для измерения давления, концентраторы – для измерения концентрации вещества и т.п.

По степени защиты измерительные устройства бывают в нормальном (обыкновенном), пыле-, водо-, взрывозащитные, герметическом и т.д. исполнении.

Кроме рассмотренной классификации средств измерений по виду существенной является классификация **по принципу действия.**

Принципом действия средства измерений называют физический принцип, положенный в основу построения средств измерения данного вида, Принцип действия обычно находит отражение в названии средства измерений. Например: термоэлектрический термометр, деформационный манометр, электромагнитный расходомер и т.п.

И, наконец, существенной с позиций метрологии является классификация средств измерений **по метрологическому назначению**, в соответствии с которой принято различать образцовые и рабочие средства измерений.

Рабочее средство измерения - средство, применяемое для измерений, не связанных с передачей размера единиц. Рабочие средства измерений – это все громадное многообразие измерительных приборов, преобразователей, измерительных установок и систем, применяемых во всех областях деятельности человека.

Образцовое средство измерений – мера, измерительный прибор, измерительный преобразователь, служащее для поверки по нему других (как рабочих, так и образцовых меньшей точности) средств измерений и утвержденное в качестве образцового.

Погрешности измерений

Погрешностью называют отклонение результата измерений от действительного (истинного) значения измеряемой величины.

Следует иметь в виду, что истинное значение физической величины считается неизвестным и применяется в теоретических исследованиях. Действительное значение физической величины устанавливается экспериментально в предположении, что результат измерения максимально приближается к истинному значению.

Точность измерений – одна из характеристик качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности результата измерения.

По характеру проявления все погрешности делят на:

Случайные - имеют случайную природу и причина их неизвестна. Это погрешности, принимающие при повторных измерениях различные значения, возникающие из-за вибрации, влияния электромагнитных полей и т.д. Случайные погрешности нельзя исключить из результатов измерений, но можно несколько уточнить, используя методы оценки случайной погрешности. В появлении таких погрешностей не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения. Поэтому для получения результата, минимально отличающегося от истинного значения измеряемой величины, проводят многократные измерения физической величины с последующей математической обработкой экспериментальных данных.

Прوماхи (грубые) – вызваны неправильными отсчетами по прибору. Это случайная погрешность результата отдельного наблюдения, входящего в ряд измерений, которая для данных условий резко отличается от остальных результатов этого ряда. Прوماхи, как правило, возникают из-за ошибок или неправильных действий оператора (его психофизиологического состояния, неверного отсчёта, считывания показаний с соседней шкалы прибора, ошибок в записях или вычислениях, неправильного включения приборов или сбоя в их работе и др.). Возможной причиной возникновения грубых погрешностей также могут быть кратковременные резкие изменения условий проведения измерений. Если промахи обнаруживаются в процессе измерений, то результаты, их содержащие, отбрасывают. Однако чаще всего промахи выявляют только при окончательной обработке результатов измерений с помощью специальных статистических критериев. Для уменьшения промахов необходимо проводить наблюдение два-четыре раза.

Систематические - обусловлены несовершенством методов определения, конструкции прибора. Эти погрешности, остающиеся постоянными или изменяющиеся по определённому закону, т.е. закономерно изменяющиеся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Различают инструментальные погрешности и погрешности вследствие внешних причин. Систематические погрешности могут быть предсказаны, обнаружены и, благодаря этому, почти полностью устранены введением соответствующей поправки или регулировкой средства измерения.

По способу выражения, погрешности измерительных приборов делятся на:

- абсолютные;
- относительные;
- приведённые.

Абсолютная погрешность (определяется в единицах измеряемой величины) - это разность между показаниями прибора A_i и действительным значением A_0 измеряемой величины по показаниям образцовых приборов:

$$\Delta = |A_i - A_0|.$$

Абсолютная погрешность не может в полной мере служить показателем точности измерений, так как одно и то же её значение, например $\Delta x = 0,5\text{мм}$ при $x = 100\text{мм}$ соответствует достаточно высокой точности измерений, а при $x = 1\text{ мм}$ – низкой. Поэтому и вводится понятие относительной погрешности.

Относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности Δ к истинному показанию образцового прибора A_0 , выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_0} \cdot 100\%$$

Эти формулы справедливы при условии, что $\Delta \ll A_0$.

Эта наглядная характеристика точности результата измерения не годится для нормирования погрешности средства измерения, так как при изменении значений A_0 принимает различные значения вплоть до бесконечности при $A_0 = 0$. В связи с этим для указания и нормирования погрешностей средств измерений используется ещё одна разновидность погрешности – приведённая.

Приведённая относительная погрешность – это отношение абсолютной погрешности к диапазону шкалы прибора, выраженное в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta}{N_k - N_n} \cdot 100\%$$

где N_n , N_k - начальное и конечное значение шкалы прибора (нормирующее значение прибора).

Наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений называется **предел измерений** прибора

По влиянию внешних условий различают основную и дополнительную погрешности средства измерений.

Основной называется погрешность средства измерений, определяемая в нормальных условиях его применения. Для каждого средства измерений в нормативно-технических документах оговариваются условия эксплуатации – совокупность влияющих величин (температура окружающей среды, влажность, давление, напряжение, частота питающей сети и др.), при которых нормируется его погрешность.

Дополнительной называется погрешность средства измерений, возникающая вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин, т.е. дополнительная погрешность, увеличивающая общую погрешность прибора, возникает, если прибор работает в условиях, отличных от нормальных.

Качество устройства измерения оценивают классом точности, который указывается в паспорте или на циферблате.

Класс точности – это обобщённая характеристика средства измерений, выражаемая пределами допускаемых значений его основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

Чаще всего под классом точности понимают значение максимально допустимой приведённой относительной погрешности.

Классы точности приборов лежат в диапазоне от 0,2 до 4. Наибольшее распространение получили приборы с классами точности 0,2; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5. Чем меньше класс точности, тем точнее прибор.

В зависимости от класса точности приборы делятся на эталонные, образцовые и рабочие.

Рабочие приборы предназначены для практических целей измерений физических величин.

Образцовые приборы предназначены для поверки и градуировки по ним рабочих приборов.

Эталонные приборы служат для воспроизведения и хранения единиц измерений с наивысшей точностью, а также для поверки образцовых приборов.

Поверка – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям.

Поверке подвергают средства измерений, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору. Класс точности рабочего эталона должен быть выше класса точности поверяемого прибора не менее, чем в 5 раз. Допускается использовать рабочий эталон с классом точности в 3 раза выше класса точности поверяемого прибора при условии введения поправок в показания рабочего эталона.

Градуировка - это операция, при помощи которой делениям шкалы прибора придают значения, выраженные в установленных единицах измерения.