

Когда Вы можете измерить то, о чем говорите, и можете записать это в цифрах, Вы знаете, о чем говорите; но когда Вы не можете это измерить, не можете записать в цифрах, Ваши знания скудны и неудовлетворительны.

Лорд Кельвин

ВВЕДЕНИЕ

Современный уровень автоматизации технологических процессов характеризуется применением большого числа средств контроля технологических параметров. Применительно к химической технологии такими средствами являются расходомеры, датчики температуры и давления, уровнемеры. В соответствии с современной терминологией вышеперечисленные средства контроля называют полевыми.

По сравнению с другими элементами измерительной цепи датчики температуры, давления, расхода, уровня весьма многочисленны и достаточно сложны в эксплуатации.

Каждая категория датчиков имеет большое число модификаций по виду чувствительных элементов, по диапазону измеряемых параметров, по конструктивному оформлению и другим характеристикам. В этом можно убедиться при изучении каталогов фирм-производителей приборной продукции.

В настоящее время в России и в других странах наблюдается весьма быстрое развитие приборостроения по всем категориям датчиков.

В России к числу наиболее перспективных производителей средств контроля технологических параметров можно отнести «Элемер» (г. Зеленоград), «Тесей» (г. Обнинск), «Метран» (г. Челябинск), Арзамасский приборостроительный завод (г. Арзамас), НПП «Сенсор» (г. Заречный), СКБ «Приборы и системы» (г. Рязань), ЗАО «Лимако» (г. Тула).

Зарубежные фирмы-производители приборостроительной продукции широко представлены на Российском рынке в виде соответствующих представительств. Это фирма Siemens (Германия), Yokogawa (Япония), Emerson (США), KROHNE (Германия), Smar (Бразилия), ABB (США), Honeywell (США), Endress+Hauser (Германия) и др.

Все перечисленные российские и зарубежные фирмы, соревнуясь между собой и учитывая требования производства,

с каждым годом производят приборы с новыми чувствительными элементами, с более высоким уровнем точности, с набором различных новых функций.

Автор настоящей книги попытался учесть особенности современных датчиков температуры, давления, расхода, уровня среды, обращая внимание студентов, а также специалистов предприятий на новые возможности приборов.

Одним из первых учебников, посвященных средствам контроля технологических параметров, была книга М. В. Кулакова «Технологические измерения и приборы для химических производств», которая была издана в 1974 г. Подобный материал изложен также и в других учебниках.

В тоже время на данный момент отсутствует учебник, в котором бы был изложен современный материал по указанной выше тематике.

Настоящий учебник может служить не только как учебное пособие для студентов, но и как справочное пособие для специалистов промышленных предприятий при выборе датчиков температуры, давления, расхода и уровня среды.

Как автор выражаю большую благодарность Н. И. Барановой, Ю. И. Гришину за большую помощь в оформлении материалов для книги.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О ПРОЦЕССЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

1.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Прогресс цивилизации зависит преимущественно от развития и совершенствования основных способностей человека. Нигде это не проявляется с такой очевидностью, как в управлении технологическими процессами, где потребности и знания человека действуют совместно, позволяя достичь того уровня прогресса, который имеется на сегодня, имея в виду развитие системы измерения, контроля и управления.

В этом параграфе, конечно, невозможно изложить полностью историю развития методов и средств измерений. Этому должна быть посвящена специальная монография. Поэтому моя задача в этом разделе состоит в кратком изложении лишь некоторых вех в поступательном развитии средств измерений, и поскольку настоящий учебник посвящен средствам измерения температуры, уровня, давления и расхода, то исторические аспекты приборостроения будут касаться именно таких средств измерения.

Создание средств измерений указанных выше параметров началось с открытия известными учеными и изобретателями физических эффектов.

Так, известный ученый Галилео Галилей в 1552 г., наблюдая за подъемом воды в трубке в результате нагрева шарика, создал прибор для наблюдения температуры. Прибор был назван термоскопом. В XVII в. флорентийский ученый Торричелли создал первый жидкостный термометр. Первый ртутный термометр создал в 1714 г. Д. Г. Фаренгейт. Работы и научные поиски в области термометрии продолжались во все последующие годы и на сегодня используются термометры со шкалами Цельсия (с 1742 г.), Фаренгейта, Кельвина и другие.

В соответствии с Международной практической температурной шкалой 1968 г. основной температурой является термодинамическая температура, единица которой — Кельвин (К). На практике часто применяется температура со шкалой Цель-

сия, единица которой — градус (С). Между температурой Цельсия и термодинамической температурой существуют следующие соотношения:

$$t(С) = T(К) - 273,5. \quad (1.1)$$

Современные промышленные средства измерения температуры исторически развивались и совершенствовались.

Так, в основе современных термоэлектрических термометров (термопар) лежит эффект Зеебека. Это явление возникновения ЭДС в замкнутой электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различной температуре [9].

Этот эффект был открыт в 1821 г. немецким физиком, родившимся в России, Зеебеком (Seebeck) Томасом Иоганном (1770–1831). В настоящее время термопары являются самыми распространенными промышленными датчиками температуры.

Изобретение термометров сопротивления как датчиков температуры произошло приблизительно через 50 лет после исследований, проведенных Ульмом Сименсом, который показал, что удельное сопротивление металлов обнаруживает четкую взаимозависимость от изменения температуры. В результате этих исследований платина и другие металлы (медь, никель) стали использоваться для создания термометров сопротивления в конце 1880 г.

Кстати, термометры сопротивления, как правило, используются в составе мостовых измерительных схем (МИС), которые были изобретены в 1833 г. Кристи (S. H. Christie). Однако называют эту схему по имени лорда Чарльза Уитстона (Wheatstone), который в 1843 г. первым воспользовался ею для измерения сопротивления.

Измерение температуры пирометрами излучения, иногда называемыми также просто пирометрами, по сравнению с измерением температуры контактными термометрами имеет то преимущество, что температуры определяются только по излучению от объекта. Поэтому температурное поле объекта измерения не искажается пирометром.

В основе работ по созданию пирометров лежат фундаментальные исследования выдающихся немецких ученых Густава Роберта Кирхгофа (1824–1887) и Макса Карла Эрнста Людвиг Планка (1858–1947).

Кирхгоф подробно изучил физику теплового излучения и сформулировал закон, названный его именем, связывающий спектральную энергетическую яркость любого объекта и спектральную энергетическую яркость абсолютно черного объекта.

Л. Планк также на высоком научном уровне изучал эффекты излучения тепловыми объектами и сформулировал закон, названный его именем, в котором нашли взаимосвязи всех основных параметров процесса излучения, в том числе постоянная Планка, постоянная Больцмана, скорость света в вакууме и другие величины.

На основе теоретических разработок великих ученых XIV в. Кирхгофа, Планка, Больцмана и других созданы промышленные пирометры излучения, которые до сих пор широко используются при анализе технологических процессов.

Среди средств измерения давления газа и жидкости почти 90% из них основаны на деформационном методе, при реализации которого используются

различные упругие элементы, такие как мембраны, трубчатые элементы, сильфоны и другие.

Началом их применения для задачи измерения давления принято считать 1845 г., когда швейцарский ученый Р. Шинц впервые предложил трубчатый чувствительный элемент [10].

Первое промышленное производство трубчатых деформационных манометров было организовано в 1849 г. французским ученым и предпринимателем Э. Бурдоном, который использовал при измерении давления согнутую плоскоовальную трубку, получившую название по имени автора — трубка Бурдона.

Также в 1849 г. в Германии Б. Шеффер запатентовал мембранный манометр, который вместе с трубкой Бурдона произвел революцию в промышленности по вопросу измерения давления.

В настоящее время деформационные средства измерения давления, являясь базовыми, продолжают совершенствоваться за счет применения новых деформационных чувствительных элементов, обладающих минимальным гистерезисом и снабженных современными электрическими преобразователями.

Измерение расхода технологических газов и жидких сред относится к наиболее распространенной задаче, связанной с мониторингом количественных характеристик технологических процессов.

История создания средств измерения расхода связана с именами известных ученых. Д. Бернулли в 1738 г. разработал основы гидравлики, Д. Поленин в начале XVIII в. изучил эффекты истечения жидкости через сужения, а еще ранее в начале XVII в. Е. Торричелли установил, что расход равен скорости среды, умноженной на площадь отверстия, что расход через сужения изменяется квадратично. Еще один известный ученый Джованни Батиста Вентури создал теорию сопла Вентури, а Генри Пито в 1732 г. изобрел трубку Пито, которая до настоящего времени используется в промышленных условиях.

Научные открытия, исследования перечисленных выше и других ученых легли в основу создания расходомеров переменного перепада давления, которые в течение сотни лет и до настоящего времени широко используются в практике расходомерии.

Были и оригинальные экспериментальные исследования, направленные на изучение методов контроля расхода. Известный ученый Фарадей в 1833 г. организовал интересный опыт по определению скорости движения речной воды в реке Темза (подробнее об этом эксперименте в разделе 5.3).

Достаточно популярным в области расходомерии является вихревой расходомер. Он возник в результате фундаментальных исследований [8] американского инженера, родившегося в Будапеште, Теодора фон Кармана (1881–1963). Т. Карман специализировался в области механики, воздухоплавания, космонавтики. В результате его работ в области вихреобразования за крылом летательного аппарата возник термин — дорожка Кармана, особенности которой составили основу современных вихревых расходомеров (см. раздел 5.5).

Рассуждая об истории развития уровнемеров, отметим, что первые примитивные средства измерения уровня появились в связи с необходимостью знать глубину озера, реки, залива. На судах, кораблях, шхунах появились так называемые футштоки — стержни с разметками глубины.

В дальнейшем при создании первых паровых машин их изобретатель Дж. Уатт (1736–1819) использовал визуальные вертикальные стеклянные колонки с разметками величины уровня.

С развитием промышленности на ряде предприятий появились поплавковые указатели уровня, которые по мере необходимости снабжались пневматическими, гидравлическими или электрическими преобразователями перемещения поплавка. При наличии таких преобразователей стали развиваться гидростатические и буйковые уровнемеры.

Настоящий прорыв в уравнивании произошел с изобретением радаров. В 1886 г. ученый-физик Генрих Герц обнаружил свойство радиоволн отражаться от металлических предметов, а изобретатель Кристиан Хюльсмайер в 1904 г. получил патент на устройство для обнаружения кораблей [7]. Но лишь в 1976 г. в Швеции появился первый радарный уровнемер.

1.2. ДАТЧИКИ И ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Любые технологические процессы всегда связаны с контролем большого количества параметров, которые характеризуют состояние технологического процесса и работу технологических аппаратов.

Рассмотрим некоторые типовые системы автоматического регулирования, контроля и управления.

На рисунке 1.1 представлена локальная система автоматического регулирования.

Данная система предназначена для стабилизации технологического параметра (например, величины давления), но в любом случае регулирование начинается с измерения этого параметра, значение которого подается на вход регулятора.

На рисунке 1.2 представлена система автоматического контроля технологического параметра с дублированием процесса контроля.

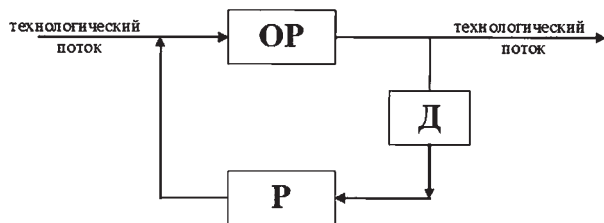


Рис. 1.1

Система автоматического регулирования:

ОР — объект регулирования; Д — датчик; Р — регулирующее устройство.

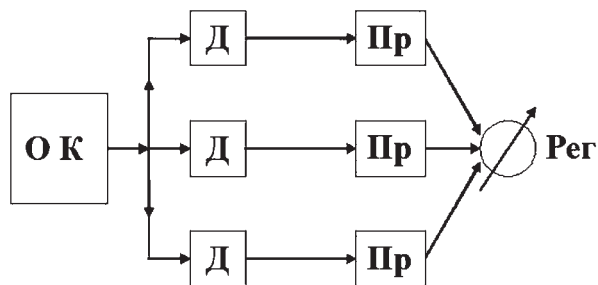


Рис. 1.2

Система автоматического контроля параметра с дублированием:
ОК — объект контроля; Д — датчик; Пр — преобразователь; Рег — регистратор.

Подобная система автоматического контроля применяется в случае, когда необходимо обеспечить повышенную надежность процесса измерения технологического параметра. Регистрирующее устройство снабжено блоком усреднения измеренного параметра.

На рисунке 1.3 приведена структурная схема автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП).

Как правило, при реализации АСУТП обеспечивается контроль большого количества параметров (до 500) с помощью датчиков температуры, давления, расхода, концентрации и других параметров. По некоторым из них осуществляется процесс регулирования с целью стабилизации наиболее значимых параметров.

Анализ приведенных систем показывает, что во всех случаях первостепенной задачей является измерение технологического параметра (параметров) с помощью датчиков. Датчик — это первичное звено всех систем контроля, управления и регулирования.

Существует много определений понятия «датчик». Так автор книги [6] приводит наиболее часто используемое, как он пишет, определение датчика. По его мнению, датчик — это устройство, воспринимающее сигналы и внешние воздействия и реагирующее на них.

Как пишет сам автор, фактически этот термин настолько широк, что охватывает почти все: от человеческого глаза до сложного измерительного устройства.

Поэтому в других источниках даются другие определения датчика. Так, в [2] под датчиком понимается конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы.

Однако более подходящим определением датчика можно считать следующее: датчик — это измерительное конструктивно оформленное устройство, преобразующее информацию о технологическом параметре в выходной сигнал, используемый для дальнейшего его преобразования или регистрации.

В составе датчика, как правило, имеется первичный чувствительный элемент, непосредственно реагирующий на изменение параметра.

Часто чувствительный элемент не является в прямом смысле самостоятельным элементом датчика, а совмещен с другими его элементами.

Как правило, большинство современных чувствительных элементов базируются на соответствующих физических эффектах. Поэтому число чувствительных элементов великое множество.

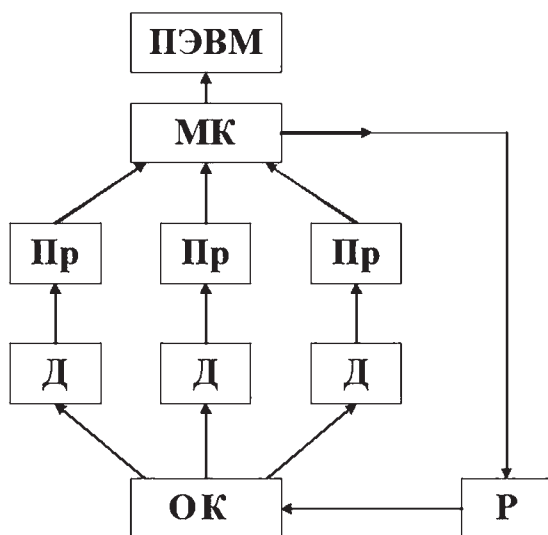


Рис. 1.3
Структурная схема АСУТП:

ОК — объект контроля (часто это технологический процесс); Д — датчик; Пр — преобразователь; МК — микропроцессорный контроллер; ПЭВМ — станция оператора (промышленная ЭВМ); Р — регулятор.

В качестве примеров чувствительных элементов можно назвать, например, спай термопар, медную, платиновую или никелевую проволоку в термометрах сопротивления. Чувствительные элементы бывают достаточно необычными. Например, в пламенно-ионизационном детекторе хроматографа чувствительным элементом является пламя водорода, в котором сгорают анализируемые органические компоненты, изменяя электропроводность пламени.

В ряде случаев чувствительному элементу дают название «сенсор». Так, в [1] записано, что сенсор — это элемент, который находится в непосредственном контакте с измеряемой величиной, которая может менять физические свойства датчика.

Но очевидно, что термином «сенсор» не корректно называть чувствительный элемент, так как очень часто сенсор выполняют конструктивно законченным устройством, в котором, например, лишь чувствительная пленка выполняет роль чувствительного элемента, а кроме пленки в сенсоре имеется керамическая основа, каркас, выводы и другие элементы, т. е. в таком исполнении сенсор является датчиком.

Рассмотрим особенности и характеристики датчиков.

Все датчики можно разделить на пассивные и активные.

Пассивный датчик не нуждается в дополнительном источнике энергии и в ответ на изменение измеряемого параметра на его выходе всегда появляется электрический сигнал. Примером пассивного датчика является термопара.

В отличие от пассивного датчика *активный датчик* для своей работы требует внешней энергии. Иногда их называют параметрическими. Примером активного датчика является термистор. При прохождении через него электрического тока его сопротивление может быть определено по изменению тока или падению напряжения.

Каждый датчик имеет ряд обобщающих характеристик и параметров, к числу которых относятся передаточная функция, диапазон измеряемых значений, метрологические характеристики, гистерезис, воспроизводимость, разрешающая способность, динамика и другие.

В этом параграфе коснемся лишь таких параметров, как передаточная функция датчика и диапазон измеряемых значений измеряемой величины.

Передаточная функция устанавливает взаимосвязь между выходным сигналом датчика $X_{\text{вых}}$ и измеряемым параметром как входным сигналом $X_{\text{вх}}$. Эта функция может быть как линейной, так и нелинейной (например, логарифмической, экспоненциальной или степенной).

Одномерную линейную функцию можно представить в виде соотношения

$$X_{\text{вых}} = a + bX_{\text{вх}}, \quad (1.2)$$

где a — постоянная составляющая (т. е. значение выходного сигнала при нулевом значении входного сигнала); b — коэффициент, учитывающий наклон характеристики.

Логарифмическая передаточная функция имеет вид

$$X_{\text{вых}} = a + b \ln(X_{\text{вх}}). \quad (1.3)$$

Экспоненциальная:

$$X_{\text{вых}} = ae^{kX_{\text{вх}}} . \quad (1.4)$$

Степенная:

$$X_{\text{вых}} = a_0 + a_1 X_{\text{вх}}^k , \quad (1.5)$$

где k — постоянное число.

Во многих случаях нелинейные датчики могут считаться линейными внутри ограниченного диапазона значений. Для более широкого диапазона значений нелинейная передаточная функция представляется в виде отрезков нескольких прямых линий. Это называется кусочно-линейная аппроксимация.

Диапазон измеряемых значений показывает максимально возможное значение входного сигнала, которое датчик может преобразовать в выходной сигнал, не выходя за пределы допускаемых погрешностей. Дополнительно об этом будет рассказано в разделе 1.3.

1.3. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

К ним относятся точность измерения, чувствительность контроля, быстродействие преобразования параметра, надежность процесса измерения, энергопотребление, ремонтпригодность.

Точность измерения характеризуется для каждого прибора классом точности. В свою очередь класс точности определяется величиной относительной приведенной погрешности:

$$A_{\pi} = \frac{x_{\pi} - x_0}{L} \cdot 100\% ,$$

где A_{π} — относительная приведенная погрешность; x_{π} — текущее значение измеряемого параметра; x_0 — действительное значение измеряемого параметра; L — нормирующее значение шкалы измерительного прибора. Если $A_{\pi} = 2,5\%$, то класс точности равен 2,5.

Классы точности 4,0; 2,5; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25 характеризуют рабочие средства измерения, классы от 0,05 до 0,005 характеризуют эталонные средства измерения, на основе которых организуется поверка рабочих средств измерения.

Кроме относительной приведенной погрешности в практике измерений используется относительная погрешность:

$$A_0 = \frac{x_{\pi} - x_0}{x_{\pi}} \cdot 100\% .$$

Она дает оценку точности в конкретной точке шкалы, а относительная приведенная погрешность — во всем диапазоне шкалы.

Основные способы установления пределов допускаемых погрешностей и обозначения классов точности средств измерений установлены ГОСТ 8.401-80. Основная погрешность СИ нормируется четырьмя различными способами. Чтобы четко уяснить себе эти различия и грамотно использовать нормируемые значе-

ния при расчете погрешностей результатов измерения, необходимо рассмотреть характер изменения относительной и абсолютной погрешности СИ в диапазоне значений измеряемой величины и обусловленные этим положения стандартов, регламентирующих нормирование погрешностей средств измерений.

Основное различие в способах нормирования обусловлено разным соотношением аддитивной и мультипликативной составляющих в погрешности тех или иных СИ.

При чисто мультипликативной полосе погрешностей СИ абсолютная погрешность $\Delta(x)$ возрастает прямо пропорционально текущему значению x измеряемой величины. Поэтому относительная погрешность, т. е. погрешность чувствительности такого преобразователя $\gamma_s = \frac{\Delta(x)}{x}$ оказывается постоянной величиной при любом значении x , и ее удобно использовать для нормирования погрешностей преобразователя и указания его класса точности.

Однако реально таких преобразователей не существует, так как невозможно создать преобразователь, полностью лишенный аддитивных погрешностей. Эти погрешности от шума, дрейфа, трения, наводок, вибраций и т. п. неизбежны в любых типах СИ. Поэтому для реальных СИ, погрешность которых нормируется лишь одним числом — погрешностью чувствительности γ_s — всегда указываются границы рабочего диапазона, в которых такая оценка остается приближенно справедливой.

При чисто аддитивной полосе погрешностей остается неизменной для любых значений x граница абсолютной погрешности нуля $\Delta(x) = \Delta_0 = \text{const}$. Но нормировать абсолютное значение Δ_0 неудобно, так как для многопредельных приборов оно будет различным для каждого поддиапазона, и в паспорте прибора пришлось бы перечислять эти значения для всех поддиапазонов.

Поэтому нормируют не абсолютное Δ_0 , а приведенное значение этой погрешности: $\gamma_0 = \Delta_0 / X_N$, где X_N — так называемое нормирующее значение измеряемой величины.

Значение приведенной погрешности γ_0 , выраженное в процентах, используется для обозначения класса точности таких СИ.

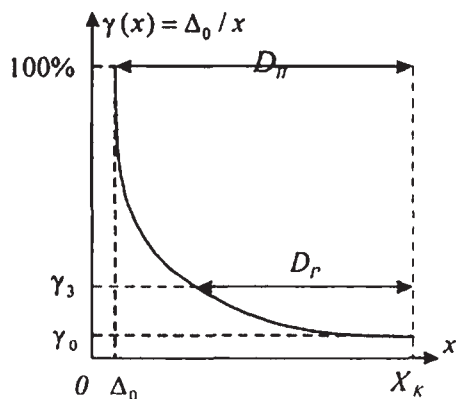


Рис. 1.4

Зависимость величины относительной погрешности от диапазона измерения

Однако полагать, как уже указывалось, что вольтметр класса точности 1,0 обеспечивает во всем диапазоне измерений получение результатов с погрешностью $\pm 1\%$, — грубейшая ошибка. В действительности текущее значение относительной погрешности $\gamma(x) = \Delta_0 / x$, т. е. растет обратно пропорционально x и изменяется по гиперболе (рис. 1.4). Таким образом, относительная погрешность $\gamma(x)$ равна классу точности прибора γ_0 лишь на последней отметке шкалы (при $x = X_K$). При $x = 0,1 X_K$ она в 10 раз больше γ_0 , а при дальнейшем уменьшении x стремится к бесконечности.

При уменьшении измеряемой величины x до значения абсолютной погреш-

ности нуля Δ_0 относительная погрешность результата измерения достигает $\gamma(x) = \frac{\Delta_0}{x} = \frac{\Delta_0}{\Delta_0} = 1 = 100\%$. Такое значение измеряемой величины, когда $x = \Delta_0$ и $\gamma(x) = 100\%$, называется порогом чувствительности СИ.

Отсюда полный диапазон D_{Π} измеряемых величин для любого преобразователя ограничивается снизу порогом чувствительности, а сверху — пределом измерений. Так как в области малых значений x погрешность измерений очень велика, то рабочий диапазон D_p ограничивают снизу таким значением x , где относительная погрешность измерений $\gamma(x)$ не превосходит еще некоторого заранее заданного значения γ_3 , равного, например, 4, 10 или 20%. Таким образом, рабочий диапазон назначается достаточно произвольно и составляет только некоторую часть полного диапазона СИ. В начальной же части шкалы измерения недопустимы, в чем и заключается отрицательное влияние аддитивной погрешности, не позволяющее использовать один и тот же преобразователь для измерения как больших, так и малых измеряемых величин.

На шкалах приборов могут быть следующие обозначения классов точности (рис. 1.5).

Иногда указывается абсолютная погрешность. Это характерно для измерителей массы.

Чувствительность — это отношение величины изменения выходного параметра к величине изменения входного параметра:

$$D = \frac{\Delta x_{\text{вых}}}{\Delta x_{\text{вх}}}.$$

Чувствительность может быть найдена расчетным путем или на основе статистических характеристик приборов, определяемых экспериментально (рис. 1.6).

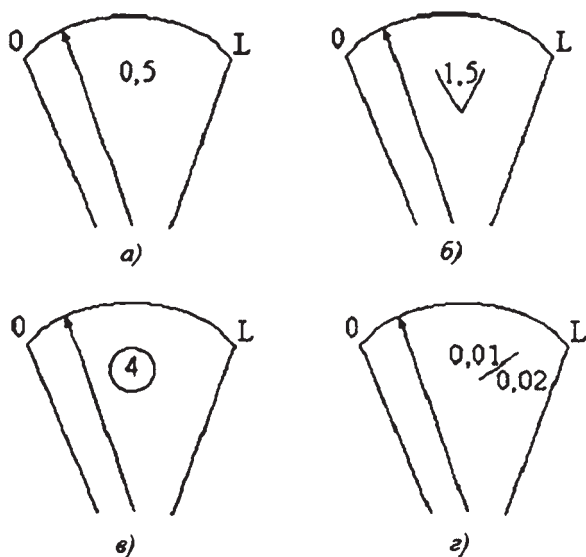


Рис. 1.5

Обозначение классов точности на шкалах приборов:

а — когда L в единицах некоторой размерности (градусах, миллиметрах и т. д.), оценка точности проводится по относительной приведенной погрешности; *б* — когда L в процентах, оценка точности проводится по относительной приведенной погрешности; *в* — характерно для электроизмерительных приборов (вольтметр, амперметр и др.); *г* — характерно для частотомеров, 0,01 — *с*, 0,02 — *д*.

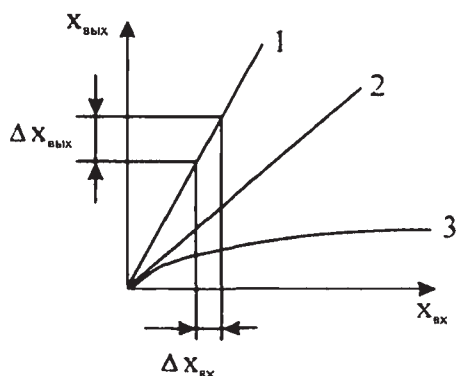


Рис. 1.6
Виды статических характеристик

Из анализа статических характеристик видно, что с увеличением крутизны характеристик чувствительность приборов увеличивается, для нелинейных характеристик чувствительность переменная.

В связи с этим при конструировании средств измерения стремятся выделить линейную часть характеристики, обеспечивая при этом равномерность шкалы.

Размерность чувствительности, как правило, сложная и включает размерность выходных и входных параметров.

Пример. Рассмотрим прибор измерения температуры (рис. 1.7).

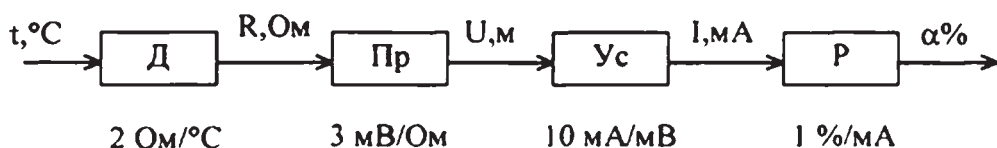


Рис. 1.7
Структурная схема прямого измерения:
Д — датчик; Пр — преобразователь; Ус — усилитель; Р — регистрирующее устройство.

Суммарная чувствительность найдется как произведение чувствительности звеньев

$$S_{\Sigma} = S_{\text{Д}} \cdot S_{\text{Пр}} \cdot S_{\text{Ус}} \cdot S_{\text{Р}} = 60 \frac{\%}{^{\circ}\text{C}}.$$

При параллельном соединении звеньев в приборе суммарная чувствительность находится как сумма чувствительностей отдельных звеньев.

Если вся измерительная цепь или часть ее охвачена отрицательной обратной связью, то суммарная чувствительность определится $S_{\Sigma} = \frac{S_{\text{ц}}}{1 + S_{\text{о.с.}} \cdot S_{\text{ц}}}$, а если положительной, то $S_{\Sigma} = \frac{S_{\text{ц}}}{1 - S_{\text{о.с.}} \cdot S_{\text{ц}}}$, где $S_{\text{ц}}$ — чувствительность цепи, $S_{\text{о.с.}}$ — чувствительность звена обратной связи.

Таким образом, чувствительность измерительных приборов во многом определяет возможности их использования в практике измерений.

При низкой чувствительности оказывается невозможным с высокой достоверностью характеризовать характер изменения параметра. При чрезмерно высокой чувствительности малейшие помехи могут искажать работу приборов.

Существует понятие порога чувствительности — это минимальное значение измеряемой величины, которое приводит к видимому изменению выходного параметра прибора (например, движение стрелки по шкале).

Быстродействие прибора характеризует время установления нового значения измеряемой величины.

График на рисунке 1.8а характеризует изменение входной величины во времени. График на рисунке 1.8б характеризует изменение выходной величины во времени, и, таким образом, это динамическая характеристика измерительного прибора. Быстродействие τ_6 складывается из двух величин: τ_n и τ_0 . τ_n — характеризует время транспортного запаздывания, τ_0 — характеризует инерционность средства измерения и часто называется постоянной прибора.

В практике конструирования приборов стремятся обеспечить максимальное быстродействие за счет уменьшения величины τ_n .

Конструкцию прибора стараются выполнять модульной, что в конечном счете определяет его ремонтпригодность. Ремонт сводится к замене неисправного модуля новым.

Элементы и блоки прибора должны потреблять минимум энергии, что уменьшает энергопотребление прибора в целом.

Способы повышения точности измерения подразделяются на две группы научно-технических направлений.

Первая группа — конструкторско-технологическое направление. Это направление связано с таким подходом к конструированию приборов, при котором обеспечивается высокая точность измерения.

Вторая группа — структурный подход. При этом обеспечивают такую структуру схем измерения, при которой достигается повышенная точность, например применение отрицательной обратной связи, применение параллельного соединения преобразователей параметров, при котором удается получить статистические данные о параметре и путем соответствующей обработки снизить величину доверительного интервала и обеспечить минимальную погрешность измерения.

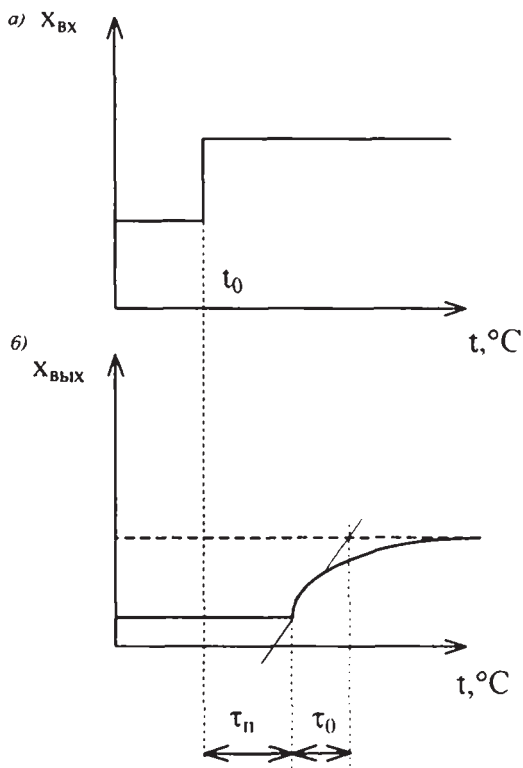


Рис. 1.8

Определение запаздывания средства измерения

1.4. МЕТРОЛОГИЯ — НАУКА ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

В соответствии с ГОСТ 1623-70 «ГСИ. Метрология. Термины и определения», *метрология* — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение — это нахождение значений физической величины (ФВ) опытным путем с помощью специальных технических средств.

Единство измерений — состояние измерений, характеризующееся тем, что их результаты выражаются в узаконенных единицах, размеры которых в установленных пределах равны размерам единиц, воспроизводимых первичными эталонами, и погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы [5].

Первым условием обеспечения единства измерений является представление результатов измерений в узаконенных единицах, которые были бы одними и теми же всюду, где приводятся измерения и используются их результаты.

Второе условие соблюдения единства измерений — необходимость выполнить их так, чтобы сопровождающие измерения погрешности их результатов были бы известны и не выходили бы с заданной вероятностью за установленные (допустимые) пределы [3].

Здесь уместно дать определение погрешности. Это отклонение результата измерений от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Важно также знать, что погрешность измерений не превышает пределов, установленных измерительной задачей. Поэтому вводится понятие достоверность измерений, характеризующее искомую величину с заданной достоверностью.

И кратко о термине точность измерения, которая характеризует близость к нулю погрешности результата измерения. В практическом плане важно при измерениях владеть измерительной информацией о физической величине, которая содержится в измерительном сигнале. Здесь необходимо определить понятие принцип, метод и средство измерения.

Принцип измерения определяется физическим явлением (эффектом), лежащим в основе измерений. Например, вихревой эффект, используемый при реализации вихревого принципа измерений расхода технологической среды.

Метод измерений — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализуемым принципом измерения.

Различают метод непосредственной оценки и методы сравнения.

Сущность метода непосредственной оценки состоит в том, что о значении измеряемой величины судят по показанию средства измерения, которое заранее отградуировано в единицах измеряемой величины.

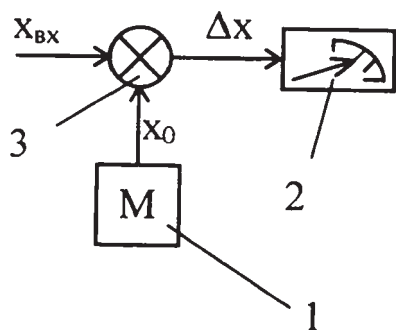


Рис. 1.9

Структурная схема метода дифференциального измерения

В промышленных приборах очень часто используются методы сравнения, а именно дифференциальный и нулевой.

На рисунке 1.9 показана структурная дифференциальная схема измерения. Здесь 1 — метрологически аттестованное средство измерения, обеспечивающее постоянство значений действительной величины x_0 , 2 — регистрирующее устройство, 3 — сумматор, $x_{вх}$ — измеряемая величина, например давление. В процессе измерения происходит сравнение текущего значения измеряемой вели-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru