

Министерство образования Российской Федерации
Алтайский государственный технический университет
Им. И.И.Ползунова

Бельдеева Л.Н.

Технологические измерения на предприятиях
химической промышленности

Учебное пособие

Часть 1

Барнаул 2002

Бельдеева Л.Н. Технологические измерения на предприятиях химической промышленности. /Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова.- Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002.- 73 с

В настоящем пособии к курсу "Системы управления химико-технологическими процессами" изложены основные сведения об измерениях, системах автоматического контроля технологических параметров на предприятиях химической промышленности, технике средств измерений, Государственной системе приборов. Рассмотрены вопросы сбора и обработки информации, приведены принципы действия и конструкции контрольно-измерительных приборов, широко применяемых в системах автоматического контроля и управления технологическими процессами химической промышленности.

Пособие предназначено для студентов химико-технологического факультета всех форм обучения.

Внутренний рецензент: профессор кафедры "Автомобили и тракторы" Алт ГТУ В.А.Дружинин, к.т.н.

Внешний рецензент: директор научно-производственного предприятия "Интербизнеспроект" В.В.Иванов

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация производства невозможна без качественной и надежной системы автоматического контроля, позволяющей получать информацию о режимных параметрах процессов, а также о параметрах качества сырья, промежуточных и конечных продуктов. Эффективность работы системы автоматического контроля во многом определяет эффективность работы всей автоматизированной системы управления технологическим процессом.

Место измерительной техники в современном мире могут характеризовать следующие данные. Затраты на измерительную технику в настоящее время составляют 10-15% всех материальных затрат на общественное производство, а в таких отраслях промышленности, как нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая, радиоэлектронная, эти затраты достигают 25%.

Научной основой систем автоматического контроля являются метрология и физические принципы измерения параметров технологических процессов, а технической базой этих систем служат средства измерений и преобразований соответствующих параметров. Указанные технические средства, различные по сложности и принципам действия, называют *измерительными устройствами, установками или системами*.

Совокупность технических средств, служащих для выполнения измерений, методов и приемов проведения измерений и интерпретации их результатов, принято определять понятием *измерительная техника*.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ

1.1. Виды и методы измерений

Теоретической основой измерительной техники является метрология.

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности (ГОСТ 16263-70).

Современная метрология охватывает большой круг вопросов, включающих: общую теорию измерений, единицы физических величин и их системы, методы и средства измерений, методы

определения точности измерений, основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений, методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Как и в любой другой области знаний, в метрологии следует различать теоретические, технические и организационные аспекты (см. рис. 1.1).

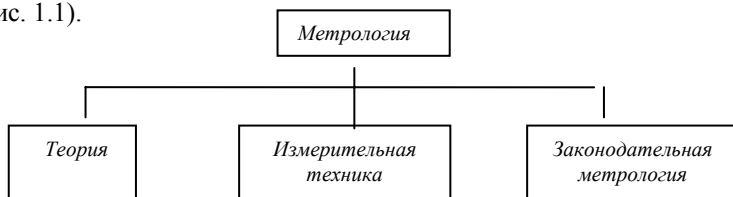


Рис.1.1. Разделы метрологии

Основной метрологии является *измерение* экспериментально определяемых физических величин с использованием специальных технических средств.

В процессе измерения находят числовое значение величины, т.е. узнают, во сколько раз значение данной величины больше или меньше принятого за единицу.

Результат измерения записывают в виде уравнения

$$X=qx$$

где:

X – измеряемая величина;

q – числовое значение этой величины;

x – единица физической величины.

Это выражение называют основным уравнением измерения.

Наряду с измерением существует понятие *контроля*. Целью контроля является выяснение того, соответствуют ли определенные свойства испытуемого (контролируемого) объекта заданным требованиям, на основе чего принимаются соответствующие решения.

По условиям, определяющим точность результата, измерения физических величин делятся на *технические (промышленные)*, *контрольно-поверочные* и *измерения максимальной возможной точности*.

Измерения максимальной возможной точности, достижимой при современном уровне техники, связаны с созданием и воспроизведением эталонов, а также измерения универсальных физических констант.

К о н т р о л ь н о – п о в е р о ч н ы е (лабораторные) измерения отличаются высокой точностью благодаря применению более совершенных методов и приборов для учета возможных погрешностей. Этот вид измерений проводится при выполнении научно-исследовательских, наладочных и поверочных работ.

Т е х н и ч е с к и е измерения имеют сравнительно невысокую точность, достаточную для практических целей, и производятся приборами, устройство которых отвечает их назначению и условиям работы.

Методы измерений. Метод измерений представляет собой совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Принципом измерений называют положенные в основу измерений физическое явление или эффект (например, использование силы тяжести при измерении массы тела при его взвешивании).

Методы измерений различают по различным признакам – например, по способу сравнения размера величины с единицей – прямые и косвенные, по характеру изменения измеряемой величины во времени – статические и динамические, по форме представления измеряемой величины – аналоговые и цифровые, по отбору отсчетов во времени – непрерывные и дискретные (прерывистые), по взаимодействию с объектами измерения – контактные и бесконтактные, по используемым физическим эффектам и др.

По способу получения результата все измерения делят на *прямые, косвенные, совокупные и совместные*.

Измерение называют п р я м ы м, если искомое значение измеряемого параметра определяют непосредственным сравнением его с единицей измерения. Примером прямых измерений могут служить: измерение длины линейкой, массы с помощью весов, температуры стеклянным термометром.

К о с в е н н ы м называют измерение, если искомое значение параметра вычисляют на основании результатов прямых измерений других величин, связанных с ним однозначной зависимостью. Например, удельное электрическое сопротивление проводника можно найти по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения; плотность однородного тела по его массе и объему.

П р и с о в о к у п н ы х измерениях значение величины находят решением системы уравнений, полученных при прямых измерениях одноименных величин. Например, определение температурного коэффициента линейного расширения.

С о в м е с т н ы е измерения предусматривают одновременное измерение двух или нескольких неоднородных величин для отыскания зависимости между ними. Целью совместного измерения, как правило, является определение функциональной зависимости между величинами. Совокупные и совместные измерения характерны для исследовательских работ.

Особое значение имеет классификация методов измерения по способу сравнения измеряемой величины с ее единицей. Существует ряд методов измерений, из которых наиболее распространенными являются *метод непосредственной оценки, метод сравнения с мерой, дифференциальный и компенсационный методы*.

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

Метод непосредственной оценки (отсчета) - нахождение значения измеряемой величины по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия. Например, измерение давления пружинным прибором, массы на циферблатных весах, силы тока амперметром. Точность такого метода ограничена, но быстрота процесса измерения делает его незаменимым для практического измерения. Наиболее многочисленной группой средств измерений, применяемых для измерения этим методом, являются показывающие, в том числе и стрелочные приборы (манометры, расходомеры, вольтметры и др.).

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*.

Д и ф ф е р е н ц и а л ь н ы й м е т о д - заключается в определении разности между измеряемой и известной величиной, после чего измеряемая величина находится путем алгебраического сложения. Метод широко используется для измерений при наличии мешающих компонентов - шумов, сопутствующих компонентов при определении состава смеси и т.д.

Компенсационный (нулевой) метод - состоит в уравнивании неизвестной измеряемой величины известной. При нулевом методе результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Например, уравновешенный мост, рычажные весы. Компенсационный метод применяют, когда необходимо измерить физические явления без нарушения условий, в которых они протекают, например, измерение ЭДС нормальных элементов в отсутствие в них тока.

Компенсационный и разностный методы обеспечивают достаточно высокую точность.

1.2. Погрешности измерений.

Как бы тщательно ни выполнялось измерение, всегда измеренное значение в большей или меньшей мере будет отличаться от истинного.

Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины называют погрешностью измерения.

По форме числового выражения погрешности измерений подразделяются на *абсолютные и относительные*.

Абсолютной называется погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины. Она определяется выражением

$$\Delta = X - X_d$$

где:

Δ - абсолютная погрешность,

X - результат измерения,

X_d - действительное значение измеряемой величины, полученное с помощью образцового прибора.

Относительная погрешность характеризует качество замера и показывает, какую долю составляет абсолютная погрешность от значения измеряемой величины (в долях или процентах)

$$\Delta_o = \frac{X - X_d}{X_d}$$

Погрешность измерений представляет собой сумму погрешностей, каждая из которых имеет свою причину. Причины возникновения погрешностей измерения физической величины могут

быть выявлены из анализа процесса измерения, в котором участвуют объект измерения, средство измерения, оператор и условия, в которых выполняют измерение.

В соответствии с причиной появления выделяют *методические, инструментальные и субъективные погрешности*.

Методические погрешности зависят от совершенства метода, недостаточного учета всех обстоятельств, сопровождающих измерения, а также всех приближений, допускаемых при проектировании прибора.

Инструментальные погрешности - следствие недостатков конструкции, технологии изготовления, исправности прибора. Эти погрешности могут быть частично устранены регулировкой прибора.

Субъективные погрешности зависят от индивидуальных особенностей оператора, проводящего измерения.

По закономерности появления при многократных испытаниях различают погрешности *систематические и случайные*.

Систематические погрешности возникают в результате постоянного влияния каких-либо факторов. Влияние этих погрешностей на результат измерения в большинстве случаев может быть учтено.

Случайные погрешности возникают в результате влияния на процесс случайных факторов. Влияние случайных погрешностей на результаты измерений уменьшают, используя способы обработки результатов измерений, базирующиеся на положениях теории вероятностей и математической статистики.

Принципиальное различие между систематической и случайной погрешностями в отношении их влияния на результат измерений заключается в том, что систематическая погрешность делает измерение неверным, а случайная – недостоверным, внося элемент неопределенности. Из этого следует, что указанные погрешности должны оцениваться разным образом. Систематическую погрешность определяют количественно и ее влияние учитывают коррекцией измеренного значения. Случайную погрешность оценивают статистическими методами теории вероятностей и указывают совместно с результатом измерений.

Для лучшего понимания различия между случайной и систематической погрешности рассмотрим результаты измерения истинного значения X_r величины, отложенные на оси X (Рис.1.2).

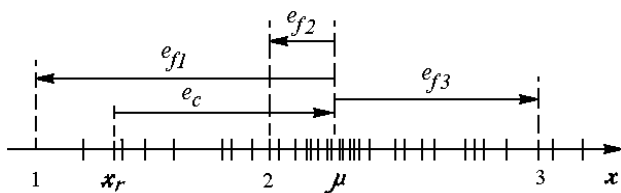


Рис. 1.2. Числовая ось значений величины X , иллюстрирующая различие между случайной и систематической погрешностями.

Измерения поведены в одинаковых (воспроизводимых, равноточных) условиях одним и тем же устройством и при постоянстве влияющих величин. На оси X видно, что измеренных значений больше всего вблизи значения μ , представляющего собой математическое ожидание измеряемой величины. Оно, при достаточно большом числе измерений может быть с хорошим приближением заменено средним арифметическим значением \bar{X} , вокруг которого случайным образом группируются измеренные значения со случайными отклонениями от среднего значения. Последнее смещено относительно истинного значения на величину систематической погрешности e_c . Таким образом, полная погрешность измерения e_i равна $e_c + e_f$, где e_f - случайная составляющая. Для трех произвольных чисел (точки 1-3 на оси X , рис. 1.2) имеем следующие погрешности:

$$e_1 = e_c + (-e_{f1}),$$

$$e_2 = e_c + (-e_{f2}),$$

$$e_3 = e_c + (+e_{f3}).$$

Иногда в результатах наблюдений может появиться погрешность, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях – это так называемая *грубая погрешность*. Причинами ее появления обычно являются ошибки оператора (так называемые промахи), неисправность средства измерения или резкое изменение условий измерений. Результаты измерений, содержащие грубые погрешности, при обработке исключают.

По условиям появления различают *статические* и *динамические* погрешности.

С т а т и ч е с к и е погрешности появляются при установившемся режиме измерения, когда входной сигнал

измерительного прибора и его показания сохраняют постоянные значения.

Под динамической погрешностью понимают ту часть погрешности, которая добавляется к статической в неустановившемся режиме измерения и обусловлена инерционностью средств измерений.

Погрешности средств измерений. Измерительными приборами называются устройства измерений, служащие для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Каждый измерительный прибор состоит из ряда частей и узлов и обладает заданными метрологическими свойствами.

В технике применяются приборы, с помощью которых производят измерения лишь с определенной заранее заданной точностью - *основной погрешностью*, допускаемой нормами.

Основной погрешностью называется погрешность средства измерений, используемого в нормальных условиях эксплуатации (температура окружающей среды, давление, напряжение питания, частота тока и т.д.), которые обычно определены в нормативно-технических документах на данное средство измерений. Каждый, даже новый, прибор обладает основной погрешностью, которая с течением времени обычно возрастает за счет появления остаточных деформаций пружин, износа трущихся частей и других причин.

Если прибор работает в условиях отличных от номинальных, то возникает *дополнительная погрешность*, увеличивающая общую погрешность прибора. *Дополнительная погрешность* возникает из-за неправильной установки прибора, влияния неблагоприятных внешних условий, отклонения напряжения и частоты источника питания.

Для каждого прибора в зависимости от его назначения, качества и диапазона показаний нормами устанавливается *допускаемая основная погрешность*, выражаемая в абсолютных или относительных (приведенных) величинах.

Допускаемая основная погрешность характеризует наибольшее возможное отклонение показаний прибора от действительного значения в обе стороны, в связи с чем перед ней ставится знак \pm . Если при поверке прибора основная погрешность в любой точке шкалы не превышает допускаемой, то прибор признается годным к применению. В противном случае он должен быть подвергнут ремонту или переградуировке.

Приведенная допускаемая основная погрешность прибора определяется как отношение абсолютной допускаемой основной погрешности к диапазону показаний и выражается в процентах согласно равенству

$$\delta' = (\Delta' / N_k - N_n) 100.$$

Под пределом допускаемой основной погрешности средства измерений понимают наибольшую (без учета знака) основную погрешность, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению. Эту погрешность для краткости называют основной допустимой погрешностью. Предел допускаемой погрешности задается в виде абсолютной или приведенной погрешности.

По приведенной допускаемой основной погрешности приборы разделяются на различные *классы точности*.

К л а с с т о ч н о с т и средств измерений является обобщенной их характеристикой, определяемой пределами допускаемой основной и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность.

$$K = \pm \frac{\Delta}{X_B - X_H} \cdot 100\%$$

где

Δ – абсолютная погрешность;

$X_B - X_H$ – разность верхнего и нижнего пределов измерений, т.е. диапазон измерений

Классы точности прибора устанавливают при выпуске, градуируя его по образцовому прибору в нормальных условиях. Средствам измерений, пределы допускаемых погрешностей которых выражены как относительные или приведенные погрешности, должны быть присвоены классы точности, выбираемые из ряда чисел: (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 6) 10^n , где $n=1; 0; -1; -2$ и т.д.

Обозначение классов точности производится в зависимости от способов задания пределов допускаемой основной погрешности. Если последняя выражается приведенной или относительной погрешностью, применяются соответственно следующие обозначения: (1,5) и 1,5 (обозначения приведены для класса точности 1,5)

Для измерительных приборов и преобразователей, применяемых для технологических измерений, как правило, нормальные условия эксплуатации выбираются такими, что в большинстве случаев исключается необходимость нормирования дополнительной

погрешности. Поэтому класс точности однозначно определяет точность этих средств измерений.

В а р и а ц и е й прибора называется наибольшая, полученная экспериментально разность между показаниями измерительного прибора, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при одинаковых условиях измерения. Вариации вызываются трением в механизме прибора, зазорами (люфтами) в кинематических парах, гистерезисом и т.п.

Вариация технических измерительных приборов определяется как наибольшая разность показаний прибора при поверке, полученная при прямом и обратном ходе, при одном и том же действительном значении измеряемой величины. Вариации выражают в процентах от максимального значения шкалы прибора:

$$B = \frac{X_{\Pi} - X_o}{X_B - X_H} \cdot 100$$

где X_{Π} - X_o - наибольшая разность в показаниях прибора при одном и том же значении измеряемой величины.

Вариация не должна превышать допустимую погрешность прибора.

1.3. Основные свойства измерительных приборов.

В зависимости от назначения, устройства и принципа действия измерительные приборы обладают различными метрологическими свойствами, которые в основном характеризуются *точностью, чувствительностью, быстродействием, надежностью работы.*

Т о ч н о с т ь измерительного прибора определяется степенью достоверности его показаний, т.е. тем, насколько результаты измерений отличаются от истинных значений измеряемой величины.

Ч у в с т в и т е л ь н о с т ь ю прибора называется отношение линейного или углового перемещения указателя к приращению измеряемой величины, вызвавшему это перемещение.

$$S = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$$

где:

ΔY - изменение выходной величины,

ΔX - изменение входной величины.

Порог чувствительности - наименьшее изменение значения измеряемой величины, способное вызвать малейшее изменение показания измерительного прибора. Порог чувствительности обусловлен главным образом наличием трения в механизмах прибора. Порог чувствительности обычно выражают в долях абсолютного значения допускаемой основной погрешности средства измерений.

Быстродействие прибора зависит от его инерционности, вызывающей запаздывание показаний. Последнее характеризует время с момента начала изменения измеряемой величины до момента показания его прибором. Инерционность приборов в большинстве случаев вызывается тепловыми, механическими и гидравлическими факторами. Чем более быстродействующим является прибор, тем выше его качество.

Надежность прибора характеризует его свойство сохранять работоспособность в течение заданного времени. Под работоспособностью подразумевается состояние прибора, при котором он может выполнять свои функции в соответствии с установленными для него техническими требованиями. Часто в технической документации на прибор указывается вероятность безотказной его работы в заданном интервале времени.

Степень влияния на показания приборов неблагоприятных внешних условий (температуры, влажности и запыленности окружающего воздуха, вибрации и т.п.) также в известной мере определяет его качество. Условия эксплуатации приборов должны по возможности соответствовать условиям их градуировки.

По метрологическому назначению измерительные приборы делятся на рабочие, контрольные, образцовые и эталонные.

Рабочие приборы, предназначенные для обычных измерений, делятся на технические и лабораторные.

Завод-изготовитель гарантирует определенную точность технических приборов. Какие-либо поправки в их показания обычно не вносятся (за исключением некоторых специальных случаев).

Для повышения точности лабораторных приборов в их показания вносят поправки, учитывающие состояние прибора и влияние условий измерения.

Контрольные приборы применяются для поверки технических приборов и для точных замеров при научно-исследовательских работах.

Образцовые приборы предназначены для передачи единиц

измерения от эталонов к остальным приборам путем поверки и градуировки.

Градуировкой называется операция, при помощи которой деления шкалы придаются значения, выраженные в установленных единицах измерения.

Образцовые приборы делятся на разряды в зависимости от точности и способов их поверки. Образцовые приборы первого разряда поверяются только по эталонам. Образцовые приборы второго и последующих разрядов поверяются по образцовым приборам предшествующих разрядов.

Эталонные приборы служат для воспроизведения и хранения единиц измерения с метрологической точностью. Эталонные приборы подразделяются на первичные, вторичные и третичные (рабочие).

Первичные эталонные приборы (наиболее точные) служат государственными эталонами единиц измерения.

Вторичные эталонные приборы заменяют при работе первичные эталоны и сличаются с ними.

Третичные эталоны, (рабочие) служат для поверки образцовых приборов первого разряда и в особых случаях для поверки рабочих приборов. Третичные эталоны, изготавливаемые из более дешевых материалов, сличаются с первичными или вторичными эталонами.

По роду измеряемой величины (параметру) измерительные приборы делятся на приборы для измерения температуры, давления, расхода, уровня, концентрации, плотности и т. п.

1.4. Обеспечение единства и качества измерений

При каждом измерении необходимо выявить возможные источники *систематических погрешностей* и принять меры по их устранению или определить их величину. Для выявления систематических погрешностей проводят сопоставительные измерения одной величины разными методами.

Исключение *случайных погрешностей* производят статистическими методами.

Погрешности используемых средств измерений могут приводить к ложным оценкам качества продукции, поэтому заданные характеристики применяемых для контроля средств измерений должны сохраняться в течение всего времени эксплуатации. С этой

целью проводят периодические *поверки средств измерений*, т.е. устанавливают пригодность этих средств к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия установленным требованиям.

Поверка - сравнение показаний поверяемого прибора с показаниями образцового прибора. Класс точности образцового прибора должен быть в 3-4 раза выше класса точности поверяемого прибора. Основной метрологической характеристикой средства измерений, определяемых при поверке, является его погрешность.

Результаты поверки средств измерений, признанных годными к дальнейшему применению, оформляются свидетельством (сертификатом) о поверке, нанесением поверительного клейма или иными способами, установленными нормативно-техническими документами на методы и средства поверки.

Поверку выполняют государственные органы (метрологические службы), которым дано на это право в установленном порядке. В Российской Федерации этими вопросами занимается Государственный комитет по стандартизации и метрологии, включающий государственную службу поверки и ряд метрологических институтов.

Правовые основы обеспечения единства измерений регламентируются Законом РФ "Об обеспечении единства измерений", принятый в 1993 г.

2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

2.1. Структура систем автоматического контроля

Обычно для каждого производственного процесса существует определенная совокупность значений параметров, называемая нормальным технологическим режимом, при котором количество и качество получаемых продуктов из соответствующего сырья почти неизменны.

Отклонения параметров от их значений при нормальном технологическом режиме приводят к ухудшению результатов производственного процесса. Чтобы тем или иным способом привести его к нормальному технологическому режиму, необходимо ручное или автоматическое воздействие на органы управления. Соответствие

режима процесса нормальному технологическому режиму определяется контролем. Для контроля хода процесса применяют автоматические приборы. При этом сам контроль называют автоматическим. Автоматический контроль производства является составной частью автоматизации производственных процессов.

Система автоматического контроля состоит из объекта контроля и различных устройств, выполняющих функции измерения. Под *объектом контроля* понимают агрегат или процесс, в котором измеряют одну или несколько величин.

В большинстве случаев система измерения включает первичный измерительный преобразователь, линию связи и вторичный прибор (Рис. 2.1).

Первичный измерительный преобразователь (ПИП) как правило устанавливается на объекте измерения и служит для преобразования измеряемой величины X в выходной сигнал, удобный для передачи по каналу связи. Например, термопара в цепи термоэлектрического термометра. Конструктивно выделенный ПИП, выдающий сигналы измерительной информации называется датчиком.

Вторичный прибор – устройство, принимающее сигнал от первичного преобразователя и выражающее его в удобном для наблюдения виде при помощи отсчетного устройства.

Канал связи служит для передачи сигнала от первичного преобразователя ко вторичному прибору. Если сигнал электрический, то в качестве канала связи используются электрические провода и кабель. Если сигнал пневматический или гидравлический – используются трубки из различных материалов.

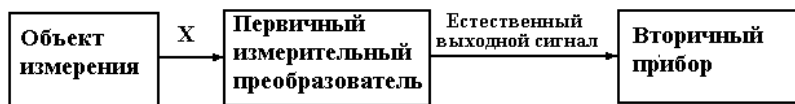


Рис. 2.1. Структурная схема системы автоматического контроля.

Измеряемая величина X поступает на вход первичного измерительного преобразователя (датчика), где преобразуется в выходной сигнал, удобный для передачи по каналу связи во вторичный прибор.

В зависимости от типа измеряемой физической величины, принципа действия первичного измерительного преобразователя и расстояния, на которое необходимо передать информацию, в состав системы автоматического контроля могут быть включены помимо первичных измерительных преобразователей промежуточные, нормирующий и передающий измерительные преобразователи.

2.2. Классификация систем автоматического контроля.

В зависимости от назначения системы автоматического контроля подразделяются на *системы местного контроля, дистанционного контроля и телеизмерительные системы.*

Системы местного контроля позволяют непосредственно отсчитывать значение контролируемой величины по шкальным устройствам приборов, получать запись значений этой величины во времени на диаграммной бумаге, либо осуществлять сигнализацию непосредственно на самом объекте контроля.

Автоматический контроль можно осуществлять и на расстоянии от контролируемого объекта, удлинив линию связи между датчиком и вторичным прибором. В этих случаях результат измерения преобразуется в пропорциональный электрический или пневматический сигнал, который содержит информацию о величине измеряемого параметра и по соответствующей линии связи передает ее на вход вторичного прибора, где осуществляется преобразование сигнала, переданного по линии связи в результат измерения. Такая система автоматического контроля называется *д и с т а н ц и о н н о й*.

В зависимости от вида используемой энергии дистанционные системы подразделяются на пневматические, электрические и гидравлические.

Схемы дистанционного контроля с передачей сигналов в виде давления сжатого воздуха нашли широкое применение на предприятиях химической и нефтехимической промышленности. При этом расстояние между первичным и вторичным приборами достигает 300 м, что вполне достаточно для централизации контроля объектов в пределах одного производства или одной технологической установки. Электрические схемы используются значительно реже, гидравлические не применяются вообще.

Дистанционные системы позволяют осуществлять контроль работы оборудования и хода производственного процесса из помещения оператора. Обычно в этом помещении устанавливают щит управления, на котором размещают вторичные приборы.

Телеизмерительные системы контроля обеспечивают передачу результатов измерения различных параметров технологических процессов на дальние расстояния и используются для централизованного контроля на крупных предприятиях и группах предприятий.

Передача информации в телеизмерениях чаще всего осуществляется в виде электрических сигналов по общей схеме, показанной на рисунке 2.2.

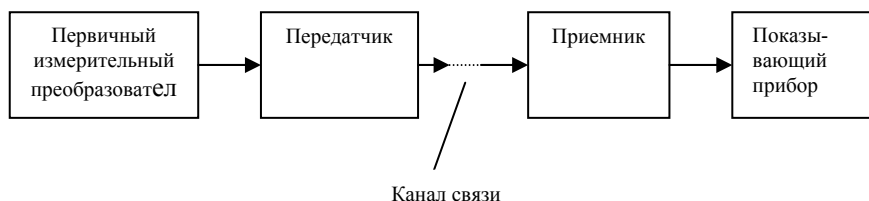


Рисунок 2.2. Общая схема телеметрического устройства.

Телеизмерительные системы контроля содержат шифраторы и дешифраторы для преобразования передаваемого сигнала в дискретной форме.

В таких системах результат измерения с помощью преобразователя в первичном приборе преобразуется в кодированные дискретные сигналы, передаваемые по каналу связи. Во вторичном приборе, установленном на другом конце канала связи, эти сигналы преобразуются в результат измерения и фиксируются в цифровой или аналоговой форме.

Как местные, так и дистанционные системы автоматического контроля могут быть *одноточечными* и *многоточечными*.

Одноточечными называются системы, в которых к одному измерительному устройству или вторичному прибору подводится сигнал только от одного измерительного устройства или первичного прибора. Контролируется только один параметр в одной точке объекта.

Многоточечными называются системы, в которых к одному измерительному устройству или вторичному прибору подводится сигнал от нескольких измерительных устройств или первичных приборов. Контролируется несколько параметров в одной точке объекта или один – в нескольких.

3. ТЕХНИКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

3.1. Первичные измерительные преобразователи (датчики)

Первичным измерителем преобразователем (датчиком) называют чувствительный элемент автоматического устройства, воспринимающий контролируемую величину и преобразующий ее в выходной сигнал, удобный для передачи на расстояние и воздействия на последующие элементы автоматических устройств.

Они предназначены для измерения различных физических величин (параметров производственных процессов): температуры, давления, влажности, концентрации растворов и т.д. Датчики представляют собой весьма разнообразные устройства, которые классифицируются по измеряемой величине (датчики температуры, давления, уровня, плотности и т.п.), принципу действия (электрические, пневматические и т.п.), виду и характеру выходного сигнала (непрерывный и дискретный).

Основными требованиями, предъявляемыми к датчикам, являются высокая чувствительность, линейная зависимость выходной величины от входной, малая инерционность.

Статической характеристикой датчика является зависимость выходной величины от входной, т.е. $X_{\text{вых}} = f(X_{\text{вх}})$.

Динамическая характеристика может быть представлена в виде графика переходного процесса $X_{\text{вых}} = f(t)$ при скачкообразном изменении входного сигнала (Рис. 3.1.).

Под чувствительностью S датчика понимают отношение приращения выходной величины Y к приращению входной величины X :

$$S = \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|$$

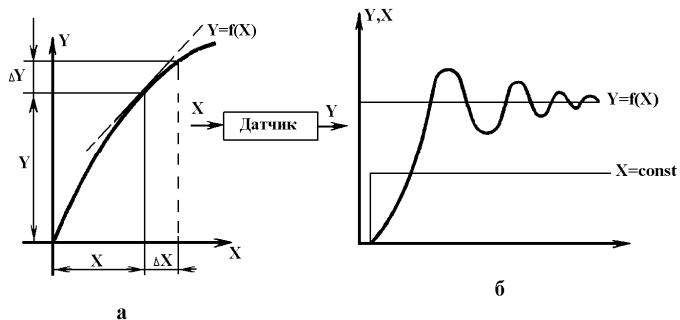


Рис. 3.1. Примеры статической и динамической характеристик датчика: а – статическая характеристика б – динамическая характеристика

Хотя номенклатура датчиков очень обширна, принципов действия, на которых они основаны, относительно не много.

Емкостные датчики представляют собой конденсатор, емкость которого изменяется при изменении измеряемой неэлектрической величины. Конденсатор формируется из двух пластин, разделенных слоем диэлектрика, а его емкость определяется выражением:

$$C = \varepsilon \frac{S}{x}$$

где: ε – диэлектрическая проницаемость диэлектрика;
 S – активная площадь конденсатора;
 x – расстояние между пластинами.

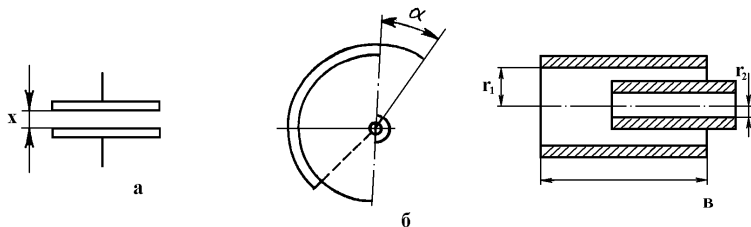


Рис 3.2. Емкостные датчики: а – плоский емкостный датчик; б – емкостный датчик с угловым перемещением; в – цилиндрический емкостный датчик.

Изменение емкости достигается изменением расстояния между пластинами датчика, их рабочей поверхности или диэлектрических свойств среды, в которой находятся пластины. Примеры емкостных датчиков приведены на рисунке 3.2.

Общими недостатками емкостных датчиков является практическая невозможность работать на промышленной частоте 50 Гц и, следовательно, необходимость в специальном источнике питания высокой частоты.

Емкость такого преобразователя обычно измеряется следующим образом:

- 1) с помощью мостовой схемы переменного тока, в которой преобразователь образует одно плечо моста;
- 2) с помощью мультивибратора, в котором конденсатор в цепи определяет частоту колебаний.

Пьезоэлектрические преобразователи. Одним из емкостных типов преобразования является пьезоэлектрический эффект, при котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение электростатического заряда или напряжения, возникающих в некоторых материалах при их механическом напряжении. Напряжение обычно образуется под действием сил сжатия, растяжения или изгиба, которые являются измеряемой величиной и воздействуют на чувствительный элемент либо непосредственно, либо с помощью некоторой механической связи.

Чтобы воспринять изменение электрического заряда или напряжения, к пьезоэлектрическому материалу подсоединяют две металлические пластинки, которые фактически образуют пластины конденсатора, емкость которого определяется в виде:

$$C = \frac{Q}{V} ;$$

Где:

Q – заряд;

V – напряжение.

В качестве пьезоэлектрического материала, применяемого в конструкции такого преобразователя, используются природные кристаллы, такие как кварц; синтетические кристаллы, например, сульфат лития; поляризованная ферромагнитная керамика, например, титанат бария.

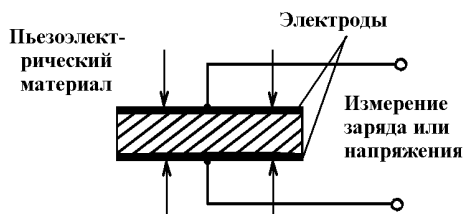


Рис. 3.3. Пьезоэлектрический преобразователь.

Электромагнитные преобразователи. В этих датчиках используется свойство катушки индуктивности изменять свое сопротивление при перемещении сердечника (Рис. 3.4.).

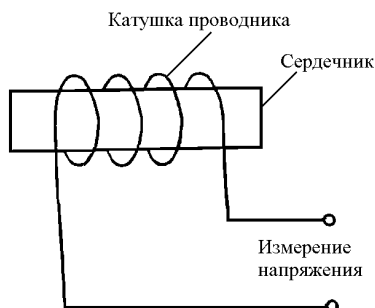


Рис. 3.4. Электромагнитное преобразование

Фотоэлектрические датчики – основаны на использовании воздействия изменений измеряемого параметра на интенсивность светового излучения. Источником светового излучения обычно являются лампы накаливания, рентгеновские трубки и радиоактивные вещества. Приемники излучения – фотоэлементы, ионизационные камеры, газоразрядные счетчики.

Фотоэлектрические датчики широко используются для измерения и контроля различных

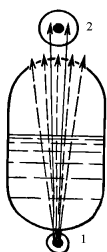


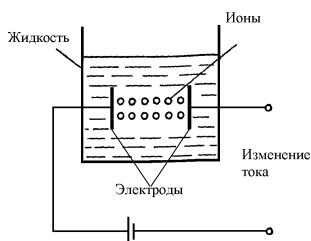
Рис. 3.5. Радиоизотопный уровнемер

параметров производственных процессов – температуры, уровня жидкости, концентрации растворов, прозрачности газовой среды, для учета, сортировки и отбраковки штучных изделий, для контроля состояния поверхности тел в автоматических системах, для слежения за срезом детали при ее обработки по контуру и т.д. На Рис. 3.5. изображен радиоизотопный уровнемер, принцип действия которого основан на фотоэлектрическом преобразовании.

Широкое распространение в промышленности находят **датчики сопротивления (резистивные преобразователи)**, основанные на изменении сопротивления материала датчика в зависимости от измеряемых свойств среды. Изменение сопротивления может быть вызвано различными эффектами в преобразующем элементе, например, нагреванием или охлаждением, механическим напряжением, воздействием светового потока, увлажнением, осушением, перемещением контактной щетки реостата.

Термоэлектрические преобразователи основаны на прямом преобразовании тепловой энергии в электрическую (термопары).

Ионизационные преобразователи преобразуют изменение



измеряемой величины в изменение тока ионизации, который протекает, например, через жидкость, расположенную между двумя электродами (рН-метры).

Рис.3.6. Ионизационное преобразование

Неэлектрические преобразователи чаще всего преобразуют изменение измеряемой величины в линейное или угловое перемещение (манометрические пружины, мембранные приборы).

3.2. Промежуточные преобразователи

Измерительные преобразователи, установленные в измерительной системе после ПИП, являются промежуточными или вторичными. Принципы преобразования, а также конструктивная

реализация промежуточных преобразователей зависят не только от измеряемой величины, но и от требуемого вторичного сигнала, ее отображающего.

Промежуточный преобразователь предназначен для осуществления всех необходимых преобразований сигнала измерительной информации (усиление, выпрямление, преобразование одного вида энергии в другой и т.п.)

Передающий преобразователь – предназначен для дистанционной передачи сигнала измерительной информации.

Для дистанционной передачи угловых перемещений, например, в уровнемерах, используются *сельсинные передающие системы*.

Сельсин представляет собой миниатюрную трехфазную электрическую машину, сходную с синхронным генератором или двигателем (рис. 3.7). Чаще всего ротор сельсина имеет одну обмотку (обмотка возбуждения), а статор – три обмотки (обмотки синхронизации), оси которых сдвинуты на 120° одна относительно другой.

Такой вариант осуществляется в случае, если ротор имеет явно выраженные полюса, а статор не явно выраженные полюса.

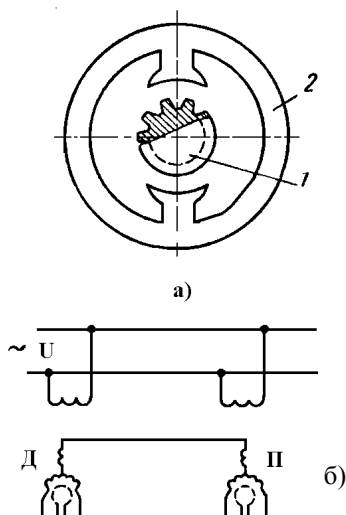


Рис. 3.7. Сельсинная телепередача:
а – схема устройства сельсина: 1 – ротор;
2 – статор; б – схема включения сельсина

Обмотки возбуждения питаются переменным током, а концы трехфазной обмотки соединяются между собой. Так как обмотка ротора сельсина-датчика (Д) питается переменным напряжением, то переменный магнитный поток, создаваемый ею, будет индуцировать в обмотках статора э. д. с., величины которых определяются выражениями:

$$E_{1Д} = E_{\max} \cos \alpha;$$

$$E_{2Д} = E_{\max} \cos(\alpha + 120^\circ);$$

$$E_{3Д} = E_{\max} \cos(\alpha + 240^\circ),$$

где α — угол поворота ротора датчика;

E_{\max} — значение

э. д. с. в случае

совпадения осей обмоток

ротора и статора.

Аналогичная картина происходит и в сельсине-приемнике (П):

$$E_{1П} = E_{\max} \cos \beta;$$

$$E_{2П} = E_{\max} \cos(\beta + 120^\circ);$$

$$E_{3П} = E_{\max} \cos(\beta + 240^\circ),$$

где β — угол поворота ротора приемника.

Если положение обоих роторов относительно обмоток статоров будет одинаково, т. е. $\alpha = \beta$, то токи, создаваемые в этих обмотках, будут также равны вследствие равенства наводимых э.д.с. При этом синхронизирующий момент $M_{\text{син}}$ равен нулю.

При отклонении ротора сельсина-датчика от согласованного положения, т. е. при $\alpha \neq \beta$, наводимые в соответствующих обмотках э. д. с. будут различны по величине: $E_{ид} \neq E_{иП}$. Следовательно, токи, возникающие во встречно включенных обмотках статора, не будут уравниваться. Возникающий при этом синхронизирующий момент

$$M_{\text{син}} = M_{\max} \sin \theta,$$

где $\theta = \alpha - \beta$;

M_{\max} — наибольший момент при $\theta = 90^\circ$.

Следовательно, при постоянном значении магнитного потока однофазной обмотки ротора выходная э.д.с., наводимая в трехфазной обмотке, пропорциональна углу поворота ротора.

Ротор сельсина-датчика связан с чувствительным элементом измерительного прибора, а ротор сельсина-приемника — с отсчетной частью вторичного прибора.

Наиболее существенные недостатки описанных выше контактных сельсинов — трение в контактных щётках, что приводит к погрешностям в работе сельсина и снижает ее надежность. Бесконтактные сельсины лишены этих недостатков.

Д и ф ф е р е н ц и а л ь н о – т р а н с ф о р м а т о р н ы е преобразователи предназначены для преобразования линейного перемещения сердечника в выходной электрический сигнал. Выходным параметром у преобразователей этого типа является значение взаимной индуктивности между обмотками. Дифференциально-трансформаторные преобразователи широко применяются в первичных приборах (манометрах, дифманометрах и др.) в качестве передающих преобразователей и во вторичных приборах – в качестве компенсирующих.

Дифференциально-трансформаторная схема (рис.3.8) получила широкое распространение для передачи показаний на расстояние.

Схема работает на принципе компенсации разности трансформированных напряжений во вторичных обмотках катушек датчика и вторичного прибора. Положение сердечника I датчика определяется значением измеряемой величины, а сердечника II компенсирующего устройства – вторичного прибора – углом поворота выходного вала редуктора реверсивного двигателя.

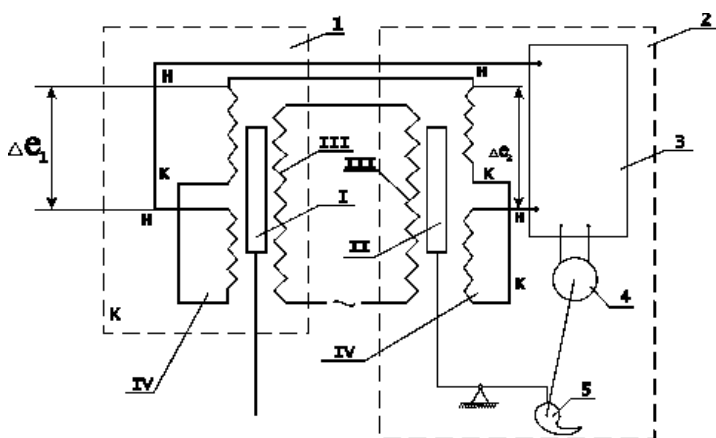


Рис. 3.8. Схема дифференциально-трансформаторной передачи
1 – первичный прибор; 2 – вторичный прибор; 3 – электронный усилитель; 4 – реверсивный двигатель; 5 – профиль.

Каждая из катушек датчика и вторичного прибора состоит из первичной III и вторичных обмоток IV. Вторичные обмотки состоят из двух секций с одинаковым количеством витков. Концы каждой секции соединены между собой в каждой катушке, а начала – с началами соответствующих секций другой катушки.

Когда сердечник (датчика или прибора) находится в среднем положении, ЭДС, индуцируемые в каждой секции, равны, направлены навстречу друг другу, и между началами секций вторичной обмотки IV напряжения нет.

При смещении сердечника от среднего положения магнитный поток, пронизывающий вторичную обмотку, будет различным для каждой секции, вследствие чего индуцируемые в них ЭДС не будут равны, и между началами этих секций появятся ЭДС (Δe_1 и Δe_2). Фазы и величины этих разностей ЭДС будут зависеть от величины и направления смещения сердечников в катушках. Разности ЭДС

датчика и вторичного прибора направлены навстречу друг другу. Напряжение небаланса дифференциально-трансформаторной схемы:

$$\Delta U = \Delta e_1 - \Delta e_2.$$

Это напряжение изменяет фазу в зависимости от знака неравенства

$$\Delta e_1 < \Delta e_2 \text{ или } \Delta e_1 > \Delta e_2.$$

Напряжение небаланса поступает на вход усилителя. Усиленное напряжение подается на управляющую обмотку реверсивного двигателя, который вращается до наступления равенства

$$\Delta e_1 = \Delta e_2.$$

В этот момент схема окажется уравновешенной, и реверсивный двигатель остановится. При этом ток в соединительных проводах отсутствует и потеря напряжения в них равна нулю. Это позволяет доводить расстояние между датчиками и приборами до 300 м.

В пневматических преобразователях основным элементом является преобразователь типа "сопло—заслонка" (рис. 3.9). В трубку 1 небольшого диаметра непрерывно поступает воздух под давлением p_0 и, пройдя через дроссель постоянного сечения 2, выходит в атмосферу через сопло 3. Перед соплом 3 находится заслонка 4. Если изменять зазор Δx между соплом и заслонкой, то давление воздуха p_1 в междроссельном пространстве будет также изменяться: увеличиваться с приближением заслонки к соплу и уменьшаться при удалении заслонки от сопла. Изменение давления p_1 контролируется манометром 5.

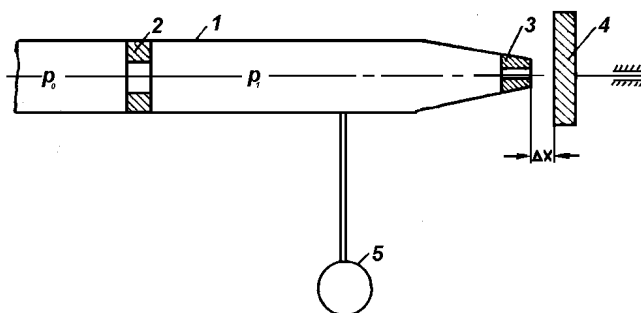


Рис. 3.9. Пневмопреобразователь типа «сопло — заслонка»:

1 — трубка; 2 — дроссель постоянного сечения; 3 — сопло; 4 — заслонка; 5 — манометр

Зависимость между зазором Δx и давлением p_1 показана на рис. 3.10. Как видно из графика рис. 3.10, весьма небольшие перемещения заслонки (до 0,08 мм) вызывают значительные — от 0,0098 до 0,1078 Мн/м² (0,1—1,1 кГ/см² — изменения давления воздуха p_1 .

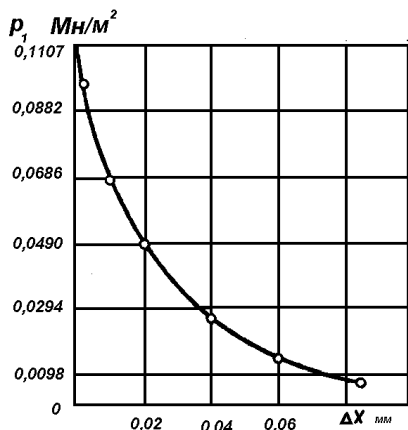


Рис 3.10.
Зависимость давления воздуха p_1 в междроссельном пространстве системы сопло-заслонка от величины зазора ΔX между соплом и заслонкой

3.3. Вторичные приборы

Вторичные приборы предназначены для преобразования сигнала, поступающего от датчика, в сигнал, удобный для наблюдения.

Главными узлами измерительного прибора являются измерительное и отсчетное устройство. Первое из них непосредственно осуществляет измерение физической величины при помощи чувствительного элемента и при необходимости усиливает входной сигнал, а второе — показывает, записывает или интегрирует полученное значение. Один и тот же вторичный прибор может быть использован для измерения различных параметров (разница будет лишь в градуировке шкалы).

По способу отсчета значений измеряемых величин приборы подразделяются на *показывающие*, т.е. допускающие только отсчитывание показаний, и *самопишущие* приборы, в которых предусмотрена регистрация показаний.

К показывающим относят а н а л о г о в ы е и ц и ф р о в ы е приборы. Отсчетные устройства аналоговых приборов состоят из шкалы и указателя – стрелки; показания прибора являются непрерывной функцией измеряемой величины.

Цифровой измерительный прибор автоматически вырабатывает дискретные сигналы измерительной информации, показания прибора представлены в цифровой форме.

Анализ свойств и характеристик аналоговых и цифровых методов и средств измерений не позволяет однозначно утверждать о превосходстве одних перед другими; это зависит от конкретных задач и возможностей конструктивного исполнения.

В последние годы цифровые приборы находят все более широкое применение, так как их показания легко фиксировать; они удобны для применения данных в ЭВМ; устройство цифровых приборов позволяет достигать большей точности измерений, чем устройство аналоговых приборов, к тому же при применении цифровых приборов отсутствует погрешность считывания. Однако аналоговые приборы значительно проще и дешевле цифровых.

Наибольшее применение имеют шкаловые отсчетные устройства. Шкалы выполняются как неподвижными, так и подвижными (шкала перемещается относительно неподвижного указателя). Отметки на шкалах располагаются вдоль прямой линии или по дуге окружности, на плоской или цилиндрической поверхности циферблата.

На рис. 3.11. показаны наиболее типичные шкалы измерительных приборов.

Начало шкалы — отметка, соответствующая наименьшему значению величины, определяемой по данной шкале (нижний предел показаний прибора).

Конец шкалы — отметка, соответствующая наибольшему значению измеряемой величины (верхний предел показаний прибора). Нуль шкалы — отметка, соответствующая нулевому значению измеряемой величины.

Шкалы, нулевая отметка которых совпадает с началом или концом шкалы, называются односторонними шкалами. Шкала называется двусторонней, если нулевая отметка не совпадает с началом или концом шкалы (например, ртутный термометр с пределом показаний -50 и $+50^{\circ}\text{C}$). Шкала называется безнулевой, если она не имеет нулевой отметки (например, шкала ртутного термометра с пределами показаний $+50$ и $+200^{\circ}\text{C}$).

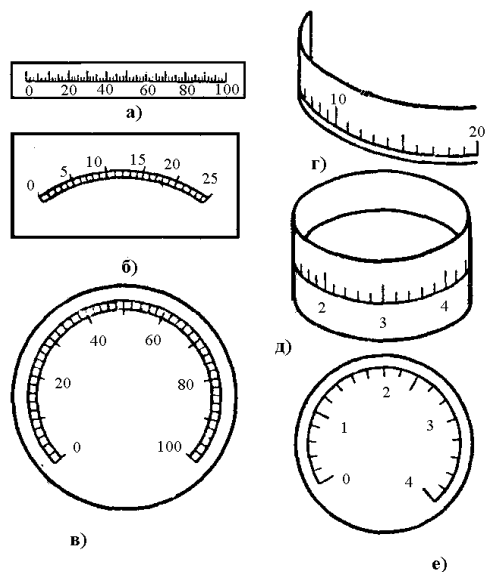


Рис. 3.11. Шкалы:

а – прямолинейная; б – дуговая; в – круговая равномерная; г – профильная; д – барабанная; е – круговая неравномерная

Положение указателя определяется угловым или линейным его перемещением от нуля или начала шкалы. Зависимость между положением указателя и отсчетом называется *характеристикой шкалы* (статическая характеристика измерительного прибора).

Характеристика шкалы приборов с угловым перемещением указателя выражается уравнением

$$q = f(\varphi),$$

где φ — угол поворота указателя от нулевой отметки шкалы (для безнулевых шкал — от начала шкалы);

q — отсчет по шкале.

Для приборов с прямолинейными шкалами

$$q = f_l(N),$$

где N — линейное смещение указателя от нуля шкалы (для

безнулевых шкал — от начала шкалы).

На рис. 3.12 схематически показаны шкаловые отсчетные устройства.

Шкалы могут быть *равномерными и неравномерными*. Равномерная шкала имеет одинаковые расстояния между отметками и поэтому более удобна для измерений, чем неравномерная, у которой эти расстояния изменяются по определенному закону (параболе, синусоиде и т.п.) Точность отсчета показаний по равномерной шкале выше, чем по неравномерной.

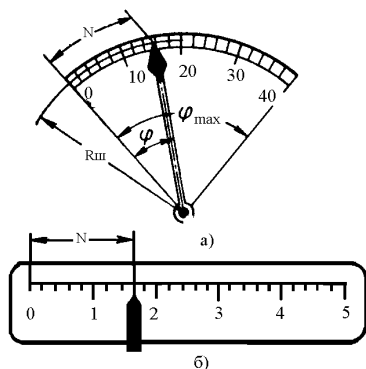


Рис. 3.12. Шкаловые отсчетные устройства:

а — с дуговой шкалой;
б — с прямолинейной шкалой

φ_{max} — размах шкалы;
 N_{max} — длина шкалы.

Делением шкалы называется промежуток между осями или центрами двух смежных отметок.

Самопишущие (регистрирующие) приборы снабжаются приспособлениями, автоматически записывающими на бумажной ленте или диске текущее значение измеряемой величины во времени. В одном случае на бумажной ленте (диске) пером вычерчивается непрерывная линия, в другом случае на бумажной ленте периодически печатаются числовые значения отсчетов.

На одной бумажной ленте могут быть записаны несколько кривых. В этом случае в прибор встраивается автоматический переключатель, последовательно подключающий к измерительной системе один из датчиков, расположенных в нескольких точках измерения.

На рис. 3.13. приведены схемы типичных регистрирующих устройств.

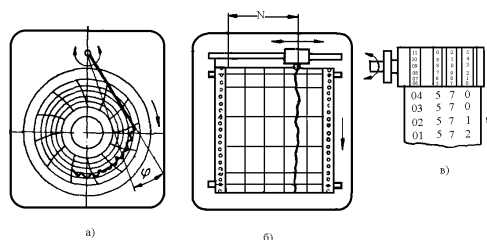


Рис. 3.13. Регистрирующие устройства: а – с записью в полярных координатах на дисковой диаграмме; б – с записью в прямоугольных координатах на ленточной диаграмме; в – с печатающим устройством

Комбинированные приборы одновременно показывают и регистрируют измеряемую величину. Измерительные приборы могут снабжаться также дополнительными устройствами для сигнализации (сигнализирующие приборы), регулирования измеряемой величины (регулирующие приборы) и других целей.

Суммирующие или интегрирующие приборы показывают суммарное значение измеряемой величины за определенный промежуток времени. Эти приборы снабжаются счетчиками, которые часто встраиваются в один корпус с показывающим или самопишущим прибором, имея с ним одну измерительную систему.

Цифровые сигналы в виде конечных числовых значений визуально отображают разнообразными цифровыми индикаторами. В механических и электромеханических счетчиках служат сами счетные колеса (диски, барабаны), на которые нанесены цифры.

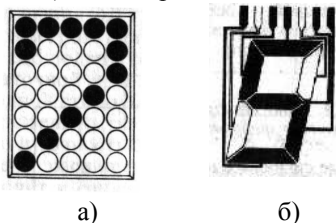


Рис. 3.14. Цифровые индикаторы

На рисунке 3.14,а изображен цифровой индикатор мозаичного типа. Он содержит матрицу ламп, управляемых через дешифратор. Подобным же образом действуют и 7-сегментные индикаторы,

подсвечиваемые обычными лампами. Показанные индикаторы выпускаются в миниатюрном исполнении с использованием фотодиодов и жидких кристаллов.

Светодиоды могут излучать свет различного цвета в зависимости от используемого материала полупроводника. Их яркость можно регулировать изменением напряжения питания. Жидкий кристалл представляет собой вещество, находящееся в промежуточной фазе между твердым телом (обладая при этом оптическими свойствами твердого кристалла) и изотропной жидкостью. Существует несколько тысяч разновидностей жидких кристаллов. Жидкий кристалл в индикаторе размещается между двумя стеклянными пластинками в зазоре ~ 10 мкм. Пластины покрыты электропроводящей пленкой, образующей электроды. При подаче на электроды переменного напряжения изменяются (в зависимости от вещества) либо показатель преломления, либо коэффициент поляризации

Основные измерительные схемы вторичных приборов.

Показывающий измерительный прибор является механизмом, положение подвижной части которого зависит от значения измеряемой величины. В электроизмерительных приборах происходит преобразование электрической величины (силы тока, напряжения) в механическую силу.

Наиболее простым способом включения электрических датчиков в системы автоматических устройств является непосредственное включение датчика на вход усилителя автоматического устройства. Например, *приборы магнито-электрической системы.*

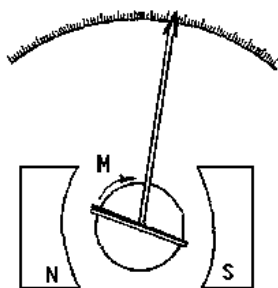


Рис. 3.15. Упрощенная схема прибора магнитоэлектрической системы

Приборы магнитоэлектрической системы или магнитоэлектрические приборы – это приборы, в которых используется механическое взаимодействие поля постоянного магнита с

электрическим током (рис. 3.15). Между полюсами постоянного магнита помещен с зазором 2.0-2.5 мм круглый стальной сердечник. В зазоре между сердечником и полюсами находится прямоугольная рамка, укрепленная на пружинках (на рисунке не показаны), которая может свободно поворачиваться в зазоре. Проходя по рамке, ток взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита и создает крутящий момент M , стремящийся повернуть рамку с прикрепленной к ней стрелкой. Закручивающиеся пружинки противодействуют повороту рамки, что приводит к тому, что каждому значению силы тока соответствует одно вполне определенное положение рамки.

Существует несколько модификаций такого механизма, в том числе логометр, содержащий две скрещенные катушки.

Достоинствами приборов магнитоэлектрической системы являются высокая чувствительность по току и незначительное влияние посторонних магнитных полей на показания приборов из-за наличия сильного постоянного магнита.

Однако наибольшее распространение в промышленности получили приборы, называемые *автоматическими компенсаторами*. Структурная схема автоматического компенсатора приведена на рисунке 3.16.

Вследствие изменения измеряемого сигнала в измерительной схеме появляется небаланс. Сигнал небаланса после усиления поступает на реверсивный двигатель, который восстанавливает равновесие в измерительной схеме.

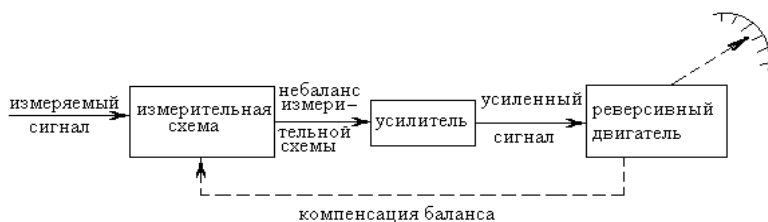


Рис.3.16. Структурная схема автоматического компенсатора

По типу измерительной схемы автоматические компенсаторы делятся на автоматические мосты, автоматические потенциометры и приборы с дифференциально-трансформаторной измерительной схемой.

Автоматические мосты предназначены для измерения любых технологических параметров, значение которых может быть преобразовано в активное сопротивление.

Мостовая схема (рис. 3.17) осуществляется как на постоянном токе (рис. 3.17, а), так и на переменном (рис. 3.17, б) и может быть двух видов: неравновесная (небалансная) и равновесная (балансная). При неравновесной мостовой схеме для осуществления воздействия или измерения используют ток (напряжение). При равновесной мостовой схеме нулевого тока изменение сопротивления одного плеча компенсируется изменением сопротивления другого плеча до момента исчезновения тока. Определяющей величиной этой схемы является компенсирующее сопротивление.

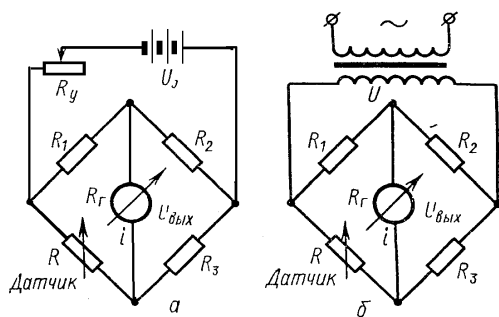


Рис. 3.17. Мостовые схемы включения датчика.

Автоматические потенциометры предназначены для измерения любых технологических параметров, значение которых может быть преобразовано в э.д.с. небольшой величины.

Основной особенностью потенциометра является то, что в нем происходит уравнивание (компенсация) измеряемой э.д.с. известной разностью потенциалов, создаваемой батареей.

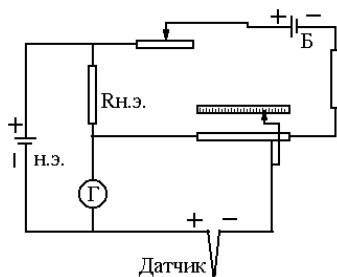


Рисунок 3.18.
Принципиальная схема
потенциометра с
термоэлектрическим
термометром

Д и ф ф е р е н ц и а л ь н о – т р а н с ф о р м а т о р н ы е
п р и б о р ы предназначены для измерения любых технологических
параметров, значение которых может быть преобразовано в линейное
перемещение.

4. СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Понятия сбора и обработки результатов измерений по мере
развития и совершенствования измерительной техники, особенно в
связи с появлением микроэлектроники и созданием на ее основе
микропроцессоров и микроЭВМ, претерпевают определенные
изменения.

Сегодня, если речь идет о сборе данных, понимают под этим
централизованный сбор измерительной информации в системе,
несмотря на возможность ее предварительной регистрации. Сбор
результатов измерений в современном представлении – это процесс
подготовки первичной измерительной информации с целью ее
последующего ввода в центральную ЭВМ информационно-
измерительной системы (ИИС) для дальнейшей обработки.

Этот процесс включает не только промежуточное запоминание
информации и передачу ее в пригодной для этого форме, но и
предварительную (первичную) обработку данных – сравнение их
текущих значений с заданными, сжатие информации, вычисление
результатов косвенных измерений, линеаризацию характеристик
датчиков, коррекцию погрешностей, статистическое оценивание
результатов измерений и ряд других сравнительно простых
вычислительных и логических операций. Обработка результатов
измерений может выполняться как в аналоговой, так и в цифровой
форме.

Основные принципы построения современных систем сбора
данных определяет необходимость реализации ими следующих
основных функций:

- опрос точек (объектов) измерений по заранее заданной
программе или в зависимости от определенных условий
(оба подхода обычно сочетаются);
- подготовка первичных результатов измерений для
дальнейшего их использования;

- контроль граничных значений измеряемых величин;
- сравнение измеренных значений между собой или с заданными значениями;
- отбор результатов измерений по определенным критериям;
- протоколирование результатов измерений по определенным признакам;
- сжатие измерительных данных, в частности, их объединение по определенным признакам с передачей последний в виде соответствующих кодов;
- формирование сигналов для воздействия на объект управления (регулирования).

Блок-схема иерархии перечисленных функций и их взаимосвязей приведена на рис. 4.1.

Для обработки результаты измерений должны быть представлены в цифровой форме, обычно путем аналого-цифрового преобразования сигналов. Простейшая обработка цифровых сигналов может осуществляться основными логическими элементами, реализуемыми на электромагнитных реле или полупроводниковых схемах.

Функции датчиков, по мере развития их конструкции и технологии производства, расширялись. С развитием микроэлектронной техники появились возможности производства так называемых "интеллектуальных датчиков" - интегральных датчиков с расширенными функциями по преобразованию и подготовке сигналов чувствительных элементов для их дальнейшей передачи и обработки, а также использования для этих целей в датчиках неминиатюрного исполнения интегральных микросхем аналого-цифрового преобразования.

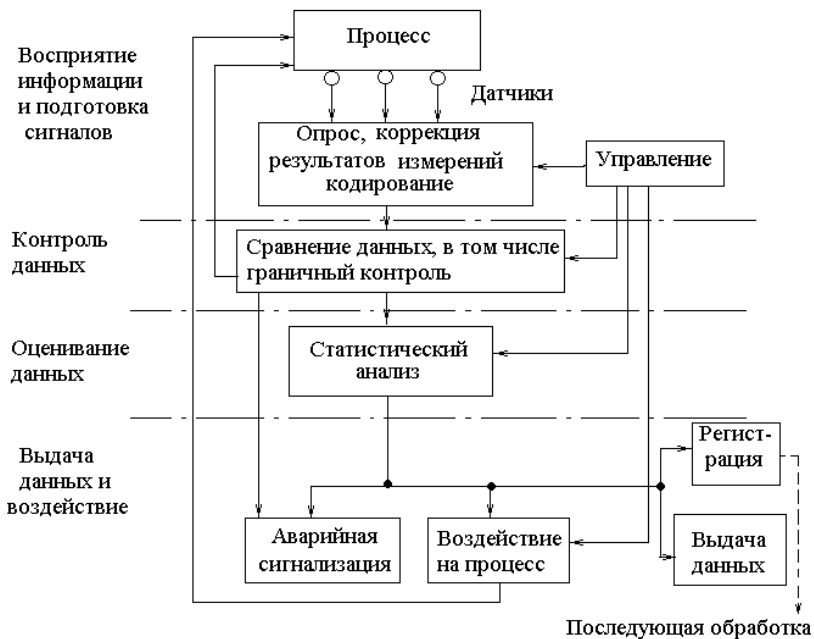


Рис. 4. 1. Блок-схема функций ИИС /Х.Харт/

Этапы этого развития отражены диаграммой на рис.4.2

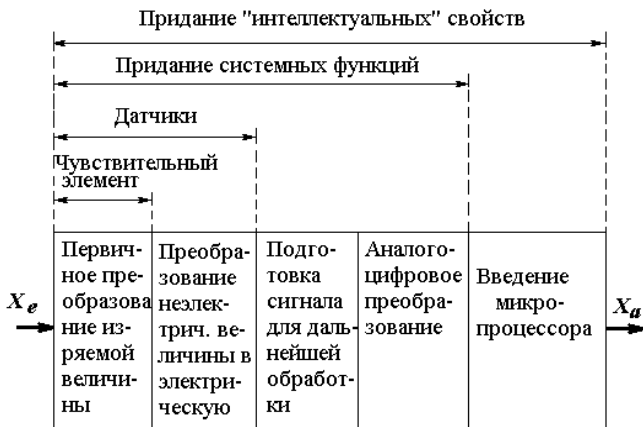


Рис. 4.2. Диаграмма, иллюстрирующая этапы развития и совершенствования датчиков. /Х.Харт/

"Интеллект" датчику обеспечивает встраиваемый микропроцессор, реализующий требуемый алгоритм измерений и первичную обработку данных: коррекцию погрешностей, в том числе линеаризацию характеристики преобразования, статистическое оценивание результатов, распознавание и отбраковку данных и др.

Номенклатура современных средства цифровой обработки данных, выпускаемых в виде интегральных микроэлектронных схем, чрезвычайно разнообразна – от простейших логических интегральных схем до микропроцессоров и микроЭВМ.

Применение микропроцессорной техники позволяет:

- обрабатывать большой объем результатов измерений;
- интегрировать ряд величин и получать средние значения;
- хранить большие объемы данных;
- выполнять сравнительно простые вычисления в реальном масштабе времени, т.е. в темпе поступления результатов измерений и протекания управляемого процесса;
- использовать универсальный центральный процессор и быстро изменять программы;
- оператор имеет возможность вмешательства в процесс управления;
- отображать результаты измерения в аналоговой и цифровой формах;
- формировать сигналы для исполнительных органов.

С помощью микропроцессорных систем достигаются многофункциональность приборов, упрощение управления процессом измерения, автоматизация регулировок, самокалибровка и автоматическая поверка, улучшение метрологических характеристик прибора, статистическая обработка результатов измерений.

5. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРИБОРОВ

В конце 50-х годов в нашей стране с целью технически и экономически целесообразного решения проблемы обеспечения технологических процессов различных отраслей промышленности средствами контроля и автоматического регулирования были начаты разработки методов упорядочения и унификации средств автоматизации, которые положили начало созданию Государственной системы приборов и средств автоматизации (ГСП).

В настоящее время ГСП достаточно полно разработана и продолжает развиваться.

Изделия ГСП по функциональному признаку разделяются на следующие группы устройств: для получения информации о состоянии процесса; приема, преобразования и передачи информации по каналам связи; преобразования, хранения и обработки информации и формирования команд управления; использования командой информации для воздействия на объект управления. Устройства могут сочетать отдельные функции. Роль основных функциональных групп приборов и устройств нетрудно видеть из обобщенной функциональной схемы применения технических средств автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), показанной на рис. 5.1.

В основу построения ГСП положены следующие принципы:

- функциональное разделение технических средств на основе типизации функциональных задач и структур систем автоматического контроля, регулирования и управления;
- минимизация номенклатуры технических средств с учетом максимального удовлетворения потребности народного хозяйства на основе создания агрегатных комплексов технических устройств и параметрических рядов приборов;
- агрегатное построение технических средств (приборов и устройств) на основе типовых унифицированных блоков и модулей;
- агрегатное построение систем управления на основе унифицированных приборов и устройств;
- совместимость приборов и устройств ГСП при работе в АСУ ТП на основе унификации сигналов связи, конструкций и присоединительных размеров, параметров питания устройств, эксплуатационных требований, метрологических характеристик средств измерения и преобразования.

Системотехнические принципы, положенные в основу построения ГСП, позволяют экономически и технически рационально решать проблему обеспечения техническими средствами АСУ ТП, а также ускорить прогресс в области развития АСУ ТП, типизации их структур и создать предпосылки для перехода к машинному проектированию на базе стандартных средств.

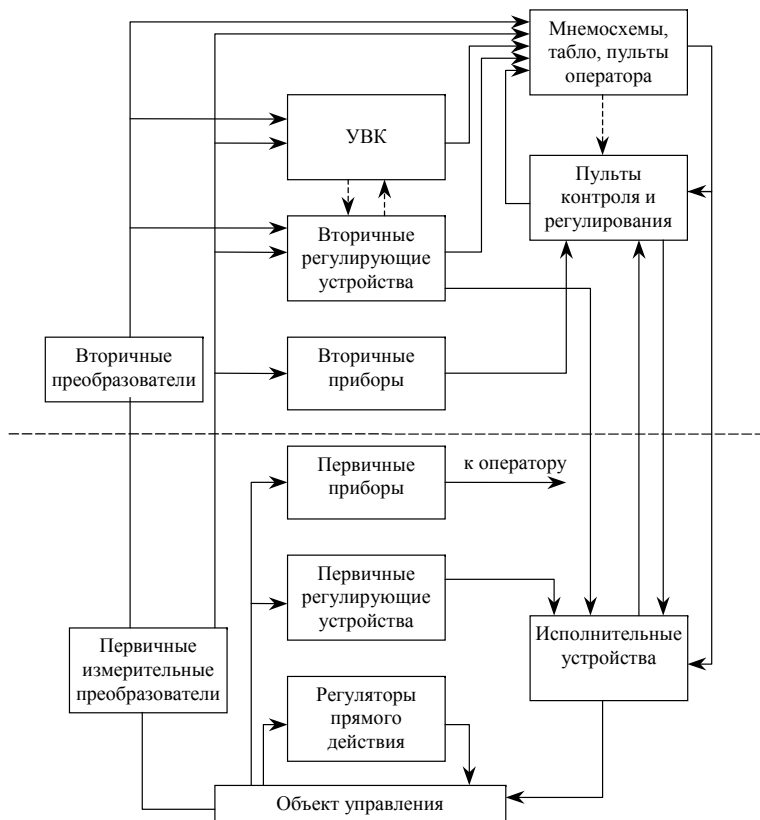


Рис. 5.1. Обобщенная функциональная схема ГСП.

Принцип минимизации номенклатуры средств контроля и управления реализуется на основе разработки выпуска агрегатных комплексов (АК) технических средств и унифицированных комплексов (УК) устройств одного функционального назначения.

Эффективным инструментом минимизации номенклатуры является разработка параметрических рядов приборов, одинаковых по функциональному назначению, но различающихся по своим параметрам.

Принцип агрегатного построения устройств применительно к изделиям ГСП можно сформулировать как построение совокупности

устройств различного функционального назначения из ограниченного набора унифицированных блоков или модулей, составляемых из конструкций низшего порядка методом стыковки.

Это сокращается число деталей, обеспечивает взаимозаменяемость приборов в целом и отдельных их узлов, значительно упрощает и удешевляет процессы обслуживания и ремонта приборов.

В ГСП широко применяется система унифицированных типовых конструкций (УТК), которая представляет собой универсальную систему конструктивных элементов, обеспечивающую унификацию и стандартизацию конструкций широкой номенклатуры устройств. Они являются конструктивной базой регистрирующих, регулирующих, вычислительных и других устройств, предназначенных для преобразования, обработки и отображения информации и формирования командных сигналов. В номенклатуру УТК, входят монтажные платы, блочные и приборные каркасы, комплектные вставные каркасы, щитовые секции, пульта, шкафы (рис. 5.2.).

Применение унифицированных типовых конструкций (УТК) обеспечивает способ конструктивной компоновки технических средств из плоских или объемных частей, устанавливаемых при монтаже обычно при помощи разъемных соединений.

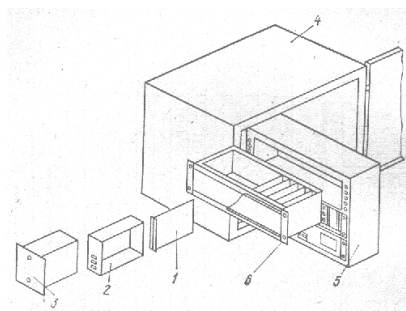


Рис. 5.2. Схема компоновки изделий различного уровня комплекса УТК:

1 — платы монтажные выдвигаемые; 2 — блочные каркасы; 3 — приборные каркасы; 4 — шкафы; 5 — щитовые секции каркасные; 6 — каркасы комплектные вставные.

Преимущества агрегатного метода построения разнообразных АСУ ТП обеспечивает важнейший системотехнический принцип,

состоящий в реализации концепции совместимости изделий ГСП.

Под совместимостью понимается совокупность характеристик, обеспечивающих совместное использование технических средств в заранее предусмотренных сочетаниях для построения комплексных устройств и систем без применения дополнительных приспособлений и устройств.

Разработаны общие для всех изделий ГСП основные понятия *совместимости*.

Конструктивная совместимость — совокупность характеристик, обеспечивающих согласованность конструктивных параметров и механическое сопряжение технических средств, а также выполнение эргономических норм и эстетических требований при совместном использовании.

Метрологическая совместимость — совокупность метрологических характеристик, обеспечивающих сопоставимость результатов измерений и возможность расчета погрешности результатов измерений при работе технических средств в составе системы.

Энергетическая совместимость — совокупность энергетических характеристик, обеспечивающих совместную работу устройств от общих стандартных источников питания.

Эксплуатационная совместимость — совокупность эксплуатационных характеристик, обеспечивающих работоспособность и надежность функционирования технических средств при совместном использовании в определенных производственных условиях, а также удобство обслуживания, настройки и ремонта.

Информационная совместимость — совокупность стандартизованных характеристик, обеспечивающих согласованность сигналов связи по видам и номенклатуре, их информативным параметрам, уровням, пространственно-временным соотношениям, логическим соотношениям и типу логики. Для всех изделий ГСП приняты унифицированные сигналы связи и единые интерфейсы.

Под естественным выходным сигналом понимают выходную физическую величину первичного измерительного преобразователя, полученную однократным простым ("естественным") преобразованием измеряемой величины. Применительно к информационным связям термин "унификация" означает введение ограничений, налагаемых на сигналы, несущие сведения о контролируемой величине или команде.

Унифицированный сигнал ГСП — это сигнал дистанционной

передачи информации с унифицированными параметрами, обеспечивающий информационное сопряжение между блоками, приборами и устройствами ГСП.

В зависимости от рода используемой энергии средства измерений и вспомогательные устройства ГСП подразделяют на четыре самостоятельные ветви: электрическую, пневматическую, гидравлическую и не использующую вспомогательной энергии. Все средства измерений и устройства электрической и гидравлической ветвей имеют унифицированные входные и выходные сигналы, перечень которых приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Основные виды унифицированных сигналов ГСП

| Вид сигнала | Физическая величина | Параметры сигнала |
|----------------|-----------------------|--|
| Электрический | Постоянный ток | $0 \div 5$; $0 \div 20$; $-5 \div 0 \div 5$; $4 \div 20$ мА |
| | Постоянное напряжение | $0 \div 10$; $0 \div 20$; $-10 \div 0 \div 10$ мВ $0 \div 10$; $0 \div 1$; $-1 \div 0 \div 1$ В |
| | Переменное напряжение | $0 \div 2$; $-1 \div 0 \div 1$ В |
| | Частота | $2 \div 8$; $2 \div 4$ кГц |
| Пневматический | Давление | $0,02 \div 0,1$ МПа |
| Гидравлический | " | $0,1 \div 6,4$ Мпа |

Связь электрических, пневматических и гидравлических устройств осуществляется с помощью соответствующих преобразователей сигналов.

Для преобразования естественного выходного сигнала в унифицированный в ГСП используются нормирующие преобразователи.

АСУТП, комплектуемые из приборов электрической ветви, имеют преимущества по чувствительности, точности, быстродействию, обеспечивают высокую схемную и конструктивную унификацию приборов.

Применение интегральных микросхем способствует уменьшению веса и габарита приборов, повышению их надежности, расширению функциональных возможностей, позволяет создавать многофункциональные приборы.

Приборы пневматической ветви характеризуются безопасностью применения в пожароопасных, взрывоопасных и агрессивных средах. Они уступают электрическим приборам в тех случаях, когда

технологический процесс требует высокого быстродействия или передачи сигналов на значительные расстояния.

Гидравлические приборы позволяют получать точные перемещения исполнительных механизмов при больших усилиях.

6. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР

В зависимости от принципа действия промышленные приборы для измерения температур делятся на следующие группы:

- 1) Манометрические термометры, основанные на использовании зависимости давления вещества при постоянном объеме от изменения температуры.
- 2) Термометры сопротивления, основанные на изменении электрического сопротивления проводников и полупроводников при изменении температуры.
- 3) Термоэлектрические термометры, основанные на зависимости термоэлектродвижущей силы термопары от температуры.
- 4) Пирометры излучения, из которых наибольшее распространение получили:
 - а) яркостные (оптические), основанные на измерении яркости нагретого тела;
 - б) цветовые (пирометры спектрального отношения), основанные на измерении распределения энергии в спектре теплового излучения тела;
 - в) радиационные, основанные на измерении мощности излучения нагретого тела.

6.1. Манометрические термометры

Конструктивно они состоят из теплоприемника – баллончика (1), где в основном заключено термометрическое вещество, манометра (3) и связывающего их металлического капилляра (2) (рис.6.1).

Вся система прибора (термобаллон, капилляр, манометрическая пружина) заполняется рабочим веществом. По заполнению манометрической системы рабочим веществом различают газовые,

жидкостные и парожидкостные (конденсационные) манометрические термометры.

Термобаллон помещают в зону измерения температуры. При нагревании термобаллона давление рабочего вещества внутри замкнутой системы увеличивается. Увеличение давления воспринимается манометрической трубкой (пружинной), которая воздействует через передаточный механизм на стрелку или перо прибора.

Термобаллон прибора обычно изготавливают из нержавеющей стали, а капилляр – из медной или стальной трубки внутренним диаметром 0,10-0,5 мм. В зависимости от назначения прибора длина капиллярной трубки может быть различна (до 60 м). Для защиты от механических повреждений капилляр помещают в защитную оболочку.

Манометрические термометры широко применяют в химических производствах. Они просты по устройству, надежны в работе и при отсутствии электропривода диаграммной бумаги – взрыво- и пожаробезопасны.

Шкала манометра градуируется в единицах температуры. Манометрическими термометрами измеряют температуру в пределах от -150 до $+600$ $^{\circ}\text{C}$.

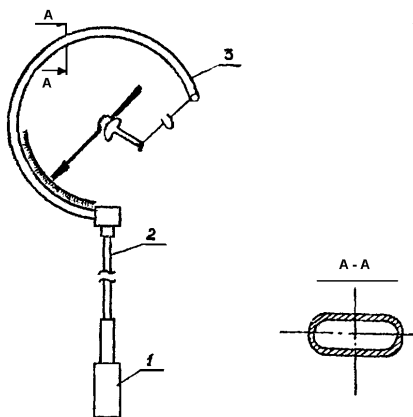


Рис. 6.1. Схема устройства показывающего манометрического термометра

При измерении агрессивных сред или продуктов в аппаратах, работающих при высоких давлениях, термобаллон манометрического термометра устанавливается в защитной гильзе.

6.2. Термометры сопротивления

Для измерения температуры широко используются электрические методы, основанные на термоэлектрическом эффекте и изменении электрической проводимости металлов (термометры сопротивления) и полупроводников (термисторы).

Металлические и полупроводниковые резисторы, используемые для измерения температуры по изменению их сопротивления, называют также терморезисторами.

На рис. 6.2 показана одна из конструкций металлического термометра сопротивления. Для изготовления таких термометров используют химически чистые металлы, обладающие положительным высокостабильным температурным коэффициентом сопротивления, линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инерционностью по отношению к воздействиям окружающей среды. К таким металлам в первую очередь относится платина. Широко распространены медные термометры сопротивления, а также вольфрамовые и никелевые

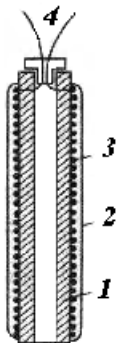


Рис 6.2. Конструкция металлического термометра сопротивления.

1 – керамический каркас; 2 – покрытие из глазури; 3 – бифилярная обмотка проводом диаметром 0.03 или 0.05 мм; 4 – выводные концы

В отличие от металлических полупроводниковые резисторы – термисторы – характеризуются экспоненциальной зависимостью сопротивления от температуры. Одна из конструкций термисторного преобразователя температуры представлена на рис. 6.3. Благодаря малым по сравнению с термометрами сопротивлений размерам

термисторы менее инерционны. Однако нелинейность характеристики и технологический разброс параметров термисторов затрудняют получение линейных шкал термометров и их взаимозаменяемость, необходимую при широком применении термометров. Чтобы линеаризовать шкалу термисторного термометра, используют специальные корректирующие цепи.

Температурный предел измерений термистора на оксидированной керамике составляет 300°C , тогда как платинового термосопротивления этот предел достигает 850°C .

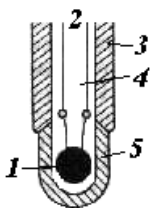


Рис. 6.3. Конструкция термистора.

1 – термистор; 2 – соединительные проводники; 3 – металлический кожух; 4 – кварцевый песок; 5 – стеклянный наконечник.

Для измерения сопротивлений в технике широко применяют мостовые схемы: уравновешенный и неуравновешенный мост, а также логометры.

6.3 Термоэлектрические термометры

Первичным преобразователем (датчиком) термоэлектрического термометра служит термопара, состоящая из двух проводников или полупроводников А и Б с разной работой выхода электронов. Принцип действия термопары основан на термоэлектрическом эффекте, заключающемся в том, что в замкнутой цепи, состоящей из двух или нескольких разнородных проводников, возникает электрический ток, если хотя бы два места соединения (спая) проводников имеют разную температуру.

Один из спаев с температурой t является горячим или рабочим, а температуру t_0 второго спая (холодного) поддерживают строго постоянной. Для включения измерительного прибора необходимо разорвать цепь термопары (рис. 6.4.)

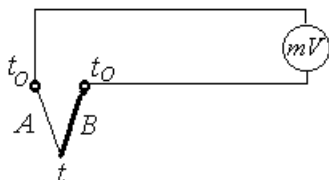


Рис. 6.4. Схема включения термопары

В качестве измерительных приборов (вторичных) в термоэлектрических термометрах используются милливольтметры и потенциометры.

6.4. Пирометры излучения

Оптические методы измерений имеют ряд преимуществ перед контактными методами, такие как исключение влияния измеряемой температуры на свойства термометра, исключение агрессивного воздействия контролируемой среды на термометр, достаточно высокое быстродействие, отсутствие искажения температурного поля, вызванного введением чувствительного элемента прибора в измеряемую среду.

Принцип действия пирометров излучения основан на использовании теплового излучения нагретых тел. Тепловое излучение всякого тела можно охарактеризовать спектральной плотностью, т.е. количеством энергии, приходящимся на единицу диапазона длин волн излучения.

Оптические средства измерений температуры по воспринимаемому излучению носят название пирометров. По воспринимаемой входной величине пирометры делятся на радиационные (воспринимающие полную энергию излучения), яркостные (воспринимающие энергию излучения в какой-либо узкой части спектра) и цветовые (основанные на измерении интенсивностей излучения).

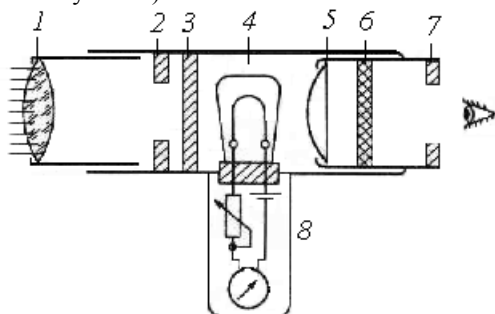


Рис. 6.5.
Яркостный оптический пирометр.

1 — объектив; 2 — диафрагма; 3 — серый светофильтр; 4 — вольфрамовая нить лампы; 5 — окуляр; 6 — красный светофильтр; 7 — окуляр; 8 — ручка (поворачивается вместе с окуляром на 90°).

На рисунке 6.5 схематично представлен яркостный оптический пирометр, работающий по принципу сравнения (на узком участке спектра) яркости контролируемого объекта с яркостью образцового

излучателя. Сравнивая яркости двух объектов по спектральным плотностям излучения, можно измерить температуру контролируемого объекта.

В качестве образцового излучателя в пирометре используется лампа с вольфрамовой нитью 4. Оптическая часть пирометра представляет собой телескоп с объективом 1 и окуляром 7. Для ограничения полосы частот перед окуляром помещен красный светофильтр 6. Оператор, наблюдая контролируемый объект через окуляр, сравнивает его яркость с яркостью вольфрамовой нити и, изменяя последнюю регулированием тока в цепи нити, добивается равенства яркостей. Этот момент наступает, когда нить становится неразличимой на красном фоне контролируемого объекта. Яркость нити и соответствующая температура определяются по их зависимости от тока.

При описанном уравнивании шкала прибора получается существенно нелинейной, так как яркость нити пропорциональна пятой степени тока ее накала. Линейность шкалы обеспечивается при постоянстве яркости нити и изменении наблюдаемой яркости объекта введением нейтрального светофильтра переменной плотности (оптического клина), угол поворота которого является выходной величиной, линейно связанной с яркостью. Измерения могут быть автоматизированы с использованием фотоприемного устройства и системы автоматического уравнивания.

7. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Приборы для измерения давления обычно классифицируются по принципу действия и по роду измеряемой величины.

По принципу действия промышленные приборы для измерения давления делятся на следующие основные группы:

1) жидкостные, основанные на уравнивании измеряемого давления гидростатическим давлением столба жидкости;

2) пружинные, измеряющие давление по величине деформации упругого элемента.

По роду измеряемой величины приборы для измерения давления и разрежения делятся на следующие типы:

1) манометры — приборы для измерения избыточного давления;

- 2) вакуумметры—приборы для измерения разрежения (вакуума);
- 3) мановакуумметры — приборы для измерения избыточного давления и вакуума;
- 4) напоромеры — приборы для измерения малых избыточных давлений;
- 5) тягомеры—приборы для измерения малых разрежений;
- 6) тяго-напоромеры — приборы для измерения малых давлений и разрежений;
- 7) дифференциальные манометры — приборы для измерения разности давлений;
- 8) барометры — приборы для измерения барометрического давления.

7.1. Жидкостные приборы

Жидкостные приборы отличаются простотой устройства и обращения, невысокой стоимостью и относительно высокой точностью измерения. Благодаря этим достоинствам жидкостные приборы широко применяются для лабораторных и технических измерений. В качестве рабочей жидкости в зависимости от величины измеряемого давления или разрежения, а также от химических свойств измеряемого вещества применяются вода, спирт, ртуть и минеральные масла.

Жидкостные приборы служат для измерения небольших избыточных давлений, разрежений, разности давлений, а также атмосферного давления. Для технических измерений жидкостные приборы выполняются в виде комбинированных жидкостно-механических приборов.

В настоящее время номенклатура жидкостных средств измерений давления с гидростатическим уравниванием существенно ограничена. В большинстве случаев они заменены на более совершенные деформационные средства измерений. К числу жидкостных средств измерения применяющихся в промышленности относятся поплавковые, кольцевые и колокольные дифманометры.

Поплавковые приборы представляют собой U-образные жидкостные манометры, у которых одно из колен расширено, и в нем помещён поплавок. Поплавок связан со стрелкой, движущейся по шкале. Поплавковые приборы чаще всего используются как дифференциальные, т. е. для измерения перепада давления между двумя точками.

На рис. 7.1 показана схема поплавкового дифференциального манометра (дифманометра). Принцип действия поплавкового дифманометра основан на уравнивании измеряемого перепада давления гидростатическим давлением, создаваемым столбом жидкости, заполняющей дифманометр. При подключении прибора к объекту измерения большее давление подается в сосуд большего диаметра. Подача давления осуществляется через вентили.

В процессе измерения уровень жидкости в широком сосуде изменяется, перемещая поплавок, который через механическую передачу перемещает указатель отсчетного устройства. Перемещение поплавка будет происходить до тех пор, пока измеряемая разность давлений $p_1 - p_2$ не уравнивается весом столба жидкости высотой

$$h = h_1 + h_2$$

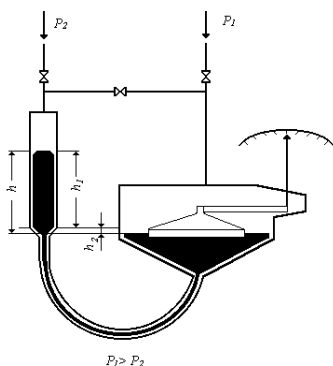


Рис. 7.1. Схема поплавкового дифференциального манометра

Поплавковые дифманометры-расходомеры имеют различные пределы измерения перепада давления от 6,3 кПа до 0,10 МПа. Приборы с различными пределами измерения отличаются только по внутреннему диаметру минусового сосуда и его высоте.

Класс точности поплавковых дифманометров 1,0 и 1,5. Для передачи на расстояние информации о значении измеряемого перепада давления, рассматриваемые дифманометры оснащаются преобразователями перемещения указателя в унифицированный сигнал измерительной информации.

Высокая точность измерений и возможность регистрации показаний без применения специальных источников энергии являются преимуществами дифманометров данного типа. Основным их

недостатком является наличие токсичной жидкости – ртути, которая при резких перепадах давления может вылиться из прибора. Для исключения возможности выброса жидкости при подключении прибора к объекту открывают вентиль, соединяющий сосуды дифманометра, а после стабилизации давления в обоих сосудах вентиль закрывают.

Кольцевые приборы. Кольцевыми приборами можно измерять малые давления, разрежения и разности давлений.

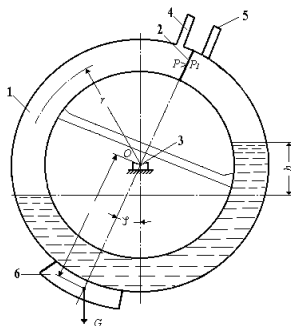


Рис. 7.2. Схема
кольцевого прибора:

1 – кольцо; 2 –
перегородка; 3 – опора;
4 и 5 – подводящие
(соединительные)
трубки; 6 – груз

На рис.7.2. показана схема кольцевого дифманометра. Он состоит из полого замкнутого кольца 1, разделенного сверху перегородкой 2. Кольцо подвешено при помощи ножевой опоры 3 в геометрическом центре О. С обеих сторон перегородки 2 в кольцо входят трубки 4 и 5, служащие для соединения полостей кольца с измеряемым давлением или разрежением. К нижней части кольца прикреплен груз 6. Полость кольца до половины заполнена жидкостью (водой, маслом, ртутью).

При соединении обеих полостей кольца с пространствами, в которых имеются давления p и p_1 (причем $p > p_1$), разность уровней h будет пропорциональна разности давлений $p - p_1$. Эта разность давлений $p - p_1$, действующая на перегородку 2, создает вращающий момент, под действием которого кольцо поворачивается вокруг точки опоры по часовой стрелке. Поворот кольца создает противодействующий момент. При уравнивании обоих моментов кольцо остановится в новом положении равновесия.

Наибольшая возможная величина верхнего предела измерения разности давлений определяется главным образом размерами кольца и плотностью затворной жидкости и обычно составляет 33325 н/м^2 (250 мм рт. ст.) для приборов с ртутным заполнением и $2452,5 \text{ н/м}^2$ (250

мм вод. ст.) для приборов с водяным или масляным заполнением. Изменение пределов измерения осуществляется сменой уравнивающего груза.

Приборы с водяным и масляным заполнением предназначаются для работы при избыточном давлении до $0,049 \text{ Мн/м}^2$ ($0,5 \text{ кг/см}^2$); приборы с ртутным заполнением до $(0,98-9,8) \text{ Мн/м}^2$ ($10-100 \text{ кг/см}^2$).

Основная допустимая погрешность кольцевых приборов не превышает $1,1-1,5\%$ от верхнего предела измерения.

Преимуществом кольцевых приборов перед поплавковыми является отсутствие уплотнительных устройств в передаточном механизме, что особенно важно для приборов, рассчитанных на высокие давления. Недостаток — давление подводится через трубки, которые могут вносить погрешность в измерения.

Передача показаний на расстояние производится с помощью ферродинамической системы.

Колокольные приборы используются для измерения малых давлений и разрежений (тягимеры и напоромеры) и в качестве дифференциальных манометров.

Принципиальная схема колокольного прибора показана на рис. 7.3. Прибор состоит из сосуда 1, содержащего жидкость, в которую погружён колокол 2. Под колокол введена трубка 3, служащая для подачи под колокол давления или разрежения. При подаче под колокол давления он поднимается, так как на него действует дополнительное усилие, направленное вверх.

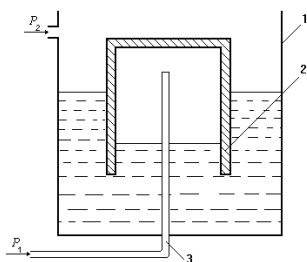
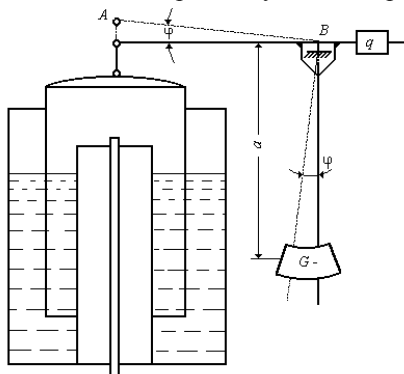


Рис. 7.3. Схема колокольного прибора
1 – сосуд; 2 – колокол; 3 – трубка

Чтобы превратить эту систему в измерительный прибор, необходимо обеспечить однозначность величины перемещения колокола и изменения давления. Для этого в систему должно быть введено

переменное противодействующее усилие, функционально зависящее от перемещения колокола. В существующих колокольных приборах используют для создания противодействующего усилия архимедову силу, груз или пружину. Наиболее простой случай – использование колокола с толстыми стенками (уравновешивание архимедовой силой). При этом колокол будет подниматься до тех пор, пока усилие, действующее на колокол, не уравнивается изменением выталкивающей силы.

На рис.7.4 показана принципиальная схема колокольного прибора с уравнивающим грузом. В этом случае колокол подвешивается к коромыслу, к которому крепится груз G . При



изменении давления или разрежения колокол опустится на некоторую величину H . При этом коромысло и шток груза G повернутся на некоторый угол φ .

Рис. 7.4. Схема колокольного прибора с уравнивающим грузом

Чувствительным элементом дифманометра, показанного на рис. 7.5, является тонкостенный колокол 1, частично погруженный в жидкость и подвешенный на пружине 2. Так как плотность материала колокола обычно больше плотности рабочей жидкости, то в начальном положении (при $p_1=p_2=0$) пружина будет несколько растянута, уравнивая разность между силой тяжести колокола и гидростатическим давлением жидкости на его стенки. По мере нарастания перепада давления начинается подъем колокола, вызывающий вначале ликвидацию растянутого положения пружины, а затем перевод ее в сжатое состояние.

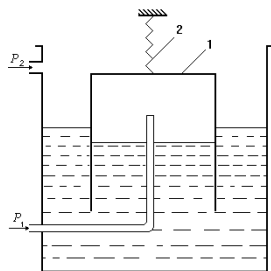


Рис. 7.5. Схема колокольного дифманометра с пружинным противодействием: 1 – колокол; 2 – пружина.

7.2 Пружинные приборы

Принцип действия пружинных приборов основан на уравнивании измеряемой величины усилиями деформации различного вида упругих элементов. Величина деформации упругого элемента с помощью различных устройств преобразуется в угловое или линейное перемещение указателя по шкале прибора.

Достоинствами пружинных приборов являются простота устройства и эксплуатации, универсальность, портативность и большой диапазон измеряемых величин.

Пружинные приборы можно разделить на следующие группы.

1. Приборы с трубчатой пружиной (рис. 7.6, а и б). Приборы этого типа часто называются пружинными в отличие от мембранных и сильфонных приборов.

2. Мембранные приборы, в которых преобразование давления в перемещение осуществляется упругой мембраной (рис. 7.6, в), анероидной или мембранной коробкой (рис. 7.6, г, д), блоком анероидных или мембранных коробок (рис. 7.6, е, ж).

3. Приборы, в которых измеряемое давление предварительно преобразуется в усилие, действующее на пружину. К этой группе приборов относятся:

а) пружинно-мембранные с гибкой мембраной (рис. 7.6, з);

б) пружинно-сильфонные (рис. 7.6, и).

4. Приборы, у которых упомянутое преобразование осуществляется гармониковой мембраной (сильфоном) (рис. 7.6, к).

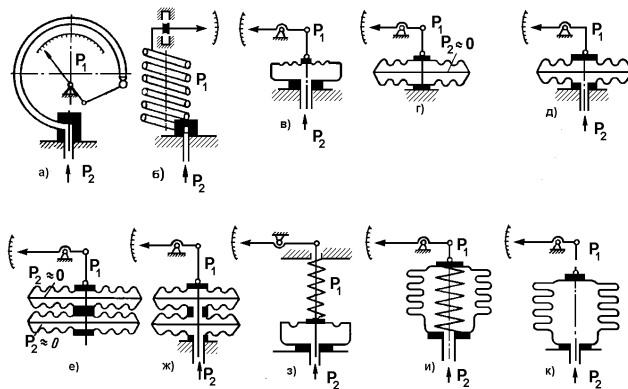


Рис. 7.6. Типы пружинных приборов

Приборы с трубчатыми пружинами. Наибольшее применение имеют приборы с одновитковой трубчатой пружиной. Такие пружины применяются в манометрах, вакуумметрах, мановакуумметрах и дифманометрах.

Основная деталь прибора с одновитковой трубчатой пружиной — согнутая по дуге окружности трубка 1 эллиптического или плоскоовального сечения (рис. 7.7). Одним концом трубка заделана в держатель 2, оканчивающийся ниппелем с резьбой для присоединения к источнику давления.

Внутри держателя проходит канал, который соединяется с внутренней полостью трубки 1.

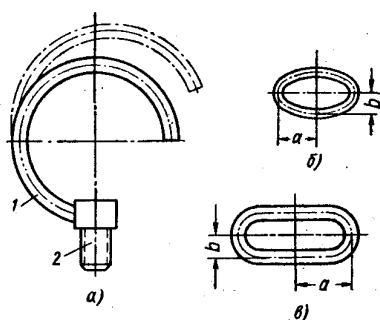


Рис. 7.7 Приборы с одновитковой трубчатой пружиной:

а — схема трубчатой пружины: 1 — трубка; 2 — держатель; б — эллиптическое поперечное сечение трубки; в — плоско-овальное поперечное сечение трубки

Принцип действия приборов с трубчатой пружиной основан на свойстве трубчатой криволинейной пружины с *некруглым* поперечным сечением изменять свою кривизну при изменении избыточного давления или разрежения внутри трубки. Если в трубку подать избыточное давление, то кривизна трубки уменьшится и она распрямится; при создании разрежения внутри трубки кривизна ее возрастает и она скручивается.

Перемещение свободного конца трубки посредством передаточного механизма преобразуется в поворот стрелки показывающего прибора или во входное перемещение электрического или пневматического вторичного преобразователя.

Мембранные приборы. Приборы с чувствительным элементом в виде гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков широко применяются для измерения небольших избыточных давлений и разрежении (манометры, напоромеры и тягомеры), а также перепадов давления (дифманометры-расходомеры).

Зависимость прогиба от давления в общем случае нелинейна. Величина прогиба мембраны является сложной функцией действующего на нее давления, ее геометрических параметров (диаметра, толщины, числа, формы и размеров гофров), а также модуля упругости материала мембраны.

Гофрировка мембраны увеличивает ее жесткость, т. е. уменьшает прогиб при одинаковом давлении, но одновременно она преобразует характеристику мембраны в линейную.

С целью увеличения прогиба в приборах для малых давлений (разрежении) мембраны попарно соединяют (сваркой или спайкой) в мембранные коробки, а коробки — в мембранные блоки. Мембранные коробки могут быть анероидными (рис. 7.6, *з*) и манометрические (рис. 7.6, *д*). Анероидные коробки, применяющиеся в барометрах и барографах, герметизированы и заполнены воздухом или каким-либо газом при очень малом давлении, обычно около $1,33 \text{ н/м}^2$ ($0,01 \text{ мм рт. ст.}$). Деформация анероидной коробки происходит под действием разности давления окружающей ее среды и давления в полости коробки.

Так как давление в полости коробки очень мало, то можно считать, что ее деформация определяется атмосферным давлением. Величина деформации анероидной или манометрической коробки равна сумме деформаций составляющих ее мембран.

Манометрические мембранные коробки применяются в тягомерах и напоромерах для измерения небольших давлений и разрежении — до $15\,680 \text{ н/м}^2$ (1600 мм вод. ст.).

Пружинно-мембранные приборы отличаются от описанных выше тем, что в них мембрана, воспринимающая давление, выполнена из гибкого материала (вялая мембрана) и давление уравнивается вследствие упругости цилиндрической винтовой пружины. Гибкие мембраны обычно изготавливаются из резины с тканевой основой, из ткани с газонепроницаемой пропиткой или из гибких пластмасс. Вялые мембраны применяются в тягомерах, напоромерах, тяго-напоромерах и дифманометрах.

К недостаткам мембранных приборов относятся небольшой ход подвижного центра чувствительного элемента, значительные отклонения жесткости мембран от расчетной и трудность регулирования жесткости мембран. Эти недостатки мембранных чувствительных элементов устраняются в приборах, построенных по схеме силовой электрической или пневматической компенсации.

Сильфонные приборы. Чувствительным элементом сильфонных приборов является цилиндрический тонкостенный сосуд с кольцевыми складками (гофрами), называемый сильфоном.

При действии осевой нагрузки (внешнего или внутреннего давления) длина сильфона изменяется, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от направления приложенной силы. В пределах рабочего диапазона давлений деформация сильфона приблизительно пропорциональна действующему усилию, т. е. характеристика сильфона близка к линейной.

Существенные недостатки сильфонов — значительный гистерезис и некоторая нелинейность характеристики. Для увеличения жесткости, уменьшения влияния гистерезиса и нелинейности часто внутрь сильфона помещают винтовую цилиндрическую пружину (рис. 7.6, *и*). Жесткость пружины обычно в несколько раз превышает жесткость сильфона, благодаря чему резко уменьшается влияние гистерезиса сильфона и нелинейности его характеристики.

Относительно большая величина рабочего хода сильфона позволяет применять их в регистрирующих приборах.

Выбор, установка и эксплуатация приборов для измерения давления. Для правильного измерения давления необходимо соблюдать следующие требования.

До начала измерения давления необходимо знать примерную его величину, пределы колебаний, физико-механические свойства среды, требуемую точность измерения. Чтобы избежать снижения точности измерения и обеспечить достаточно продолжительный срок службы пружинных приборов, допустимое рабочее давление должно быть возможно ближе к верхнему предельному значению шкалы прибора.

Место отбора давления на объектах измерения необходимо выбирать так, чтобы результаты измерения не искажались динамическим воздействием потока и завихрениями, которые образуются вблизи местных сопротивлений (колена, тройники, вентили, регулирующие органы).

В случае измерения давления газа или пара в горизонтальных и наклонных трубопроводах давление следует отбирать из области, лежащей выше оси трубопровода, а при измерении давления жидкостей — ниже оси трубопровода.

Импульсные линии, соединяющие места отбора давления с манометрами, должны прокладываться с уклоном в сторону места отбора, если измеряемая среда представляет собой газ или пар (этим исключаются жидкостные пробки внутри труб), или в сторону

манометра, если измеряемая среда – жидкость (исключаются газовые пробки). Длина импульсных линий не должна превышать 30 м, если измеряемое давление не более $9,8 \cdot 10^2$ н/м² (100 мм вод. ст.), а при измерении более высоких давлений длина линий не должна быть больше 50 м.

Перед пружинным манометром обязательно устанавливается трехходовой кран, с помощью которого манометр плавно включается в работу; производится поверка нулевой точки шкалы, поверка показания манометра в рабочей точке (с помощью подключения контрольного прибора), а также продувка импульсных линий.

В химической промышленности манометры часто устанавливаются на теплообменниках, выпарных, экстракционных и дистилляционных аппаратах, автоклавах, сушилках и т.п. В таких случаях необходима защита воспринимающей части манометра (пружины, мембраны) от действия высокой температуры или пара. Для этого перед манометром устанавливают сифонную трубку в виде буквы U или кольцевой петли. При измерении давления нагретого газа сифонную трубку заполняют водой.

Если жидкость, газ, пар или его конденсат химически активны по отношению к материалу воспринимающей части прибора, то перед манометром устанавливают разделительное устройство в виде мембраны или защитного сосуда, заполненного разделительной (инертной) жидкостью. В зависимости от свойств измеряемой среды и условий эксплуатации в качестве измерительных жидкостей применяются: вода, технические масла, глицерин, водные растворы глицерина, этиленгликоль, четыреххлористый углерод, керосин и др.

Толчки и вибрации сокращают срок службы прибора, ускоряют изнашивание деталей узла передачи манометра. Поэтому при измерении давления в аппарате, подверженном сотрясениям, манометр следует устанавливать на отдельном щитке.

Жидкостные приборы устанавливают строго по отвесу или уровню.

8. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ

Уровнем называют высоту заполнения технологического аппарата рабочей средой – жидкостью или сыпучим телом. Целью измерения уровня жидкостей может быть определение количества жидкости в емкости или контроль за положением уровня в

производственном аппарате при осуществлении технологического процесса.

Различают уровнемеры, предназначенные для измерения уровня рабочей среды и сигнализации предельных значений уровня рабочей среды.

По характеру работы уровнемеры могут быть непрерывного и прерывистого (релейного) действия. Релейные уровнемеры срабатывают при достижении определенного уровня; они используются для сигнализации и поэтому называются сигнализаторами уровня.

По диапазону измерения различают уровнемеры широкого и узкого диапазонов. Уровнемеры широкого диапазона (с пределами измерений 0,5-20 м) предназначены для проведения товароучетных операций, а уровнемеры узкого диапазона с пределами измерений (0÷100) мм или (0÷450) мм обычно используются в системах автоматического регулирования.

В настоящее время измерение уровня осуществляют различными по принципу действия уровнемерами, из которых широкое распространение получили поплавковые, буйковые, гидростатические, электрические, ультразвуковые, радиоизотопные и визуальные средства измерений.

8.1. Поплавковые уровнемеры

Поплавковые уровнемеры относятся к наиболее распространенным автоматическим приборам для измерения уровня жидкости наряду с гидростатическими, электрическими и радиоизотопными.

В поплавковом уровнемере за уровнем жидкости следит поплавок, перемещение которого передается на показывающее устройство или преобразователь перемещения (усилия) в выходной сигнал.

Возможны два принципа построения поплавковых уровнемеров.

В первом случае противодействующая сила создается силой тяжести поплавка, и поплавок следует изменению уровня жидкости.

Во втором случае противодействующая сила создается пружиной и изменяется при перемещении поплавка. При этом поплавок имеет форму длинного цилиндра (буйка) переменного погружения.

На рис. 8.1 показано простейшее устройство с поплавком постоянного погружения. Поплавок подвешен на гибком тросе, перекинутом через ролики. На другом конце троса укреплен груз для поддержания постоянного натяжения троса. На грузе закреплена стрелка, показывающая на шкале уровень жидкости. Таким простым устройством можно измерять уровень с достаточной для большинства случаев точностью.

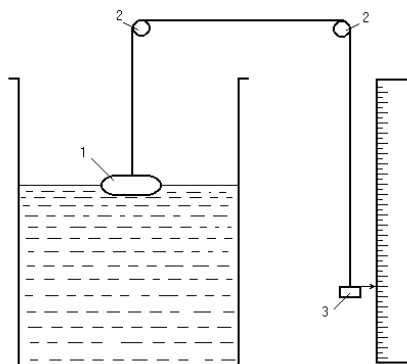


Рис. 8.1. Простейший поплавковый измеритель уровня:

1 - поплавок; 2 - ролики; 3 - груз

Недостатками простого поплавкового уровнемера являются перевернутая шкала (с нулем у верхнего края бака), трудность отсчета в начале шкалы у высокого резервуара, погрешность из-за изменения силы, натягивающей трос (при подъеме уровня к силе тяжести противовеса прибавляется сила тяжести троса).

Недостатки простого поплавкового уровнемера устранены в поплавковом уровнемере, схема которого показана на рис. 8.2. При перемещении поплавка 1 барабаны 3, на который наматывается трос, поворачивается и заставляют поворачиваться ротор сельсина-датчика 4. С датчиком электрически связан сельсин-приёмник, ротор которого повернётся на такой же угол, как у сельсина-датчика 4.

Натяжение троса обеспечивается грузом 2, подвешенным на тросе. Сельсин-приёмник (вторичный прибор) связан со счётным механизмом. При вращении ротора сельсина поворачиваются барабаны счётного механизма, и в окошечках появляются цифры, показывающие положение уровня. Во вторичном приборе имеются два контакта для сигнализации предельных положений уровня. Контакты могут быть настроены на любые точки в пределах шкалы прибора. Диапазон измерения уровня – 10 м.

При измерении уровня агрессивных жидкостей поплавков (цилиндрический или шаровой) изготавливается из коррозионностойкого материала.

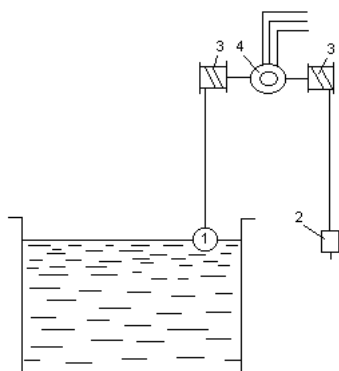


Рис. 8.2. Поплавковый уровнемер с сельсинным датчиком:

1 – поплавок; 2 – груз; 3 – барабаны; 4 – сельсин-датчик.

На рис. 8.3 показана схема уровнемера с поплавком переменного погружения (H -высота погружения) и с пневматической передачей показаний на расстояние. Цилиндрический поплавок (высотой L) подвешен к рычагу 2, укрепленному на конце упругой торсионной трубки 3. Поплавок своей тяжестью закручивает торсионную трубку и стальной стержень 4, который находится внутри трубки 3 и одним концом плотно связан с ней; угол закручивания пропорционален силе тяжести поплавка, изменяющейся при изменении уровня жидкости из-за изменения выталкивающей силы погруженной части поплавка.

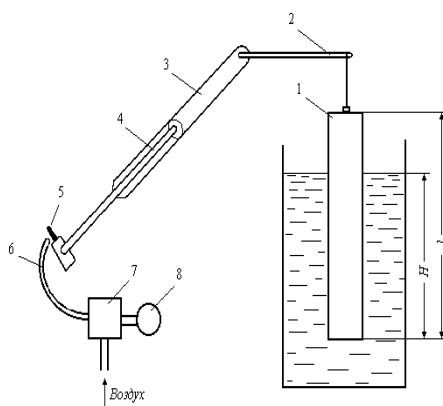


Рис. 8.3.

Принципиальная схема уровнемера с поплавком переменного погружения (буйкового уровнемера) и с пневматической передачей показаний на расстояние.

1 – цилиндрический поплавок; 2 – рычаг; 3 – торсионная трубка; 4 – стержень; 5 – заслонка; 6 – сопло; 7 – пневмоустройство; 8 – вторичный прибор (манометр)

Собственная сила тяжести (вес) поплавка выбрана так, чтобы при полном его погружении в жидкость поплавок не всплывал.

На свободном конце стержня 4 укреплен заслонка 5 пневмоустройства 7. При повороте стержня торсионной трубки на некоторый угол заслонка отклоняется относительно сопла 6 на такой же угол. Тем самым изменяется давление воздуха в линии сопла и угловое перемещение заслонки преобразуется в пропорциональное изменение давления воздуха, измеряемого манометром 8, шкала которого градуирована в единицах уровня.

8.2. Гидростатические уровнемеры

В этих приборах измерение уровня жидкости постоянной плотности сводится к измерению давления, создаваемого столбом жидкости, т. е. $p = H\rho g$.

Существуют гидростатические уровнемеры с непрерывным продуванием воздуха или газа (пьезометрические уровнемеры) и с непосредственным измерением столба жидкости. Пьезометрические уровнемеры (рис. 8.4) применяются для измерения уровня самых разнообразных, в том числе агрессивных и вязких жидкостей в открытых резервуарах и в сосудах под давлением.

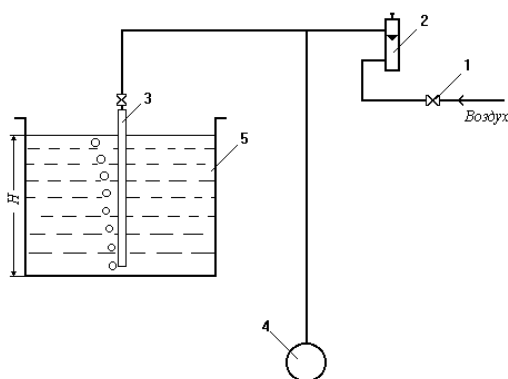


Рис. 8.4. Пьезометрический уровнемер с продуванием воздуха:

1 – дроссель; 2 – ротаметр; 3 – пьезометрическая трубка; 4 – манометр; 5 – сосуд.

Сжатый воздух или газ, пройдя регулируемый дроссель и ротаметр 2, попадает в пьезометрическую трубку 3, находящуюся в резервуаре. Давление воздуха (газа), измеряемое манометром 4 любой системы, характеризует положение уровня жидкости в сосуде 5.

С начала подачи воздуха давление будет повышаться до тех пор, пока не станет равным давлению столба жидкости высотой H .

В момент выравнивания этих давлений из трубки в жидкость начнет выходить воздух, расход которого регулируют так, чтобы он только барботировал отдельными пузырьками (примерно один пузырек в секунду). Величина расхода воздуха устанавливается дросселем 1, а контроль осуществляется при помощи ротаметра 2.

При измерении уровня жидкостей следует учитывать возможность образования при определенных условиях статического электричества. Поэтому при контроле легковоспламеняющихся и взрывоопасных жидкостей (сероуглерод, бензол, масла и пр.) в качестве сжатого газа применяют двуокись углерода, азот, дымовые газы или специальные пьезометрические уровнемеры. Другим видом гидростатических уровнемеров является дифманометр любой системы, измеряющий давление столба жидкости в сосуде. Дифманометрами можно измерять уровень в открытых и закрытых сосудах, т. е. в сосудах, находящихся под давлением и разрежением. На рис. 8.7,а показана схема трубных соединений при измерении уровня в открытом резервуаре и установке дифманометра ниже дна резервуара.

При использовании дифманометров для измерения уровня обязательно устанавливается уравнительный сосуд, наполненный до определенного уровня той же жидкостью, что и в резервуаре. Назначение уравнительного сосуда — обеспечение столба жидкости постоянной высоты в одном из колен дифманометра. Высота столба жидкости во втором колене дифманометра изменяется с изменением уровня жидкости в резервуаре. Каждому значению уровня в резервуаре соответствует определенное значение перепада давления, что позволяет по величине перепада, показываемого дифманометром, судить о положении уровня жидкости в резервуаре.

На рис. 8.5,б показана схема соединения дифманометра при измерении уровня жидкости в сосуде, находящемся под давлением, и при установке дифманометра ниже дна сосуда. В этом случае уравнительный сосуд устанавливается на высоте максимального уровня и соединяется с контролируемым сосудом.

При измерении уровня агрессивной жидкости дифманометр должен быть защищен от действия агрессивной среды.

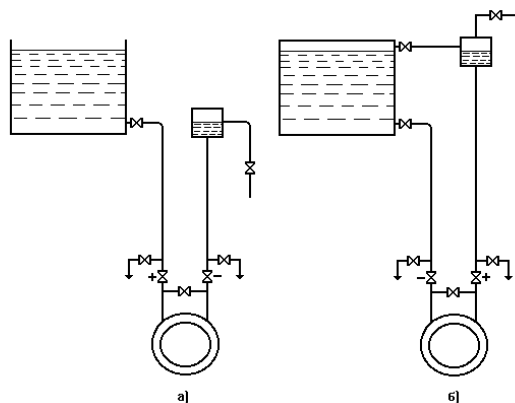


Рис. 8.5. Гидростатические уровнемеры с непосредственным измерением столба жидкости:

- а* – при измерении уровня жидкости в открытом резервуаре;
б – при измерении уровня жидкости в резервуаре, находящемся под давлением.

8.3. Электрические уровнемеры

В электрических уровнемерах положение уровня жидкости преобразуется в какой-либо электрический сигнал. Из электрических уровнемеров наибольшее распространение получили емкостные и омические. В емкостных уровнемерах используются диэлектрические свойства контролируемых сред; в омических – свойство контролируемой среды проводить электрический ток.

Емкостный уровнемер обычно состоит из емкостного цилиндрического преобразователя и вторичного прибора.

При измерениях высоты уровня агрессивных, но не электропроводных жидкостей, обкладки преобразователя выполняют из химически стойких сплавов или же каждую из обкладок покрывают тонкой антикоррозионной пленкой (винипласт или фторопласт), диэлектрические свойства которой учитываются при расчете. Покрытие обкладок тонкими пленками, обладающими высокими

изолирующими свойствами, применяется и при измерениях уровня электропроводной жидкости.

Принципиальная схема измерения уровня жидкостей с помощью емкостного уровнемера показана на рис. 8.6. В сосуд с жидкостью 1, уровень которой необходимо измерять, опущен электрод 2, покрытый изоляционным материалом. Электрод, вместе со стенками сосуда образует цилиндрический конденсатор, емкость которого меняется при колебаниях уровня жидкости. Величина емкости измеряется электронным блоком 3, который затем дает сигнал в измерительный прибор 4, представляющий собой релейный элемент в схемах сигнализации достижения определенного уровня или показывающий прибор в схемах измерения уровня.

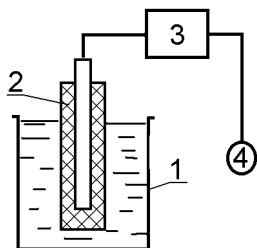


Рис. 8.6. Схема измерения емкостным уровнемером: 1- сосуд с жидкостью; 2 – электрод; 3 – электронный блок; 4 – измерительный прибор

Измерение электрической емкости обычно производится с помощью резонансных и мостовых схем. При резонансном методе контролируемая емкость, включенная параллельно с контуром индуктивности, образует резонансный контур, настроенный на резонанс питающей частоты при определенной начальной емкости преобразователя, которая соответствует наличию или отсутствию контролируемого вещества на заданном уровне. Изменение емкости преобразователя приводит к изменению собственной частоты контура и срыву резонанса. Этот метод используется в большинстве емкостных сигнализаторов уровня.

При мостовом методе контролируемая емкость включается в одно из плеч моста.

При измерении уровня изменяется емкость, что вызывает разбаланс моста. Сигнал разбаланса через усилитель подается на показывающий электрический прибор, градуированный в единицах контролируемого уровня. Мостовой метод используется в большинстве емкостных уровнемеров.

Омические уровнемеры используются главным образом в качестве сигнализаторов уровня. Принцип действия омических

сигнализаторов основан на замыкании электрической цепи источника питания через контролируемую среду, представляющую собой участок электрической цепи, обладающий определенным омическим сопротивлением.

Практически омические сигнализаторы уровня могут быть применены для сред с проводимостью от $2 \cdot 10^3$ *сим/м* и выше. Сигнализатор (рис. 8.7) состоит из двух узлов: преобразователя и блока питания.

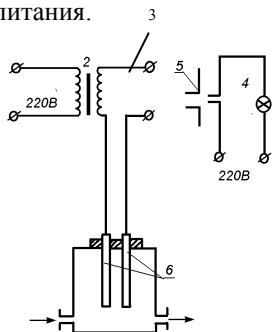


Рис. 8.7 Сигнализатор уровня электропроводных жидкостей: 1 – преобразователь; 2 – трансформатор; 3 – реле; 4 – сигнальная лампа; 5 – контакты реле; 6 – электроды.

Преобразователь включает два изолированных друг от друга электрода 6 с клеммами для присоединения проводов. Блок питания состоит из понижающего трансформатора 2 и реле 3 (типа МКУ-48). Если уровень жидкости ниже электродов, электрическая цепь между электродами разомкнута. Когда уровень жидкости повысится, электроды замкнутся и по цепи потечет ток. Во вторичной обмотке трансформатора будет индуцироваться напряжение, по катушке реле 3 потечет ток и контакты 5 замкнут цепь сигнальной лампы 4.

Питание прибора может быть осуществлено постоянным напряжением до 24 в или переменным напряжением до 36 в. Величина напряжения зависит от проводимости контролируемой среды, а род тока – от свойств контролируемой среды.

Основной недостаток электрических уровнемеров – невозможность их применения в средах вязких, кристаллизующихся, дающих твердые осадки и налипающих на электроды преобразователей.

8.4. Радиоизотопные уровнемеры

Положение уровня жидкостей в закрытых емкостях можно контролировать при помощи проникающих γ -излучений. Измерение

уровня основано на поглощении γ -лучей при их прохождении через слой вещества.

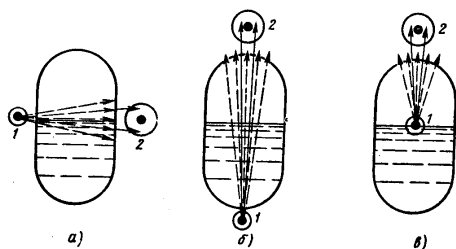


Рис. 8.8.
Принципиальные схемы
радиоизотопных
уровнемеров:
1 – излучатель; 2 –
приемник излучения.

Возможны три принципиальные схемы радиоизотопных уровнемеров (рис. 8.8). Схемы, показанные на рис. 8.8, а и б, применяются в тех случаях, когда нет доступа в сосуд. Схему, приведенную на рис. 8.8, а, можно применять как сигнализатор максимального или минимального уровня (при неподвижном излучателе и приемнике излучения) или для непрерывного измерения уровня (уровнемеры со следящей системой).

При небольшом столбе жидкости (до 1 м для легких жидкостей) можно применять схему, показанную на рис. 8.8, б. Схему, показанную на рис. 8.8, в, целесообразно применять в тех случаях, когда в сосуд можно поместить поплавков.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. **ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ**
 - 1.1. Метрология. Виды измерений
 - 1.2. Методы измерений
 - 1.3. Погрешность измерения. Виды погрешностей измерения
 - 1.4. Погрешности средств измерений
 - 1.5. Основные свойства измерительных приборов. Точность, чувствительность, быстродействие, надежность
 - 1.6. Классификация измерительных приборов по метрологическому назначению.
 - 1.7. Обеспечение единства и качества измерений
2. **СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**
 - 2.1. Функциональная структура систем автоматического контроля
 - 2.2. Классификация систем автоматического контроля.
3. **ТЕХНИКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ**
 - 3.1. Первичные измерительные преобразователи (датчики).
Основные требования, предъявляемые к датчикам.
Статические и динамические характеристики датчиков.
 - 3.2. Классификация первичных измерительных преобразователей по принципу действия
 - 3.3. Промежуточные преобразователи: сельсинные, дифференциально-трансформаторные, пневматические преобразователи
 - 3.4. Вторичные приборы. Отсчетные устройства вторичных приборов. Дополнительные функции вторичных приборов
 - 3.5. Основные измерительные схемы вторичных приборов.
4. **Сбор и обработка данных измерений с применением микропроцессорной техники, "интеллектуальные датчики"**
5. **ГСП**
 - 5.1. Основные принципы построения ГСП
 - 5.2. Классификация устройств ГСП

- 5.3. Совместимость устройств ГСП. Виды совместимости: конструктивная, метрологическая энергетическая, эксплуатационная, информационная.
- 5.4. Ветви ГСП
- 6. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР
 - 6.1. Манометрические термометры. Принцип действия и конструкция.
 - 6.2. Термометры сопротивления. Принцип действия и конструкция.
 - 6.3. Термоэлектрические термометры. Принцип действия и конструкция.
 - 6.4. Пирометры излучения. Принцип действия и конструкция.
- 7. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ
 - Жидкостные приборы
 - 7.1. Поплавковые дифференциальные манометры. Принцип действия и конструкция.
 - 7.2. Кольцевые приборы. Принцип действия и конструкция.
 - 7.3. Колокольные приборы. Принцип действия и конструкции.
 - Пружинные приборы
 - 7.4. Приборы с трубчатыми пружинами. Мембранные приборы. Принцип действия и конструкции.
 - 7.5. Пружинно-мембранные приборы. Сильфонные приборы. Принцип действия и конструкции.
 - 7.6. Выбор, установка и эксплуатация приборов для измерения давления.
- 8. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ
 - 8.1. Поплавковые уровнемеры. Принцип действия и конструкция.
 - 8.2. Буйковые уровнемеры. Принцип действия и конструкция.
 - 8.3. Гидростатические уровнемеры. Принцип действия и конструкция.
 - 8.4. Электрические уровнемеры. Принцип действия и конструкция.
 - 8.5. Радиоизотопные уровнемеры. Принцип действия и конструкция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков А.В., Кулаков М.В., Мелюшев Ю.К. Основы автоматики и автоматизации химических производств. М.: Химия, 1970. —230 С.
2. Кулаков М.В. Технологические измерения и приборы для химических производств. М.: Химия, 1984. —256 С.
3. Мурин Г.А. Теплотехнические измерения: Учебник для техникумов.- 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Энергия, 1979. – 424 с.
4. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. — М.: Агропромиздат, 1985 —344 с.
5. Фарзانه Н.Г., Илясов Л.В., Азим-Заде А.Ю. Технологические измерения и приборы: Учеб. для студ. вузов по спец. "Автоматизация технологических процессов и производств".- М.: Высш. шк., 1989.- 456с.
6. Харт Х. Введение в измерительную технику: Пер. с нем.- М.: Мир, 1999, 391 с.
7. Шавров А.В., Коломиец А.П. Автоматика.- М.: Колос, 1999. – 264 с.
8. Шкатов Е.Ф. Технологические измерения и КИП на предприятиях химической промышленности. —М: Химия, 1986 — 320 с.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИЯХ | 3 |
| 1.1. Виды и методы измерений | 3 |
| 1.2. Погрешности измерений. | 7 |
| 1.3. Основные свойства измерительных приборов. | 12 |
| 1.4. Обеспечение единства и качества измерений | 14 |
| 2. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ | 15 |
| 2.1. Структура систем автоматического контроля | 15 |
| 2.2. Классификация систем автоматического контроля..... | 17 |
| 3. ТЕХНИКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ | 19 |
| 3.1. Первичные измерительные преобразователи (датчики) | 19 |
| 3.2. Промежуточные преобразователи | 23 |
| 3.3. Вторичные приборы. | 28 |
| 4. СБОР И ОБРАБОТКА ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ | 36 |
| 5. ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРИБОРОВ..... | 39 |
| 6. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР..... | 45 |
| 6.1. Манометрические термометры | 45 |
| 6.2. Термометры сопротивления | 47 |
| 6.3. Термоэлектрические термометры | 48 |
| 6.4. Пирометры излучения | 49 |
| 7. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ..... | 50 |
| 7.1. Жидкостные приборы | 51 |
| 7.2. Пружинные приборы | 56 |
| 8. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ ЖИДКОСТЕЙ..... | 60 |
| 8.1. Поплавковые уровнемеры | 61 |
| 8.2. Гидростатические уровнемеры..... | 64 |
| 8.3. Электрические уровнемеры | 66 |
| 8.4. Радиоизотопные уровнемеры..... | 68 |
| КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ | 70 |
| ЛИТЕРАТУРА..... | 72 |