

## Тема 3.1. ВЫБОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

1. Назначение и характеристики измерительных средств
2. Требования к выбору контрольно-измерительных приборов
3. Порядок выбора средств измерений

### 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Измерительные приборы предназначены для преобразования контролируемых параметров и представления информации об их величине оператору.

К измерительным устройствам относятся датчики, показывающие приборы, устройства, формирующие сигналы для передачи на расстояние. Передача информации осуществляется либо непосредственно через каналы связи (при небольших дистанциях или специально выделенных каналах связи), либо через устройства телемеханики (на большие расстояния). Передача сигналов от многих источников в одно место достигается при помощи устройств централизованного контроля.

Показывающие приборы относятся к средствам представления информации. Они бывают стрелочные, цифровые, символьные и др. индикаторы, самопишущие приборы, печатающие устройства и графопостроители. Для лучшего восприятия широко применяется метод визуального контроля с помощью устройств отображения информации, промышленного телевидения, мнемонических схем. При большом количестве информации, необходимости её предварительного логического и математического анализа или синтеза, в связи с решением сложных экономических, технологических и иных задач, а также при управлении современными технологическими и энергетическими комплексами применяют средства вычислительной техники.

Устройства получения информации о состоянии технологического процесса включают первичный измерительный преобразователь и вторичный измерительный преобразователь, которые связываются между собой посредством проводов и интерфейсов. С точки зрения принципа действия и конструктивного исполнения и первичные измерительные преобразователи, и вторичные измерительные преобразователи отличаются значительным разнообразием.

Первичные преобразователи устанавливаются на объекте и непосредственно взаимодействуют с регулируемым параметром и контролируемой средой. Первичный измерительный преобразователь преобразует измеряемый параметр в удобный для передачи и обработки сигнал. В случае измерения электрических величин в качестве первичных измерительных преобразователей используют, как правило, понижающие измерительные трансформаторы тока и напряжения. В случае измерения неэлектрических величин (температуры, давления и др.) используют соответствующие измерительные преобразователи "физическая величина – электрический сигнал".

На выбор первичных преобразователей в значительной мере влияют вид измеряемого параметра, условия монтажа и эксплуатации. Для измерения одного параметра в зависимости от требуемых технических характеристик и условий эксплуатации может применяться большое количество различных датчиков (например, более шестидесяти типов датчиков давления, более пятидесяти типов датчиков перепада давления и т.д.).

Вторичные измерительные преобразователи представляют собой дополнительные преобразующие средства, например, понижающие трансформаторы тока и напряжения в случае измерения электрических величин и электронные линейные усилители напряжения – в случае измерения неэлектрических величин.

Вторичные измерительные преобразователи могут быть расположены, как на контроллере, так и на щите управления или непосредственно в самом датчике.

На выходах вторичных измерительных преобразователей формируются напряжения одного диапазона, необходимые, например, для работы многоканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП), входящего в состав цифрового регистратора.

Измерительные приборы (ИП) могут содержать устройства, позволяющие вводить информацию в ЭВМ и другие технические средства автоматизации, осуществлять непосредственное управление технологическими процессами.

Измерительные приборы имеют ряд дополнительных устройств в зависимости от модификации, например реостатные устройства для работы с программными регуляторами, микропереключатели для позиционного регулирования или сигнализации предельных значений измеряемых параметров и т. д.

Серийные измерительные приборы для вывода количественной информации делятся на следующие:

- по способу обработки информации – аналоговые, цифровые;
- по выполняемым функциям – показывающие, регистрирующие;
- по используемым дополнительным устройствам – сигнализирующие, регулирующие;
- по количеству контролируемых точек – одноточечные, многоточечные (трехточечные, шеститочечные, двенадцатиточечные);
- по количеству измерительных каналов – одноканальные, многоканальные (двухканальные, трехканальные и др.);
- по виду шкалы – плоские, выпуклые, прямоугольные;
- по виду указателя – стрелочные, световые, цифровые, символные;
- по расположению шкалы – с вертикально расположенной шкалой, с горизонтально расположенной шкалой.

#### Виды выходных сигналов первичных измерительных приборов

Различают следующие основные виды выходных сигналов первичных измерительных приборов:

- 1) с токовым аналоговым выходом;
- 2) с цифровым выходным сигналом;
- 3) с импульсным (счетным) выходным сигналом;
- 4) с дифференциально-трансформаторным сигналом.

В арсенале сегодняшних средств автоматизации все больше появляется первичных измерителей с радиоканальным выходом.



Рис. 1. Двухпроводная токовая связь ПИП и ВИП

**Первичные преобразователи с токовым аналоговым выходом (рис. 1)** имеют встроенный источник тока – генератор тока с некоторым внутренним сопротивлением  $R_{вн}$ . Ток поступает в линию связи и на входном нагрузочном резисторе  $R_{н}$  вторичного преобразователя создает соответствующее падение напряжения, которое далее преобразуется в значение измеряемого параметра  $x$ . Первичные преобразователи данного вида имеют, как правило, унифицированные выходные сигналы постоянного тока в диапазонах (0...5), (0...20) или (4...20) мА.

Максимально допустимая длина линии связи между первичным и вторичным преобразователем зависит от величины внутреннего сопротивления  $R_{вн}$  источника тока, активного сопротивления  $R_{л}$  линии связи, входного сопротивления  $R_{н}$  вторичного преобразователя, ожидаемого уровня помехи и, обычно, не превышает несколько десятков метров. Число проводов связи обычно составляет 2, 3 или 4. Оно зависит от схемы подключения источника питания или от типа чувствительного элемента первичного преобразователя.

**В первичных преобразователях с цифровым выходным сигналом** происходит последовательное замыкание-размыкание выходной цепи, что порождает на входе вторичного преобразователя последовательность токовых двоичных импульсов («0», «1») определенной частоты и длительности, которая используется либо для цифрового представления измеряемого параметра  $x$ , либо для дискретного представления (например, норм/авар, вкл/выкл). Обычно, ток в линии связи не превышает 10–20 мА. Максимально допустимая длина линии связи зависит от величины тока вторичного преобразователя, активного сопротивления линии и может достигать до 3-5 км.

**Выходной сигнал первичного импульсного преобразователя** представляет собой импульс 5 В постоянного тока или импульс используемого входного напряжения питания, которое может быть от 8 до 28 В постоянного тока. Такие измерители часто используются для дистанционного мониторинга расхода и суммирования потока посредством счетчиков.

**Первичные преобразователи с дифференциально-трансформаторным сигналом** (индуктивной связью) являются устаревшими приборами и в большинстве случаев подлежат замене на преобразователи с токовым или цифровым выходом.

В теплоэнергетике и электроэнергетике для измерения температуры, давления и расхода чаще всего применяют аналоговые показывающие, регистрирующие и сигнализирующие измерительные приборы. Они имеют встроенные преобразователи с унифицированными выходными токовыми сигналами, с выходов которых информацию об измеряемой величине можно передать в ИВМ и другие средства автоматизации.

Диапазоны измерений приборов определены ГОСТом и их значения для некоторых измерительных приборов имеют следующие пределы:

1) Диапазоны измерений измерительных приборов, работающих в комплекте с термопреобразователями сопротивления (ТПС) стандартных НСХ 50М, 100М, 50П и 100П, следующие:  $-50...0$ ,  $-50...+50$ ,  $-50...+100$ ,  $0...50$ ,  $0...100$ ,  $0...150$ ,  $0...180$ ,  $0...200$ ,  $0...300$ ,  $0...400$ ,  $0...500$ ,  $50...100$ ,  $200...500$  °С.

2) Диапазоны измерений измерительных приборов, работающих в комплекте с термоэлектрическими преобразователями стандартных НСХ L(ХК) и К(ХА), следующие:  $-50...+50$ ,  $-50...+100$ ,  $-50...+150$ ,  $-50...200$ ,  $0...100$ ,  $0...150$ ,  $0...200$ ,  $0...300$ ,  $0...400$ ,  $0...500$ ,  $0...600$ ,  $0...800$ ,  $0...900$ ,  $0...1100$ ,  $0...1300$ ,  $200...600$ ,  $200...800$ ,  $200...1200$ ,  $400...900$ ,  $600...1100$ ,  $700...1300$  °С.

3) Диапазоны измерений измерительных приборов, работающих в комплекте с преобразователями давления, следующие: 0,025; 0,06; 0,1; 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1; 1,6; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600; 1000 МПа и т. д.

4) Диапазоны измерений измерительных приборов, работающих в комплекте с промежуточными преобразователями расхода (перепада давления) определяют по формуле:

$$A = a \cdot 10^n$$

где  $a = 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8$  т/ч (м<sup>3</sup>/ч);

$n$  – целое число (положительное или отрицательное) или ноль.

Диапазон измерений аналогового прибора для измерения температуры, давления и уровня выбирают ближайшим большим по отношению к максимальному значению измеряемой величины, так как максимальные показания измеряемой величины должны находиться в последней трети шкалы.

При измерении расхода методом переменного перепада давлений для аналогового прибора заказывается только верхний предел (ВП) измерения, так как нижний предел измерения для данного расходомера равен 0,3ВП (верхнего предела).

Например, для измерения температуры перегретого пара, равной 565 °С, необходимо выбрать диапазон измерений  $0...600$  °С или  $200...600$  °С.

Для измерения расхода перегретого пара, равного 230 т/ч, расходомером переменного перепада давления верхний предел измерения, выбранный из вышеприведенного ряда, равен 250 т/ч. В заказе не указывают нижний предел измерения расходомеров переменного перепада

давления, так как до 30 % отметки шкалы прибора предел допускаемой основной погрешности не нормируется.

## Линии связи

Выбор линии связи в основном линия связи определяется видом энергии, принятым в проектируемой системе, расстоянием от места измерения характеристикой внешней окружающей среды.

В большинстве случаев измерительные приборы комплектуются преобразователями разных видов, позволяющими получать унифицированные сигналы и передавать их на расстояние.

По виду энергии дистанционные передачи делятся на пневматические и электрические. Пневматические дистанционные передачи обладают тем преимуществом, что они могут быть применены в пожаро- и взрывоопасных помещениях. Диапазон изменения измерительного сигнала представляет собой изменение давления сжатого воздуха в интервале 0,02-0,1 МПа (0,2-1 кгс/см<sup>2</sup>); эта передача обладает значительной инерционностью, которая ограничивает дистанционность передачи в пределах 300 м при диаметре импульсной линии 6 мм. Увеличение расстояния приводит к значительным запаздываниям в передаче сигналов.

Электрические дистанционные передачи показаний являются практически безынерционными и обладают большой дистанционностью. В настоящее время применяются индукционная, омическая, сельсинная, дифференциально-трансформаторная, ферродинамическая, электросиловая и частотно-силовая передачи.

Наиболее часто используются дифференциально-трансформаторная и ферродинамическая передачи, а также электро- и частотно-силовая. Для применения последних двух типов передач необходимо наличие специальных преобразователей ограничивает их дистанции они составляют (250 м).

С помощью электросиловых преобразователей получают унифицированные выходные сигналы, которые изменяются в диапазоне 0...5, 0...20 и 0...100 мА или 0...10 В постоянного тока.

Дистанционность передачи показаний при измерении температуры термопреобразователями сопротивления и термоэлектрическими преобразователями зависит как от сопротивления соединительных проводов, так и от вида вторичных приборов.

## 2. ТРЕБОВАНИЯ К ВЫБОРУ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Выбор измерительных средств и контрольно-измерительных приборов осуществляется согласно стандартам и отраслевым требованиям предприятия, с учетом ряда факторов метрологического и режимного характера, наиболее существенные из которых следующие:

- 1) Расстояние, на которое может быть передана информация, снимаемая с измерительного устройства.
- 2) Предельное значение измеряемой величины и других параметров среды.
- 3) Допустимая для АСУ ТП погрешность, определяющая класс точности измерительного прибора. Пределы измерения с гарантированной точностью.
- 4) Инерционность прибора, характеризуемая его постоянной времени.
- 5) Влияние внешних факторов окружающей среды, влияющих на нормальную работу средств измерений (температуры, давления, влажности, агрессивных свойств, наличие вибраций, магнитных и электрических полей, радиационного излучения и др.).
- 6) Требования к пожаро- и взрывобезопасности.

При выборе технических средств автоматизации следует использовать справочную литературу, заводские каталоги выпускаемой продукции. Справочная литература охватывает широкую номенклатуру технических средств автоматизации, однако информация об этих средствах в значительной мере устаревает к моменту выхода справочника из печати. Наиболее точно отражают перечни, номенклатуру, модификации, типы, модели, технические характеристики, формулировки заказов и т. п. средств автоматизации ежегодно обновляемые каталоги выпускаемой продукции заводов-изготовителей технических средств автоматизации.

Выбор средств измерений заключается в установлении конкретных требований к СИ и выборе типов СИ, отвечающих этим требованиям, в разработке (или уточнении) алгоритма измерения.

Выбор и обоснование выбора СИ требует определения их обобщенных метрологических характеристик с учетом влияния всех участвующих в измерении СИ, вспомогательных устройств, веществ и материалов, особенностей метода измерений и обработки его результатов.

Требования к СИ носят технологический, конструкторский, метрологический, экономический, экологический и социальный характер и включают:

- 1) пределы допустимых погрешностей;
- 2) условия измерения (параметры объекта измерения и окружающей среды, не измеряемые данными СИ, но влияющие на результат измерения);
- 3) быстродействие СИ;
- 4) вид измерительной информации (местные показания, дистанционные показания, автоматическая регистрация, интегрирование, сигнализация и др.);
- 5) необходимость и возможность использования информации в системах автоматического управления на базе микропроцессоров и ЭВМ;
- 6) требования к помещениям и условиям установки СИ;
- 7) стоимость и экономическая эффективность от использования;
- 8) требования к персоналу, осуществляющему монтаж и техническое обслуживание СИ и оборудования.

При выборе аппаратуры необходимо учитывать параметры контролируемой и окружающей среды (температуру, давление, состав среды, влажность, запыленность, наличие вибраций, электрические свойства, а также условия контроля и измерения), размеры и характер контролируемого объекта, расстояние между точкой измерения и вторичным прибором, механические воздействия (удары, вибрацию), наличие источников питания и др.

Кроме того, должны быть выдержаны требования к средствам автоматизации по точности, чувствительности, инерционности, а также соблюдены условия охраны труда.

Необходимо стремиться применять унифицированную аппаратуру (приборы одной информационной системы, одного завода-изготовителя и т. д.), что облегчит обслуживание системы и позволит сократить число запасных приборов и средств автоматизации.

Контрольно-измерительные приборы обеспечивают соответствующие технологические нормы, в пределах которых должен находиться управляемый параметр объекта. При их выборе необходимо прежде всего руководствоваться следующими метрологическими показателями:

- для контроля и регулирования производственных процессов с высокой степенью точности следует применять приборы класса точности 0,2 (погрешность  $\pm 0,2\%$ ) со стандартной шириной поля записи 250 мм;

- для измерения, регистрации и регулирования технологических процессов, допускающих применение приборов средней точности измерения и записи, необходимо использовать приборы класса точности 0,5 (погрешность  $\pm 0,5\%$ ) со стандартной шириной поля записи 160 мм;

- для мнемонических схем, пультов, а также контроля и сигнализации в системах автоматического регулирования, не требующих высокой точности, рекомендуются приборы класса точности 1 (погрешность  $\pm 1\%$ ) с шириной поля записи 100 мм;

- шкалы показывающих и самопишущих приборов выбирают таким образом, чтобы характерные значения измеряемых величин укладывались во вторую половину или последнюю треть шкалы; в некоторых случаях приходится использовать несколько приборов с разными шкалами для контроля одной и той же величины при разных режимах работы (например, температуры теплоносителя в сушилках при разных режимах сушки продуктов).

При выборе контрольно-измерительных приборов необходимо учитывать их инерционность, которая должна быть значительно меньше инерционности объекта.

Для определения числового значения параметра в данный момент используют - показывающие приборы, которые по виду отсчетных устройств можно подразделить на приборы с

подвижной стрелкой, подвижной шкалой и цифровые. Вид отсчетного устройства выбирают в зависимости от функционального назначения прибора (табл. 1).

Таблица 1

Рекомендации по выбору показывающих приборов

Назначение прибора	Вид отсчетного устройства		
	с подвижной стрелкой	с подвижной шкалой	цифровое
Отсчет численного значения параметра	Допустимо	Допустимо	Рекомендуется
Контроль нахождения параметра в зоне "норма"	Рекомендуется	Не рекомендуется	Не рекомендуется
Установка и поддержание заданного параметра (стабилизирующие автоматические системы)	Рекомендуется	Допустимо	Допустимо
Слежение	Рекомендуется	Допустимо	Не рекомендуется

### 3. ПОРЯДОК ВЫБОРА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Выбор СИ осуществляется, как правило, в три этапа.

**Первый этап** состоит в анализе объекта измерений. При этом изучают нормативно-техническую и технологическую документацию на соответствующий вид продукции, анализируют показатели качества и количества продукции, диапазон их измерений, условия протекания технологического процесса, возможные виды измерения и контроля параметров технологических процессов и показателей качества продукции.

По результатам первого этапа составляют перечень контролируемых показателей продукции и параметров технологического процесса по следующей форме:

- 1) наименование ступени технологического процесса;
- 2) наименование параметра;
- 3) границы возможных изменений параметра;
- 4) возможный вид контроля параметра;
- 5) особые характеристики процесса.

**Второй этап** состоит в сравнительном анализе применяемых и предлагаемой методик выбора СИ и самих средств измерений. На этом этапе решают, какие выбрать измерения — прямые или косвенные; оценивают возможные погрешности измерений различными методами и средствами и выбирают предпочтительные варианты СИ; определяют места отбора проб или установки СИ, методы и периодичность снятия показаний; устанавливают алгоритм обработки результатов измерений и порядок их использования. По результатам второго этапа составляют схему контроля технологического параметра.

Основываясь на совокупности классификационных признаков, удовлетворяющих поставленным требованиям, выбирают серию измерительных приборов. Например, для измерения температуры с помощью термопреобразователями сопротивления и термоэлектрическими преобразователями, учитывая, что необходима аналоговая регистрация и показания величин измеряемых температур, наличие двухканальных приборов с вертикально расположенной плоской шкалой и стрелочным указателем, сигнализация предельных значений контролируемых температур, выбирают серию измерительных приборов А100-Н.

Далее выбирают конкретную модификацию измерительного прибора в серии, имеющую весь набор необходимых функций.

Например, для рассмотренного выше случая (первичный измерительный преобразователь – термопреобразователь сопротивления) выбирают измерительный прибор серии А100-Н, модификация 221.

**Третий этап** заключается в экспериментальной проверке (исследовательских испытаниях) предлагаемого СИ и методики выбора СИ для выяснения действительных качеств.

### Выбор датчиков

К датчикам САУ предъявляют следующие требования: линейность и однозначность статической характеристики (допускаемая нелинейность не должна превышать 0,1...3%), высокие чувствительность (крутизна) и разрешающая способность, стабильность характеристик во времени, быстродействие; устойчивость к химическим воздействиям контролируемой и окружающей среды (первичные преобразователи заключены в защитные оболочки), высокая перегрузочная способность; взаимозаменяемость однотипных устройств, минимальное обратное влияние на контролируемый параметр; удобство монтажа и обслуживания.

Как правило, датчик выбирают в два этапа.

**На первом этапе** определяют разновидность датчика по роду контролируемого параметра.

**На втором этапе**, когда выбраны все элементы САУ, по каталогу находят типоразмер датчика. При этом датчик рекомендуется подбирать таким образом, чтобы измеряемая величина находилась в пределах  $1/3...2/3$  диапазона его измерения.

Особое внимание необходимо обращать на быстродействие (инерционность) датчиков.