

ГЛАВА I
ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМАХ АВТОМАТИКИ

§ 1. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ, РЕГУЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Система управления обычно включает в себя как контроль фактического состояния объекта (системы) управления, так и поддержание состояния этой системы на заданном уровне (регулирование). В системе автоматического управления (САУ) все эти процессы выполняются без оператора по специальной программе. Однако автоматический контроль и регулирование могут рассматриваться и как самостоятельные процессы (системы).

Объектом управления (объектом регулирования) может быть устройство, требуемый режим работы которого должен поддерживаться извне специально организованными управляющими воздействиями, формируемыми управляющим устройством, или технологический процесс с заданным режимом его протекания.

Управление — это процесс формирования управляющих воздействий, обеспечивающих требуемое состояние или режим работы объекта управления, а также их реализацию.

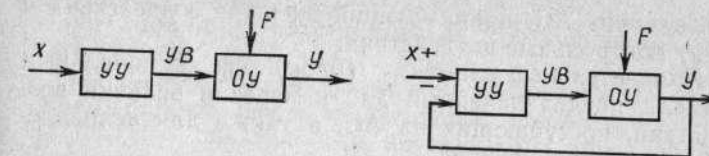
Регулирование — частный вид управления, когда задачей является обеспечение постоянства какой-либо физической величины либо ее изменение по заданному закону.

Управляющее устройство (автоматическое управляющее устройство) — устройство, обрабатывающее данные протекания процесса и при помощи исполнительного органа воздействующее на объект управления с целью обеспечения требуемого режима его работы или состояния.

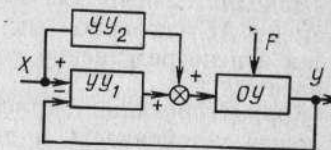
Внешнее воздействие — это не зависящее от системы воздействие внешней среды на автоматическую систему.

Внутреннее воздействие — воздействие одной части автоматической системы на другую.

Управляющее воздействие — целенаправленное воздействие управляющего устройства на объект управления.



1. Управление по разомкнутому циклу
УУ — управляющее устройство; ОУ — объект управления; X — задающее воздействие; UV — управляющее воздействие; F — помехи; Y — выходные координаты
2. Управление по замкнутому циклу. Знаки «+» или «-» характеризуют положительное или отрицательное значение задающего воздействия



3. САУ с комбинированным управлением

Контрольное воздействие — воздействие объекта управления на управляющее устройство.

Задающее воздействие — воздействие на входе автоматической системы от программного устройства.

Алгоритм управления — набор правил, по которым изменяется управляющее воздействие.

Выходные (управляемые, регулируемые) координаты — величины, характеризующие текущее состояние объекта управления.

Возмущающие воздействия (помехи) — воздействия, возникающие в результате взаимодействия автоматической системы с внешней средой и вызывающие непланируемые изменения выходных координат.

Предписанное значение выходной координаты — значение величины, определяемое требуемым режимом работы.

Действительное значение выходной координаты — значение выходной величины, соответствующее фактическому состоянию объекта управления.

Ошибка управления — разность между предписанным и действительным значением выходной координаты автоматической системы.

Функциональный элемент (функциональный блок) — конструктивно обособленная часть автоматической системы (АС), выполняющая определенную функцию.

Воспринимающий элемент (блок) — функциональ-

ный элемент АС, принимающий внешние воздействия и (или) контрольные воздействия.

Измерительный элемент (блок) — функциональный элемент, предназначенный для измерения величин воздействий, поступающих на АС, а также для исправления ошибок управления.

Усилительно-преобразовательный элемент (блок) — функциональный элемент АС, воспринимающий сигналы измерительного элемента, усиливающий их и преобразующий в вид, приемлемый для исполнительного механизма.

Исполнительный элемент (блок) — функциональный элемент АС, перерабатывающий управляющие воздействия и непосредственно воздействующий на объект управления.

Корректирующий элемент — устройство в АС, улучшающее устойчивость и динамические свойства.

Динамическое звено — элементарное звено, которое изменяет функциональную зависимость воздействия, подаваемого на его вход, от времени.

Логическое звено — элементарное звено, осуществляющее логическую операцию И, ИЛИ, НЕ по отношению к воздействиям, поступающим на его входы.

САУ (САР) имеют следующую классификацию.

По *характеру алгоритма управления* различают:

системы управления по разомкнутому циклу (рис. 1), характеризующиеся отсутствием обратной связи;

системы управления по замкнутому циклу (рис. 2), т. е. с обратной связью, при наличии которой на управляющее устройство УУ поступает информация об отклонении выходной величины Y от заданного значения, что позволяет сформировать управляющее воздействие UV , возвращающее Y в заданное положение;

комбинированные системы управления (рис. 3).

По *назначению*: системы автоматической стабилизации; системы программного управления; следящие системы.

По *принципу управления*, в том числе:

по характеру используемых для управления сигналов: непрерывные, дискретные (импульсные, релейные);

по характеру используемой информации об условиях работы: системы с жесткими законами управления и структурой; системы с изменяемыми структурой и законом управления, к которым относятся системы авто-

матической настройки, самообучающиеся и самоорганизующиеся системы;

по характеру математических соотношений: линейные и нелинейные.

По *количеству выходных координат объекта управления*: одномерные и многомерные. Последние делятся на системы связанного и несвязанного управления. В системах связанного управления отдельные управляющие устройства связаны друг с другом внешними связями. Входящая в состав многомерной системы отдельная система управления называется автономной, если управляемая ею выходная величина не зависит от значений остальных управляемых величин.

Элементы САУ (САР) имеют следующую классификацию.

По *функциональному назначению*: измерительные; усилительно-преобразовательные; исполнительные; корректирующие.

По *виду энергии*, используемой для работы: электрические, механические, гидравлические, пневматические, комбинированные.

По *наличию или отсутствию вспомогательного источника энергии*: активные, пассивные.

По *поведению в статическом режиме*: статические, астатические.

По *способу воздействия*: прямого действия, непрямого действия.

Все это многообразие условий и сами элементы (блоки) САУ (САР) связаны между собой по определенным схемам: структурным, функциональным, принципиальным и др.

Структурная схема (блок-схема) определяет основные функциональные части АС, их взаимосвязи и служит для общего ознакомления с системой.

Функциональная схема раскрывает назначение элементов АС, связи между ними и объектом управления, а также построение АС. Для этих схем применяются условные графические обозначения, главные из которых даны в прил. 1.

Принципиальной схемой называется изображение АС с помощью условных графических обозначений *всех* элементов системы и связей между ними (прил. 2). В СССР принят разнесенный способ изображения принципиальных схем, при котором различные

элементы *одного и того же* устройства размещают в разных местах схемы так, чтобы число пересечений проводов и их длина были минимальными.

§ 2. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Всякое автоматическое устройство представляет собой достаточно сложную систему, где каждый элемент имеет определенное назначение. Система автоматического измерения включает датчик (чувствительный элемент и элемент преобразования), усилители, линию связи и измерительный прибор. Для системы автоматического контроля необходимо наличие задающего элемента и элемента сравнения.

Принцип измерения заключается в сравнении измеряемой величины с другой величиной, условно принятой за единицу.

С точки зрения метрологии — науки об измерениях — различают два вида измерений:

прямые измерения — измерения, при которых определяемую величину находят путем непосредственного сравнения этой величины с единицей измерения. Например, измерение длины с помощью линейки;

косвенные измерения — определение измеряемой величины путем вычисления по результатам прямых измерений одной или нескольких величин, связанных с искомой функциональной зависимостью. При изучении некоторых физических явлений приходится исследовать зависимость одной какой-либо величины от ряда других, связанных определенными функциональными зависимостями между собой. Такие измерения называются совокупными.

Важную роль в устройствах автоматики играют задающие элементы. Они устанавливают требуемый параметр процесса, закон его изменения или порядок воздействия сигналов в ходе технологического процесса. В зависимости от назначения задающие элементы бывают стабилизирующие, программные, следящие и самонастраивающиеся.

Элемент сравнения (нуль-орган) сравнивает воспринятую величину с заданной и выдает их разность, т. е. рассогласование двух сигналов.

Каждый из названных элементов может быть дискретного действия, т. е. сигнал на выходе элемента от-

сутствует или присутствует (принцип «да» — «нет»), и аналогового (пропорционального) действия, т. е. величина сигнала на выходе элемента пропорциональна величине сигнала на входе (сигнал может изменяться постепенно от нуля до максимума).

Автоматический контроль — это автоматическое получение и обработка информации о параметре и внешних условиях с целью обнаружения событий (изменяющихся по произвольному закону), определяющих управляющее воздействие. Событием может быть любой качественный результат процесса, например, отклонение температуры от нормы в пропарочной камере, или количественный результат работы устройства, например, достижение грузом верхней точки (стрелы крана).

Система автоматического контроля может быть представлена следующим образом: восприятие информации (температура в пропарочной камере, положение башенного крана по отношению к упорам и пр.), преобразование этой информации в удобный для дальнейшего использования сигнал (электрический, гидравлический и пр.), промежуточное преобразование сигнала (усиление, модуляция и пр.), измерительное преобразование (преобразование в сигнал, удобный для получения результата, — запись, световой или звуковой сигнал и пр.), обнаружение признаков контролируемого параметра (температура выше нормы, механизм достиг определенного положения) по заданному закону.

В соответствии с этой последовательностью прохождения сигнала система автоматического контроля будет иметь следующую структурную схему (рис. 4): *ЧЭ* — чувствительный элемент — восприятие состояния объекта; *ПЭ* — преобразовательный элемент — преобразование состояния в сигнал; *Д* — датчик (первичный прибор) — восприятие и преобразование; *У* — усилитель, модуляр и пр. — промежуточное преобразование; *ЛС* — линия связи — передача и восприятие сигнала на расстоянии; *ИП* — измерительный прибор (вторичный прибор) — преобразование в сигнал, удобный для получения окончательного результата; *ЭС* — элемент сравнения — обнаружение признаков контролируемого параметра; *ЗЭ* — задающий элемент. Элемент сравнения, задающие элементы и приемник сигнала могут быть как в самом измерительном приборе (пунктир на схеме), так и вне его.



4. Структурная схема автоматического контроля

С точки зрения метрологии важной частью автоматического контроля является оценка достоверности (точности) измерений. Достоверность измерений количественно оценивается величиной погрешности.

Абсолютная погрешность измерения — это положительная или отрицательная разность между показанием измерительного прибора x_n и действительным значением измеряемой величины x_d : $\pm \Delta x = x_n - x_d$.

Относительная погрешность измерения δ_n — это отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженная в процентах: $\delta_n = (|\Delta x|/x_d) 100$. Например, если действительное значение температуры равно 108°C , а измерительное устройство показывает 105°C , то абсолютная погрешность показаний равна 3°C , а относительная погрешность $(3/108) 100 = 2,8\%$.

Поправкой называют величину, которая должна быть алгебраически прибавлена к показаниям прибора, чтобы получить действительное значение. Поправка равна погрешности показаний, взятой с обратным знаком. Поправки вводят только в показания более совершенных лабораторных приборов. В показания технических приборов поправки не вносятся. Здесь существуют два критерия оценки качества приборов: либо технический прибор обладает погрешностью меньше допустимой и тогда он годен к последующей эксплуатации, либо погрешность получается больше допустимой и тогда прибор не пригоден к применению.

Погрешности измерения подразделяются на систематические и случайные.

Систематической погрешностью называют составляющую погрешности, которая остается постоянной или изменяется по определенному закону при повторных измерениях. Систематические погрешно-

сти могут быть изучены, их значения определены, а результаты измерения уточнены путем внесения поправок. Постоянные систематические погрешности имеют определенный знак — «+» или «-».

Случайной погрешностью называют составляющую погрешности измерений, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Кроме того, в процессе измерения могут быть допущены грубые ошибки, существенно превышающие систематические или случайные погрешности, оправдываемые объективными условиями измерения. В возникновении таких ошибок чаще всего виновны сами наблюдатели и неисправности измерительной аппаратуры.

Измерительные приборы чаще оценивают не по абсолютной, а по приведенной погрешности или по классу точности.

Приведенной погрешностью γ_n называют относительную погрешность показаний, выраженную в процентах от верхнего предела измерения прибора (диапазона измерений или длины шкалы, так называемого нормируемого значения x_n): $\gamma_n = (|\Delta x|/x_n) 100$.

Для приборов, имеющих двустороннюю шкалу, погрешность относят ко всей шкале (например, для ртутного термометра со шкалой от -35 до $+50^\circ\text{C}$ — к значению 85°C), а для приборов, не имеющих нуля, погрешность определяют по отношению к значению, равному разности между верхним и нижним пределами измерения по шкале (например, для потенциометра со шкалой от 400 до 900°C — к значению 500°C).

Погрешности измерения могут быть основными и дополнительными.

Основная погрешность соответствует нормальным условиям работы прибора, в частности, определенной температуре окружающей среды, установленному значению напряжения источника питания, нормальному рабочему положению прибора и др.

Дополнительная погрешность вызывается воздействием внешних условий на прибор при различных отклонениях от нормальных условий работы.

Класс точности прибора в большинстве случаев численно равен сумме допустимых основной и дополнительной приведенных погрешностей, выраженной в процентах.

Вариацией называют наибольшую разность между повторными показаниями приборов, соответствующими одному и тому же действительному значению измеряемой величины при неизменных внешних условиях. Например, если трехкратное измерение температуры кипящей воды при постоянном атмосферном давлении термометр показывает в первый раз $100,2^{\circ}\text{C}$, во второй раз — $99,6^{\circ}\text{C}$, в третий — $99,8^{\circ}\text{C}$, то вариация показаний термометра будет равна $0,6^{\circ}\text{C}$. Так же, как и погрешность, вариацию часто оценивают в процентах от верхнего предела измерений прибора (или от алгебраической разности верхнего и нижнего пределов измерений).

Существуют два близких по наименованию, но различных по смыслу термина: чувствительность и порог чувствительности.

Чувствительностью измерительного прибора называют отношение линейного или углового перемещения стрелки или пера прибора к единице измеряемой величины, вызвавшей это перемещение. Например, если у одного манометра перемещение стрелки равно 6 угловым делениям на единицу давления, а у второго — 10 делениям, то второй более чувствителен, чем первый.

Порогом чувствительности измерительного прибора называют наименьшее изменение измеряемой величины, способное вызвать малейшее перемещение стрелки или пера прибора. Порог чувствительности у измерительных приборов возникает прежде всего за счет трения в кинематических звеньях. Поэтому при определении порога чувствительности требуется предварительно исключить влияние вариаций, возникающих по другим причинам.

Погрешности, вариации и порог чувствительности по сравнению с измеряемыми величинами относительно невелики, и в обычных условиях их принято оценивать величинами с двумя значащими цифрами. Например, приведенная погрешность $0,83\%$, а не $0,826\%$.

Совокупность действий, производимых с целью оценки погрешностей приборов, называют *поверкой*.

§ 3. ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКОЕ И АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Для пояснения принципа действия всякой автоматической системы управления рассмотрим регулирование скорости движения (подачи) роторного экскаватора в зависимости, например, от прочности грунта.

На рис. 5 показана блок-схема электропривода рабочего органа роторного экскаватора с ручным управлением. Нагрузка B на валу электропривода роторного



5. Принцип действия системы регулирования скорости движения роторного экскаватора

экскаватора зависит от прочности грунта. В свою очередь ток якоря электропривода I является функцией нагрузки на рабочем органе. Шкалу прибора, измеряющего ток I , можно проградуировать в величине нагрузки B . Человек, обслуживающий экскаватор, следя за углом поворота φ стрелки прибора, читает на его шкале значение нагрузки B . В зависимости от того, в какую сторону она отклонилась от требуемого значения, человек производит перемещение S движка реостата, изменяющего частоту вращения электродвигателя и скорость движения экскаватора в соответствующую сторону.

Автоматизируя этот процесс, прежде всего надо проанализировать функции человека в нем. Человек здесь осуществляет перемещение движка реостата в зависимости от наблюдаемого им отклонения нагрузки.

Такой простейшей зависимостью является пропорциональность между перемещением движка реостата и величиной отклонения с учетом направления (знака) этого перемещения (рис. 6):

$$\Delta S = K \Delta B,$$

где ΔB — нежелательное отклонение нагрузки от некоторого требуемого заданного программой ее значения B_0 ; K — коэффициент пропорциональности, который показывает, сколько, например, сантиметров перемещения ΔS движка реостата приходится на каждую единицу отклонения.