

Модуль 1 Введение. Классификация элементов систем автоматики

План лекции

1.1 Введение. Основные понятия и определения

1.2 Краткий исторический обзор развития технических средств автоматики

1.3 Обзор развития и современное состояние элементов и технических средств автоматики

1.4 Классификация элементов систем автоматики

1.5 Основные принципы управления и регулирования

1.1 Введение. Основные понятия и определения

Дисциплина «Элементы и устройства автоматики» ставит целью формирование специальных знаний, умений, навыков и компетенций в области элементов и устройств автоматики применительно к конкретной сфере профессиональной деятельности.

Задачи изучения дисциплины следующие:

- изучить фундаментальные принципы организации и архитектуры автоматических и автоматизированных систем контроля и управления для объектов и процессов в различных отраслях промышленности;

- изучить основные направления развития промышленных приборов и средств автоматизации и управления, научно-технические проблемы и перспективы их развития;

- овладеть практическими навыками выбора, расчета и применения промышленных приборов и средств систем автоматики и телемеханики, а также использования пакетов прикладных программ для расчетов, моделирования и автоматизации настройки и проектирования технических средств систем автоматики и телемеханики.

Для изучения дисциплины «Элементы и устройства автоматики» необходимо усвоение дисциплин «Физика I», «Теоретические основы электротехники» и «Электроника».

Знания, полученные при изучении дисциплины «Элементы и устройства автоматики» используются при освоении дисциплин «Применение SCADA-систем в общепромышленных комплексах» и «Автоматизация типовых промышленных комплексов».

Автоматика как научная дисциплина рассматривает принципы и технические средства *управления производственными процессами* без непосредственного участия человека. В общем случае *управление* представляет собой такую организацию того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определенных целей. Управление осуществляется с помощью специально организованных воздействий, прикладываемых к объекту управления и изменяющих его количественное и качественное состояние в соответствии с поставленной целью.

Технический уровень промышленности на современном этапе развития во многом определяется степенью *автоматизации*. Под *автоматизацией процесса* подразумевают автоматическое управление производственным процессом без непосредственного участия человека. Автоматизация является одним из главных направлений научно-технического прогресса и важным средством повышения эффективности производства.

Различные производственные процессы могут иметь различные уровни автоматизации. Так, при *частичной* автоматизации автоматизированы отдельные машины, механизмы и участки технологического процесса. При *комплексной* автоматизации автоматизируются основные участки производства. В случае же *полной* автоматизации должны быть автоматизированы все основные и вспомогательные участки технологического процесса, по сути, автоматизации подвергается все технологическое оборудование, машины и механизмы. Примером полной автоматизации может служить завод-автомат, содержащий автоматические линии на всех технологических участках. Здесь обслуживающий персонал выполняет лишь функции пуска, остановки, ремонта и периодического наблюдения за технологическим процессом.

Основными формами автоматизации являются:

- технологическая сигнализация,
- дистанционное управление,
- автоматическая защита, блокировка и контроль,
- автоматическое регулирование и управление.

Автоматическое регулирование и управление является наиболее сложной и совершенной формой автоматизации.

1.2 Краткий исторический обзор развития технических средств автоматики

Древнегреческое слово «автоматика» обозначает «самодействие». Такие самодействующие машины в виде ловушек и капканов широко использовались, к примеру, на охоте. Начальным этапом развития средств автоматизации является создание простейших автоматов. Первые сведения об автоматах появились в начале нашей эры в работах Герона Александрийского (рисунки 1.1-1.2), который создал пневмоавтомат для открывания дверей храма, автомат для продажи «священной» воды и др.

Кстати, первым примером применения обратной связи в автоматических устройствах является поплавковый регулятор уровня, известный уже во II веке до н. э., который до сих пор исправно действует, например, в нашем бытовом оборудовании. Поплавковый регулятор был применен в водяных часах александрийского ученого Ктезибия, построенных во II веке до н. э.

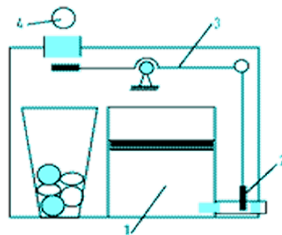


Рисунок 1.1 – Автомат для продажи «святой» воды¹

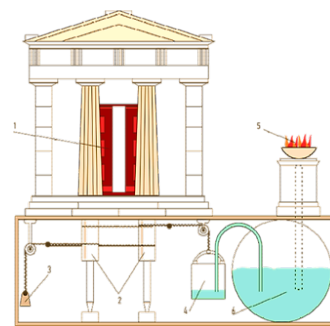


Рисунок 1.2 – Автомат для открывания дверей храма²

В средние века развивалась «андроидная» автоматика, когда искусные механики создавали автоматы, подражающие отдельным действиям человека. Развитие также получили различные автоматы на основе часовых механизмов: с изобретением Христианом Гюйгенсом в 1673 году часового механизма с маятником большой популярностью стали пользоваться диковинные механические игрушки, имитирующие внешний облик и поведение животных и человека («автоматоны» и «андроиды»). Особенность всех этих механических автоматов в том, что они работали по жесткому алгоритму или программе.

На рубеже XVIII-XIX вв., в эпоху промышленного переворота в Европе, начинается новый этап развития автоматике, связанный с ее внедрением в промышленность. В 20-е годы XVIII столетия в России личным токарем Петра Великого А. Нартовым был разработан автоматический суппорт для токарно-копировального станка (рисунок 1.3).

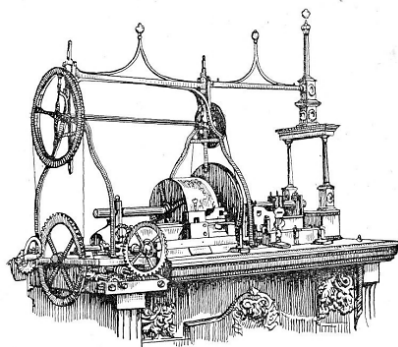


Рисунок 1.3 – Токарно-копировальный станок Андрея Нартова³

Промышленная революция создала необходимые условия для механизации производства - в первую очередь прядильного, ткацкого, металло- и деревообрабатывающего.

^{1, 2} Использованы иллюстрации из источника:

https://dzen.ru/media/id/5c8b8c6f8cbd2100b0f2f811/avtomaticheskie-ustroistva-ot-drevnego-mira-do-nachala-promyshlennoi-revoliucii-5cb9a0a516e64700b3bdc5ea?utm_referer=www.google.com. Дата обращения: 10.07.2026 г.

³ Использована иллюстрация из источника: https://ruvera.ru/articles/ak_nartov. Дата обращения: 10.07.2026 г.

1.3 Обзор развития и современное состояние элементов и технических средств автоматики

К первым промышленным автоматическим устройствам относятся регулятор уровня воды парового котла И.И. Ползунова (1765 г.), регулятор скорости паровой машины Дж. Уатта (1784 г.), система программного управления от перфоленды ткацким станком Жаккара (1804-1808 гг.) и т.д. В этот период начинает развиваться и теория автоматических систем. Формируется ряд важнейших принципов автоматики: принцип регулирования – стабилизации по отклонению Ползунова-Уатта, принцип управления по возмущению Понселе-Чиколева.

Третий этап развития автоматизации производства охватывает период времени конец XIX и середина XX столетия. Впервые глубокое теоретическое исследование систем автоматического регулирования с учетом нелинейных факторов было выполнено английским физиком и естествоиспытателем Максвеллом, который получил условия устойчивости из анализа линеаризованных уравнений и поставил перед математиками проблему определения устойчивости линейных систем произвольной размерности. Основы науки об автоматическом управлении впервые были изложены в статье Дж. Максвелла «О регулировании» (1868) и труде русского учёного И. А. Вышнеградского «О регуляторах прямого действия» (1877), в котором впервые регулятор и машина рассматривались как единая система.

Следующий этап в исследованиях автоматических систем связан с именами И.А. Вышнеградского, А. Стодолы, Э. Рауса, А. Гурвица, Н.Е. Жуковского, А.М. Ляпунова, П.Л. Чебышева, В.А. Стеклова, А.Н. Крылова.

Бурное развитие науки и техники в XX веке обусловило и качественный скачок как в исследованиях автоматических систем (Х. Найквист, А.В. Михайлов, В.В. Солодовников, А. Пуанкаре, В. Оппельт, А.Н. Колмогоров, В.С. Пугачёв, Н. Винер, Р. Беллман, Р. Калман, И.А. Вознесенский, Н.Н. Лузин и др.), так и в развитии элементов и устройств автоматизации (полупроводниковые приборы, технологии интегральной микросхемотехники, ЭВМ, микропроцессорные и компьютерные средства автоматизации и т.д.).

Современными тенденциями в автоматизации производства являются:

- широкое применение ЭВМ (промышленных контроллеров, компьютеров) для автоматического и автоматизированного управления технологическими процессами;
- создание машин и оборудования со встроенными цифровыми системами измерения, контроля и регулирования;
- переход на децентрализованные (распределенные) структуры автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП);
- внедрение человекомашинных систем управления технологическими процессами – компьютеризованных супервизорных систем диспетчерского

управления и сбора данных (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition);

– автоматизированное проектирование систем автоматизации и управления и др.



Рисунок 1.4 – SCADA – составная часть АИИС современной АСУ ТП*

Современное промышленное производство характеризуется ростом масштабов и усложнением технологических процессов, увеличением единичной мощности отдельных агрегатов и установок, применением интенсивных, высокоскоростных режимов, повышением требований к качеству продукции, безопасности персонала, сохранности оборудования и окружающей среды. Экономичное, надежное и безопасное функционирование сложных промышленных объектов может быть обеспечено только с помощью совершенных принципов и технических средств автоматизации.

*Использована иллюстрация из источника:

<https://www.promotic.eu/en/pmdoc/WhatIsPromotic/WhatIsScada.htm>. Дата обращения: 10.07.2026

1.4 Классификация элементов систем автоматики

Любой процесс управления можно разделить на четыре составляющих:

- 1) получение информации о цели управления или задание величины параметров состояния объекта;
- 2) получение информации о состоянии объекта;
- 3) переработка полученной информации и принятие решения, т.е.

формирование сигнала управления;

4) исполнения решения – реализация управляющего воздействия, соответствующего выработанному сигналу управления.

Соответственно для реализации автоматического управления необходимо иметь элементы – *задающие, измерительные, управляющие (регулирующие) и исполнительные*.

Под *элементом* системы управления понимают составную, относительно самостоятельную ее часть, предназначенную для выполнения какой-либо определенной функции.

Задающим элементом (задатчиком), называется элемент, вырабатывающий сигналы, соответствующие цели управления. В качестве задающего устройства могут использоваться простейшие реостатные задатчики, контактные командоаппараты, бесконтактные программные устройства и др.

Измерительный элемент (измерительный преобразователь) служит для контроля состояния объекта, его выходных параметров, а также параметров внешней среды и передачи этой информации управляющему элементу системы.

Управляющий (регулирующий) элемент в простейшем случае вырабатывает сигнал управления (регулирования), пропорциональный отклонению управляемой (регулируемой) величины от заданного значения. Обычно управляющий элемент (регулятор) имеет весьма сложное строение и может рассматриваться как система, состоящая из других элементов (усилителей, фильтров, суммирующих устройств и др.).

Исполнительные элементы служат для непосредственного изменения состояния объекта управления. К исполнительным элементам относятся *исполнительные механизмы и регулирующие органы*, которые конструктивно могут быть объединены в едином изделии или собираются из индивидуально выпускаемых блоков. В некоторых случаях исполнительный элемент может состоять из одного блока, выполняющего функции исполнительного механизма.

Под *исполнительным механизмом* в общем случае подразумевают блок, преобразующий входной управляющий сигнал от регулирующего устройства в сигнал, который через соответствующую связь осуществляет воздействие на *регулирующий орган* или непосредственно на объект регулирования. Как правило, это весьма мощные устройства, например электродвигатели, гидравлические и пневматические исполнительные механизмы.

Регулирующим органом называют блок исполнительного элемента, с помощью которого оказывается регулирующее воздействие на объект регулирования. Регулирующие органы по конструкции представляют собой устройства, монтируемые непосредственно в технологические объекты. Так, для трубопроводов используют различные клапаны, заслонки, шиберы и т.п. Управление регулирующими органами осуществляется исполнительными механизмами, выполняющими функции их приводов.

1.5 Основные принципы управления и регулирования

Принципиальными особенностями систем автоматики являются наличие цели их функционирования и способность изменять свое состояние под влиянием различных воздействий. Под *воздействием* понимают такое влияние окружающей среды или одной части системы на другую, при котором происходят изменения в части, испытывающей это влияние. Внешние воздействия, которые существенно влияют на состояние системы, называют *входными*, а составные части системы, к которым приложены эти воздействия, называют входами системы.

Системы автоматики классифицируют по ряду признаков, характеризующих различные их особенности:

- 1) по типу контура управления – разомкнутые и замкнутые;
- 2) по принципу управления – по отклонению, по возмущению, комбинированные и адаптивные;
- 3) по характеру изменения задания – стабилизирующие, программные, следящие;
- 4) по характеру сигнала – непрерывные и дискретные (импульсные, релейные, цифровые);
- 5) по характеру реакции на возмущение – статические и астатические;
- 6) по виду вспомогательной энергии – электрические, пневматические, гидравлические и комбинированные.

Рассмотрим основные принципы построения систем автоматики, используя их функциональные и принципиальные схемы. На функциональных блок-схемах составные части (блоки) системы представляются прямоугольниками кружками, а их взаимодействие – линиями со стрелками. Блоки обозначаются буквами (словами) согласно выполняемым ими функциям, которые, как правило, соответствуют рассмотренным ранее элементам.

Простейшими системами управления являются *разомкнутые САУ*.

Они обеспечивают заданный закон изменения состояния объекта управления (включение, выключение, изменение режима работы и др.) без контроля результатов управления. Закон изменения состояния объекта управления во времени называется *программой управления*, которая размещается в *здатчике* (задающем элементе). Задатчик (рисунок 1.5) в свою очередь формирует значение x_z управляемой величины x объекта и, таким образом, закон ее изменения во времени. При этом под управляемой величиной понимают параметр, характеризующий технологический процесс, например, угловую скорость и развиваемый момент электропривода технологической машины.

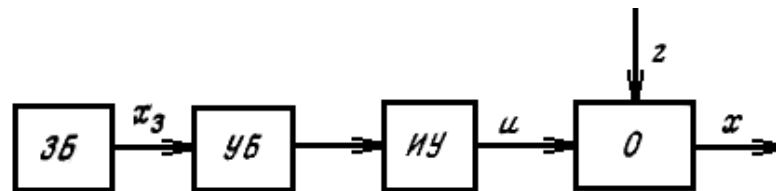


Рисунок 1.5 – Общая функциональная схема разомкнутой системы автоматического управления

Управляющий блок воспринимает сигнал задатчика, преобразует его и выдает командный сигнал на вход исполнительного устройства, которое вырабатывает управляющее воздействие, прикладываемое ко входу объекта. Последнее изменяет количество энергии или вещества, подводимого к объекту, обеспечивая этим изменение его состояния в соответствии с заданием.

Воздействия z , изменяющиеся при работе системы и нарушающие требуемую функциональную связь между x_3 и x , называются *возмущающими*, или *возмущениями*. Они делятся на основные и второстепенные (помехи). Основные возмущающие воздействия значительно влияют на управляемый процесс. Они, как правило, приложены к объекту. К ним относятся нагрузка объекта управления, влияние температуры, влажности и т.п. *Помехи* – это многочисленные воздействия, слабо влияющие на ход процесса. К ним можно отнести колебания напряжения в сети переменного тока, изменения сопротивлений цепей, воздушные зазоры и упругие деформации в деталях и т.п. Помехи могут воздействовать на часть или на все элементы системы.

Недостаток разомкнутых САУ – малая точность выполнения заданного закона управления, поскольку возмущающие воздействия не компенсируются. Поэтому такие системы в основном применяют для автоматизации процессов пуска и останова машин и механизмов, когда не требуется точное выполнение заданного закона изменения скорости (насосы, вентиляторы, конвейеры, компрессоры и др.), а также для обеспечения требуемой последовательности рабочих операций.

Замкнутые САУ строятся на основе принципа обратной связи, сущность которого заключается в том, что управляющее воздействие ставится в зависимость от того результата, который оно вызывает. Под *обратной связью* понимают устройство, осуществляющее передачу воздействия с выхода системы или ее элемента на их входы. Такие связи (их может быть несколько в одной системе) реализуются на основе измерительных устройств.

Обратные связи могут быть жесткими и гибкими, положительными и отрицательными. Жесткая обратная связь действует постоянно, т. е. в переходных и установившихся режимах работы системы, а гибкая — только в переходных режимах. Сигнал положительной обратной связи суммируется с входным сигналом системы (элемента), а сигнал отрицательной — вычитается из входного сигнала.

Замкнутая САУ, в которой управляющее воздействие вырабатывается в

функции отклонения действительного значения управляемой величины от ее заданного значения, называется *системой автоматического регулирования (САР)*. Управление в таких системах называют *регулированием*, управляющее устройство – *регулятором*, а управляемую величину – *регулируемой величиной*.

В САР, представленной на рисунке 1.6, а, реализован принцип управления по отклонению.

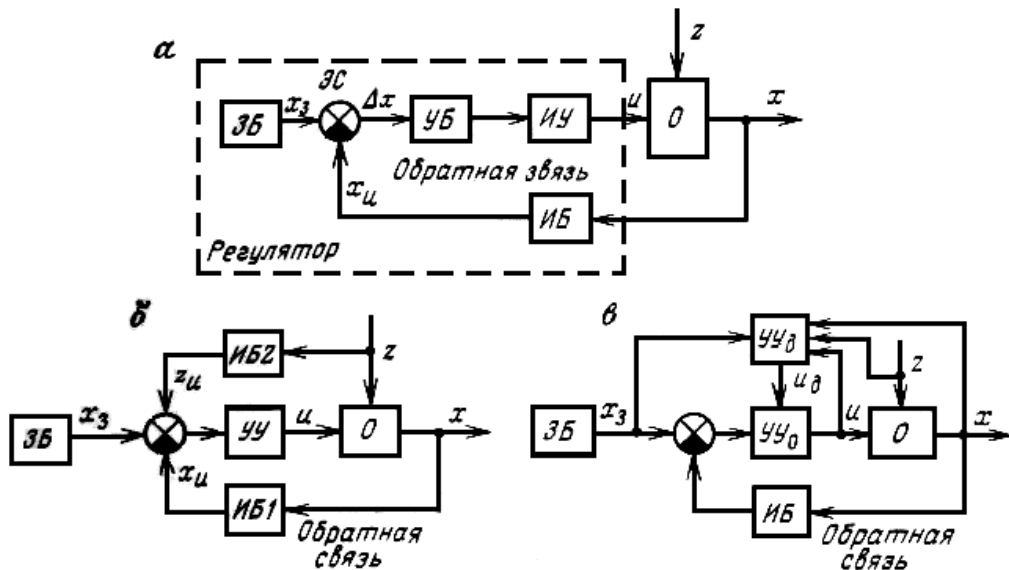


Рисунок 1.6 – Функциональные схемы замкнутых САУ:
 а — САР по отклонению; б — комбинированная; в — адаптивная

Блок *ИБ* измеряет регулируемую величину x , преобразует ее в величину x_{Π} , подобную выходной величине x_3 задатчика *ЗБ* и подает на элемент сравнения *ЭС*, который определяет отклонение регулируемой величины от заданного значения

$$\Delta x = x_3 - x_{\Pi}.$$

Сигнал Δx после преобразования в управляющем блоке *УБ* передается на исполнительное устройство, которое формирует управляющее воздействие

$u = f(\Delta x)$, прикладываемое к регулирующему органу объекта (задвижке, клапану и др.) и обеспечивает тем самым приближение регулируемой величины к заданному значению. Регулирующий орган может отсутствовать, если весь поток энергии или вещества поступает в объект от исполнительного устройства, например, от генератора к электродвигателю.

Для САР характерно наличие отрицательной обратной связи и замкнутой цепи передачи воздействий: *УБ — ИУ — О — ИБ — ЭС — УБ*. Благодаря этому они способны обеспечить высокую точность управления.

САР, имеющие задание поддерживать управляемую величину на постоянном уровне $x_3 = \text{const}$, называются *автоматическими стабилизирующими системами*. К ним относятся, например, системы автоматической стабилизации температуры подаваемого в шахту воздуха, давления в пневмосети и др.

Замкнутые системы, изменяющие управляемую величину в соответствии с заранее заданной функцией какого-либо параметра (времени, пути и т.д.), называются *программными автоматическими системами*. К таким системам относится, например, САР скорости шахтной подъемной машины.

Системы, имеющие задание изменять управляемую величину в соответствии с действующей на входе системы переменной величиной, закон изменения которой заранее неизвестен, называются *слеящими автоматическими системами*. Примером таких систем является САР производительности компрессорной станции, обеспечивающая производство сжатого воздуха для пневмосети в соответствии с его потреблением, имеющим случайный характер изменения во времени.

Автоматические системы управления высокой точности обычно строят по *принципу комбинированного управления* (рисунок 1.6, б). В таких системах воздействие вырабатывается управляющим устройством УУ в функции отклонения и возмущения. Последнее измеряется блоком ИБ₂ и подается на вход системы в виде сигнала, который суммируется с заданием x_3 , компенсируя тем самым вредное влияние возмущения на управляемую величину x .

Успешное развитие кибернетики позволило применить в автоматических системах новый принцип управления, называемый *принципом адаптации (самонастраивающиеся системы)*. Системы, использующие этот принцип, способны обеспечить высокое качество управления объектами с переменными свойствами и условиями функционирования, например, буровыми установками, у которых в процессе работы затупляются режущие элементы рабочих органов, изменяются физико-механические свойства горного массива, масса подвижных частей и др.

Адаптивная (самонастраивающаяся) САУ (рисунок 1.6, в) содержит дополнительное управляющее устройство УУ_д, которое вырабатывает корректирующее воздействие u_d , используя информацию об изменении управляемой величины, задающего и возмущающего воздействия. Сигнал u_d вызывает необходимые изменения структуры и параметров основного управляющего устройства УУ₀, т. е. осуществляет самонастройку системы в процессе ее функционирования.

В зависимости от характера реакции на возмущения САУ делятся на *статические* и *астатические*.

К *статическим* САУ относятся системы, у которых установившееся значение управляемой величины зависит от величины возмущающего воздействия так, что отклонение от задания пропорционально величине последнего. В такой системе всегда имеется так называемая *статическая погрешность*.

В *астатических системах* установившееся значение управляемой величины не зависит от величины возмущающего воздействия и статическая погрешность равна нулю.

Проектированию любой автоматической системы предшествует анализ производственного процесса, условий эксплуатации и формулирование

требований к САУ. В связи с этим далее рассматриваются некоторые вопросы теории, раскрывающие принципы построения автоматических систем и закономерности протекающих в них процессов.

*Использована иллюстрация из источника: Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учеб. пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. Дата обращения: 10.07.2026

Список рекомендуемой литературы

1. Системы автоматики и телемеханики: учебное пособие / Г.А. Эм, В.В. Каверин; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: КарГТУ, 2015. С. 4-14.
2. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов: учебник для вузов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Изд. центр «Академия», 2011. С. 11-15.
3. Автоматизация технологических комплексов: учебное пособие / Г.А. Эм, Н.В. Макаренко; Карагандинский государственный технический университет. – Караганда: КарГТУ, 2012. С. 4-10.
4. Эм Г.А. Элементы и устройства автоматики: учебное пособие. – Караганда: КарГТУ, 2009. С. 4-7.