**Принципы, методы и технические средства систем управления химико-технологическими процессами. Структура современных автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), приемы выбора и использования систем аварийного контроля, сигнализации, блокировки и защиты**

# Основные принципы системного подхода

# Впервые основные принципы системного подхода были сформулированы в 1937 году американским биологом Лео фон Берталанфи. В то время новый исследовательский подход не привлек особого внимания ученых и только после II мировой войны получил широкое распространение в связи с развитием кибернетики и социальных наук. Основные принципы системного подхода можно сформулировать следующим образом:

# - любой объект исследования следует рассматривать как систему, отвлекаясь от его конкретной природы;

# - эффективность функционирования этой системы зависит от ее состава и структуры;

# - нельзя изучать отдельные элементы системы в отрыве от других элементов;

# - полное знание одного элемента системы не означает знание всей системы, и неполная информация может привести к неожиданным последствиям;

# - для изучения состава и структуры системы используют метод декомпозиции – расчленение целого на части;

# - при изучении отдельных элементов системы исследуются лишь те свойства элемента, которые определяют его взаимодействие с другими элементами или влияют на свойства системы в целом;

# - системный подход заключается в определении состава и структуры системы, которые обеспечат полную совместимость элементов внутри системы и совместимость последней с внешней средой при достижении высоких результатов функционирования системы.

# Сложность такой системы как химическое производство сделало целесообразным применение для ее исследования системного подхода и введения понятия уровень протекания процесса. При подобном подходе в химическом производстве выделяются несколько последовательно возрастающей сложности подсистем – уровней, каждому из которых свойственен свой метод изучения явления. Такими уровнями в химическом производстве являются:

# молекулярный уровень, на котором механизм и кинетика химических превращений описывается как молекулярное взаимодействие (микрокинетика);

# уровень малого объема, на котором явления описываются как взаимодействие макрочастиц (гранул, капель, зерен катализатора).

# Для анализа явлений на этом уровне и описания химического процесса введено понятие - макрокинетика, задачей которой является изучение влияния на скорость химических превращений процессов переноса масс исходных веществ и продуктов реакции, процессов теплопередачи и влияние состава катализатора.

# 

# уровень потока, на котором описание явлений дается как взаимодействие совокупности частиц.

# С учетом характера движения их в потоке и изменения температуры, концентраций реагентов по потоку; уровень реактора, на котором описание явления дается с учетом конструкций аппарата, в котором реализован процесс; уровень системы, на котором при рассмотрении явлений учитываются взаимосвязи между технологическими узлами промышленной установки и производства в целом.

# Таким образом, проблема различия между теоретической химией и химической технологией есть проблема различия между фундаментальными научными исследованиями и реальным промышленным производством, на нем основанном.

# С этой точки зрения химическое производство – это искусственная техническая система, предназначенная для выпуска химической продукции требуемого качества с минимальными затратами и минимальным воздействием на окружающую среду. Назовем эту систему химико-технологической системой (ХТС) определим цель управления химико-технологической системой и рассмотрим ее состав и структуру.

# Цель управления химико-технологическим процессом

# 

*Рисунок 1*

# Химико-технологическая система (ХТС) функционирует нормально, если ее режимные параметры (температура, давление, расход, состав и т.п.) не отклоняются существенным образом от расчетных значений. Для обеспечения нормального функционирования технологической системы ею надо управлять.

# Виды производств

# • Непрерывное

# – Требуется регулировать расход, давление, температуру, напряжение, перемещение подвижных элементов и пр. величины во всех их диапазонах изменений

# • Дискретное

# – Требуется регулировать переменные величины с дискретным количеством состояний, например, вкл. или откл. клапанов, задвижек, пускателей и т.п.

# • Производственный процесс — это совокупность действий, необходимых для выпуска готовых изделий из полуфабрикатов или связанных с функционированием производственного подразделения.

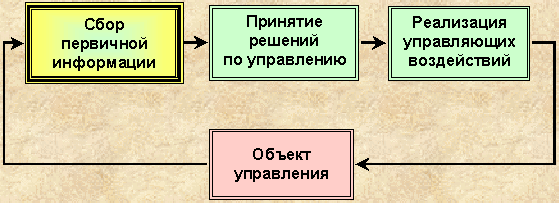
# • Технологический процесс — это совокупность действий, связанных с обеспечением требуемых выходных параметров данного процесса.

# • Технологический процесс является основной частью производственного процесса, поэтому можно говорить о наличии технологического процесса у любого подразделения данной производственной системы независимо от того, выполняет ли оно основные или вспомогательные функции по отношению к так называемому основному продукту производства.

# Управление – процесс, обеспечивающий необходимое, в соответствии с целевым назначением, протекание химико-технологического процесса (ХТП) путем изменения материальных и энергетических потоков. Технологический процесс, с точки зрения управления, называется объектом управления.

# Система управления – это система, объединяющая объект управления и, собственно, управляющую систему.

# Управляющая система осуществляет сбор информации о состоянии объекта управления, возмущающих воздействий и состояния внешней среды. На основе полученной информации принимаются решения по управлению и вырабатываются управляющие воздействия.



# Виды управления

# • Управление технологическим процессом (АСУТП) - Автоматизация технологического процесса – это совокупность методов и средств, предназначенная для реализации системы или систем, позволяющих осуществлять управление производственным процессом без непосредственного участия человека – не только управление – в технологическом процессе может присутствовать человек, в том числе, если технологические процессы относятся к организациям.

# • Управление предприятием (АСУП) – АСУТП + автоматизация управления запасами, финансами, кадрами, маркетингом + документооборот.

# Цели автоматизации технологического процесса

# • Повышение эффективности производственного процесса – оптимизация

# • Повышение безопасности производственного процесса

# Решение задач путем:

# • Внедрения современных методов автоматизации

# – Методов автоматического регулирования

# – Методов оптимизации;

# – Методов визуализации;

# – Методов искусственного интеллекта.

# • Внедрения современных средств автоматизации

# – Конкретной SCADA-системы;

# – Конкретных современных датчиков;

# – Конкретных контроллеров;

# – Программных средств ИИ (экспертных оболочек, оболочек для работы с нейронными сетями и т.д.).

# В результате автоматизации технологического процесса, создаётся АСУ ТП

# Виды автоматизации ТП

# • Автоматизация непрерывных технологических процессов (Process Automation)

# • Автоматизация дискретных технологических процесов (Factory Automation)

# • Автоматизация гибридных технологических процессов (Hybrid Automation)

# Состав ХТС

# Простейшим элементом ХТС является оператор, под которым понимают типовой процесс химической технологии и соответствующую ему технику. Оператор преобразует физические параметры входящих в него потоков в соответствующие параметры выходящих потоков. ХТС является оператор, под которым понимают типовой процесс химической технологии и соответствующую ему технику. Оператор преобразует физические параметры входящих в него потоков в соответствующие параметры выходящих потоков.

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_021.htm

# Можно выделить несколько классов операторов (типовых технологических процессов):

# химические процессы, скорость которых определяется законами химической кинетики;

# массообменные (диффузионные) процессы, скорость которых определяется скоростью переноса вещества из одной фазы в другую (растворение, кристаллизация, адсорбция, десорбция, экстракция и др.); гидродинамические процессы, скорость которых определяется законами механики и гидромеханики (отстаивание, перемешивание, пенообразование и др.); тепловые процессы, скорость которых определяется законами теплопередачи (нагревание, охлаждение); энергетические процессы, заключающиеся во взаимном преобразовании различных видов энергии: тепловой, механической, электрической в турбинах, генераторах и моторах; механические процессы (дробление, прессование, гранулирование, дозирование и др.); процессы управления – получение и передача информации о состоянии потоков и продуктов и изменении их свойств.

# Операторы классов 1–6 часто объединяют под одним названием – технологические операторы.

# Более крупной структурной единицей ХТС является подсистема. Подсистемой называют совокупность операторов, объединенных одной технологической схемой. Подсистема – это самостоятельно функционирующая часть системы.

# Подсистемы могут быть выделены по любому, удобному для изучения системы признаку. Например, химическое производство можно представить как иерархическую структуру, состоящую из 3 – 4 уровней или ступеней иерархии (соподчинения):

# 1 (низшая) ступень – типовые ХТП и соответствующая техника;

# 2 ступень – совокупность типовых технологических процессов, осуществляющих определенную операцию. Чаще всего, это цехи или их отдельные участки;

# 3 ступень – химические производства, состоящие из нескольких цехов, где получают целевые продукты;

# 4 ступень – химическое предприятие в целом.

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_022.htm

# По функциональному признаку, наиболее часто используемому технологами, выделяют следующие подсистемы ХТС:

# - подсистема подготовки сырья;

# - подсистема химического превращения;

# - подсистема выделения целевого продукта;

# - подсистема обработки технического продукта;

# - энергетическая подсистема;

# - экологическая подсистема.

# Подсистема химического превращения является главной подсистемой ХТС, здесь происходит получение целевого продукта.

# Подсистему подготовки сырья вводят в том случае, если сырье по своим характеристикам не соответствует требованиям главной подсистемы. Операторами этой подсистемы являются хранение и транспортировка сырья, нагрев и охлаждение, испарение, плавление, растворение, сушка, измельчение и др.

# Подсистема выделения целевого продукта предназначена для разделения реакционной смеси на отдельные компоненты. Операторы подсистемы – ректификация, экстракция, фильтрация и др.

# Подсистема обработки технического продукта имеет целью доведение целевого продукта до заданного уровня качества и придания ему товарного вида. В эту подсистему могут быть включены операторы расфасовки, укупорки, маркировки, транспорта, хранения и др.

# Энергетическая подсистема включает в себя подсистемы производства энергии, рекуперации энергии и водоподготовки.

# Экологическая подсистема предназначена для рекуперации сырья, очистки сточных вод и газовых выбросов.

# В состав ХТС кроме элементов включаются еще связи. Связь - это физический канал, по которому происходит обмен веществом, энергией или информацией между элементами (внутренние связи) и между отдельными системами (внешние связи). По физическому смыслу связи бывают материальные, энергетические  и информационные.

# Материальные связи – потоки сырья, вспомогательных материалов, продуктов и отходов.

# Энергетические связи – потоки топлива, хладоагентов и теплоносителей.

# Материальные и энергетические связи называют технологическими.

# Информационные связи – это связи, обеспечивающие управление системой.

# Структура, состав и компоненты химического ХТС

# Химическое производство должно быть организовано таким образом, чтобы соблюдались следующие требования:

# получение в производстве необходимого продукта

# экологическая безопасность

# безопасность и надежность эксплуатации оборудования

# максимальное использование сырья и энергии

# максимальная производительность труда.

# Как мы с вами говорили на предыдущей лекции химическая технология изучает закономерности проведения химических процессов получения различных по своей природе и назначению продуктов. Независимо от конкретного вида производственной продукции и типа процесса ее получения любое производство включает несколько обязательных элементов: сырье, т.е. объект превращения; энергию, т.е. средство воздействия на объект и аппаратуру, в которой это превращение осуществляется.

# Вспомогательные материалы – материалы предназначенные для обеспечения протекающих процессов. К ним относятся например сорбенты для очистки и выделения продуктов, вещества, с помощью которых создается необходимая среда и т.д. к вспомогательным материалам относится вода. Она занимает особое место в химической промышленности. Вода не только служит средой, в которой протекают многие химические превращения, но широко используется в процессе, как растворитель, теплоноситель, хладагент, транспортное средство. Поэтому воду правомочно считать четвертым обязательным элементом химического производства.

# Сложное химическое производство невозможно эксплуатировать без системы управления. Она обеспечивает контроль состояния производства, проведение процессов при оптимальных условиях, защиту от нежелательных и аварийных ситуаций, пуск и остановку сложной системы. Сложность химического производства как многофакторной и многоуровневой системы, приводит к необходимости использовать в нем разнообразные системы управления отдельными производственными процессами, агрегатами, цехами и предприятиями в целом.

# Структура ХТС – это способ соединения элементов в единую систему. Можно выделить 4 основные структуры:

# последовательное соединение операторов;

# параллельное соединение операторов;

# обводное (байпасное) соединение операторов;

# обратное соединение операторов (рецикл).

# При последовательном соединении аппаратов весь технологический поток, выходящий из предыдущего элемента поступает полностью в последующий элемент; при этом через каждый элемент схемы поток проходит лишь один раз.

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_023.htm

# При параллельном соединении технологический поток разделяется на несколько более мелких потоков, поступающих в различные элементы системы. Выходящие из этих элементов потоки могут объединяться в один поток или выходить из системы раздельно. Через каждый элемент поток проходит один раз.

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_024.htm

# Обводное соединение элементов – это ряд последовательно соединенных аппаратов, через которые проходит лишь часть технологического потока. Другая часть потока обходит один или несколько аппаратов и затем соединяется с основной частью потока. При байпасном соединении направление главного и побочного потоков совпадают; каждый проходит через какой-либо элемент только один раз.

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_025.htm

# 1 – прямой поток (m1), 2 – главный поток (m2),  3 – побочный поток (m3).

# m1 = m2 + m3

# Рецикл характеризуется наличием в цепи последовательно соединенных элементов хотя бы одного обратного потока. В отличие от ранее рассмотренных схем это замкнутая система.

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_026.htm

# m2 = m1 + m3

# Такие системы характеризуются степенью рециркуляции, показывающей, какая для главного потока после его разветвления возвращается в процесс        http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_027.htm,

# и коэффициентом рециркуляции, который показывает, во сколько раз главный поток больше прямого  http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_028.htm.

# Все остальные структуры ХТС являются комбинацией этих четырех основных способов соединения элементов. Комбинированные структуры весьма многообразны; их можно разделить на две большие группы: разветвленные

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_029.htm

# и перекрестные

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_030.htm

# Рассмотренные четыре структуры используется в производстве при соединении в технологическую цепочку любых аппаратов, в том числе и химических реакторов. Рассмотрим, какие технологические задачи решаются при использовании различных вариантов соединения реакторов.

# Последовательное и параллельное соединение реакторов осуществляют при необходимости увеличения производительности установки. При заданной скорости химической реакции производительность установки, работающей в непрерывном режиме, можно увеличить

# при достижении более высокой степени превращения реагента за счет увеличения времени пребывания реагентов в реакционной зоне;

# путем увеличения количества перерабатываемого сырья в единицу времени при сохранении α = const.

# В обоих случаях это приводит к увеличению объема реакционной зоны (объема реактора).

# http://nuru.ru/chem/oht/i/oht1_031.htm,

# Vp – объем реактора (м3); vоб. – объемная скорость подачи сырья (м3/час); τ – время пребывания реагентов в реакционной зоне (час).

# В случае повышения производительности за счет повышения времени пребывания реагентов в реакторе (τ ) используют последовательное соединение реакторов; для повышения объемной скорости подачи сырья (vоб.) применяют параллельную схему соединения реакторов.

# Последовательное включение реакторов используют также при оптимизации условий проведения отдельных стадий технологического процесса; параллельное соединение удобно для оптимальной организации производства (попеременное включение реакторов).

# Обвод широко применяется для создания оптимального температурного и концентрационного режима.

# Рецикл находит применение при использовании избытка одного из реагентов или невозможности достижения высоких степеней превращения реагента; в этом случае непревращенный реагент выделяют и возвращают в реактор.

*Функциональная структура АСУ ТП*

# На химических предприятиях внедрены автоматизированные системы управления АСУ.

# В современных производствах задача управления технологическим процессом осуществляется автоматизированной системой управления технологическим процессом (АСУ ТП). АСУ ТП – это комплекс, объединяющий технологический процесс, технические средства сбора, обработки, преобразования информации, программного, алгоритмического и математического обеспечения и оперативного персонала. АСУ называют системы управления предприятием на различных уровнях, в которых передача переработка и хранение информации о состоянии объекта выполняется автоматически с помощью экономико-математических методов с использованием компьютеров. В АСУ объединены своей деятельностью люди и технические средства. В зависимости от уровня иерархии систем химической технологии различают следующие уровни управления:

# 1 Системы автоматического регулирования отдельными процессами химической технологии (САР). Они функционируют без участия человека и используются для управления отдельными аппаратами как средства автоматического регулирования.

# 2 Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП).

# 3 Автоматизированные системы оперативного управления химическим предприятием (АСУП). САР и АСУТП созданы для автоматического регулирования входных параметров и для достижения определенных характеристик процесса на выходе. АСУТП тесно связана с технологией и аппаратурным оформлением ХТП и включает датчики величин, преобразователи, аппаратуру передачи информации, устройство контроля регулирования и регистрации информации. АСУП выполняет функции совершенствования управления химическим производством и повышения его эффективности. АСУП предназначена для сбора, передачи и обработки производственно-экономической и социальной информации с целью подготовки и принятия управленческих решений по совершенствованию управления производства и повышению его эффективности. В целом, система автоматического управления позволяет выбрать критерии эффективности управления всеми звеньями химико-технологической системы, разработать алгоритмы управления ими, рассмотреть способы сбора передачи и переработки информации, проанализировать надежность управления и взаимодействия человека с техникой в системе управления.

# Функциональная структура АСУ ТП представляет собой многоуровневую иерархическую структуру

# http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/1_2_1r.gif

Нижний уровень представляет технологический процесс и технические средства получения информации (Д) и реализации управляющих воздействий (ИМ).

**“Защита”** – подсистема комплексных средств автоматической защиты и блокировок.

**“Стабилизация”** – подсистема выработки управляющих сигналов и средств автоматического регулирования технологических параметров.

**“Оптимизация”** – подсистема расчета оптимальных параметров технологического процесса в соответствии с принятыми критерием и целями функционирования технологического процесса.

**“Идентификация”** – подсистема расчета параметров математических моделей технологического процесса.

**“Координация”** – подсистема расчета технико-экономических показателей (ТЭП), ввода в систему директив и указаний руководства предприятия и передача информации в другие системы управления предприятием для общей координации управления предприятием.

АСУ ТП – это человеко-машинная система. Функции системы могут быть реализованы в двух режимах ее работы:

**автоматизированном**, в котором осуществляется автоматический сбор и обработка информации и выработка рекомендаций по управлению, а реализация управляющих воздействий осуществляется оператором;

**автоматическом**, в котором выработка и реализация управляющих воздействий осуществляется автоматически управляющими устройствами без участия оператора.

Структурная схема взаимодействия оператора и системы управления представлена на *рисунке 2*.

# http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/1_2_2r.gif

*Рисунок 2*

Здесь:

АСР – автоматическая система регулирования,

СОИ – система отображения информации,

ДУ – органы дистанционного управления.

В системе несколько контуров управления:

**I контур** – автоматизированное;

**II контур** – автоматическое;

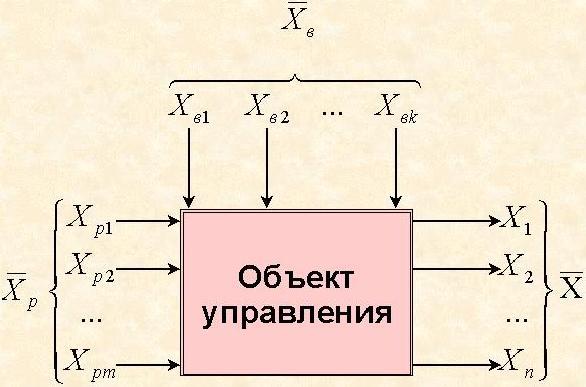
**III контур** – система, в которой задание изменяет оператор, а управляет технологическим процессом АСР.

Таким образом в системах управления происходит переработка информации о состоянии объекта управления, выработка управляющих воздействий и передача ее в виде сигналов от объекта в управляющую систему и от управляющей системы к объекту управления.

***Задача анализа и синтеза АСР***

Технологический процесс как объект управления характеризуется входными и выходными переменными.

На структурной схеме объекта управления (*рисунок 3*) выделяются соответствующие группы переменных.



*Рисунок 3*

http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/Image1.gif– вектор входных переменных, характеризует состояние процесса и называют управляемыми (регулируемыми) параметрами. Это такие параметры, как температура, давление, состав, концентрация, расход и т.п.

http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/Image2.gif– вектор входных переменных, называемых управляющими (регулирующими) воздействиями. К ним относятся параметры, с помощью которых можно изменять материальные и энергетические потоки, в основном расход, давление, температура и т.п.

http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/Image3.gif– вектор входных переменных, называемых возмущающими воздействиями, являющихся внешними воздействиями по отношению к объекту. Это параметры, связанные с изменением режимов работы процесса и внешней среды такие, как изменение расходов, температур, давлений, состава сырья и т.п.

Переменные процесса связаны между собой функциональными зависимостями, и рассматриваются их изменения во времени.

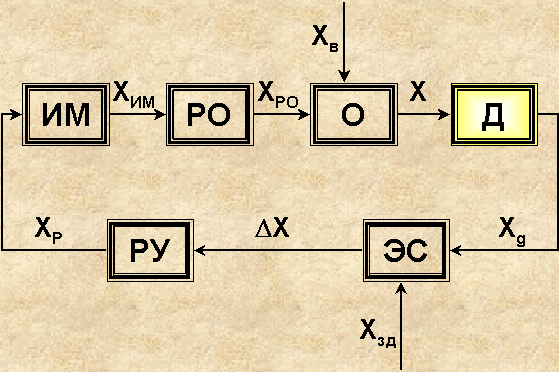
Соответственно, должна быть решена задача анализа системы, определено состояние объекта как функция регулирования, возмущающих параметров и времени

http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/Image4.gif

и задачи синтеза, расчета регулирующих воздействий в соответствии с заданным критерием

http://cisserver.muctr.edu.ru/alk/suhtp/lectures/lecture1/Image5.gif

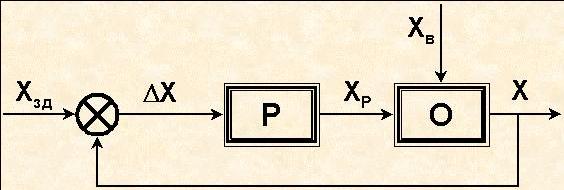
АСР представляет систему, состоящую из последовательно соединенных элементов, выполняющих определенные функции (*рисунок 4*).



*Рисунок 4*

Действительное значение регулируемого параметра (*X*) с помощью датчика “Д” преобразуется в сигнал (*Xg*) и поступает на элемент сравнения “ЭС”, на который поступает заданное значение (*Xзд*) регулируемого параметра. В “ЭС” вырабатывается сигнал рассогласования (*DX*), поступающий на регулирующее устройство “РУ”, в котором сигнал усиливается и формируется регулирующее воздействие (*Xр*) в соответствии с принятым законом регулирования. Регулирующее воздействие поступает на исполнительный механизм “ИМ”, который перемещает регулирующий орган “РО”, изменяя, соответственно, расход вещества или энергии так, чтобы привести регулируемый параметр к заданному значению.

При анализе АСР принято рассматривать упрощенные блок-схемы, в которых элементы “Д”, “ИМ”, “РО” относят к объекту регулирования (*рисунок 5*).



*Рисунок 5*

Здесь *X* – регулируемый параметр,

*Xз* – заданное значение регулируемого параметра,

*Xв* – возмущающее воздействие,

*Xр* – регулирующее воздействие.

Теоретической базой создания автоматических систем регулирования является **теория автоматического управления** (ТАУ), которая изучает общие принципы построения автоматических систем и методы их исследования, решает задачу анализа и задачу синтеза.

В задачу анализа входит исследование устойчивости и качества работы АСР, в задачу синтеза входит построение схем регулирования, выбор законов управления, расчет параметров отдельных элементов системы.

# Теория автоматического управления (ТАУ) появилась во второй половине 19 века сначала как теория регулирования. Широкое применение паровых машин вызвало потребность в регуляторах, то есть в специальных устройствах, поддерживающих устойчивый режим работы паровой машины.

# Управление каким-либо объектом (объект управления будем обозначать ОУ) есть воздействие на него в целях достижения требуемых состояний или процессов. В качестве ОУ может служить самолет, станок, электродвигатель и т.п. Управление объектом с помощью технических средств без участия человека называется автоматическим управлением. Совокупность ОУ и средств автоматического управления называется системой автоматического управления (САУ).

# Основной задачей автоматического управления является поддержание определенного закона изменения одной или нескольких физических величин, характеризующих процессы, протекающие в ОУ, без непосредственного участия человека. Эти величины называются управляемыми величинами. Если в качестве ОУ рассматривается хлебопекарная печь, то управляемой величиной будет температура, которая должна изменяться по заданной программе в соответствии с требованиями технологического процесса.