

# **Теоретические основы контроля и анализа функционирования систем автоматического управления**

**г. Соликамск**

# Введение

**Теория автоматического управления (ТАУ)** — научная дисциплина, изучающая процессы автоматического управления объектами разной физической природы. При этом при помощи математических средств выявляются свойства систем автоматического управления (САУ) и разрабатываются рекомендации по их проектированию.

**Система автоматического управления (САУ)** - комплекс устройств, предназначенных для автоматического изменения одного или нескольких параметров объекта управления с целью установления требуемого режима его работы.

**Система автоматического управления (САУ)** - Система локальной автоматике, функционирующая в автоматическом режиме, при котором функции управления или контроля осуществляются без участия производственного персонала

**Автоматика** — наука о технических системах, действующих без непосредственного участия человека и осуществляющих контроль, защиту, управление при эксплуатации технических средств и систем, реализации технологических процессов, проведении эмпирических научных исследований и мониторинга.

**Автоматика** — отрасль науки и техники, охватывающая теорию и практику автоматического управления, а также принципы построения автоматических систем и образующих их технических средств.

**Автоматика** — отрасль техники, объединяющая устройства, составляющие системы автоматики. Указанные устройства называют: **технические средства автоматики (ТСА)**.

**Техника** (τέχνη – мастерство, умение) – совокупность неживых объектов окружающего мира, созданных человеком. К указанным объектам относятся технические средства (устройства) – изделия различных отраслей промышленного производства (машиностроения, приборостроения, металлообработки, деревообработки, строительной индустрии и других) и строительные конструкции, а также системы взаимосвязанных устройств (технические системы). Технические средства (устройства): детали, сборочные единицы, приборы, оборудование, инструмент. Сооружения, машины – это технические системы.

**Автомат** – устройство, которое после включения самостоятельно выполняет заданные операции.

**Техническая система** – совокупность элементов (устройств и обслуживающего персонала), объединенных связями и вступающих в определенные отношения между собой и с окружающей средой для выполнения функций технической системы, при этом каждый элемент имеет свои конкретные функции.

Технические системы, действующие без непосредственного участия человека и осуществляющие контроль, защиту, управление при эксплуатации технических средств и систем, реализации технологических процессов, проведении эмпирических научных исследований и мониторинга, называют: **системы автоматике**. На практике часто под термином **«автоматика»** подразумевают системы автоматике.

Система автоматического управления (САУ) включает в себя объект управления и устройство управления.

**Управление** — процесс подаваемый на вход объекта управления, обеспечивающий такое протекание процессов в объекте управления, которое обеспечит достижение заданной цели управления на его выходе.

**Цель** — желаемое протекание процессов в объекте управления и получение нужного изменения параметра на его выходе.

**Объекты:**

управляемые

неуправляемые

**Устройство управления (УУ)** — совокупность устройств, с помощью которых осуществляется управление входами объекта управления.

**Регулирование** — частный случай управления, цель которого заключается в поддержании на заданном уровне одного или нескольких выходов объекта управления.

**Объект управления** — устройство, физический процесс либо совокупность процессов, которыми необходимо управлять для получения требуемого результата. Взаимодействие с ОУ происходит путём подачи на его условный вход управляющего воздействия (которое корректирует процессы протекающие в ОУ), при этом на выходе получается изменённый параметр (который является процессом-следствием).

**Регулятор** — преобразует ошибку регулирования  $\varepsilon(t)$  в управляющее воздействие, поступающее на объект управления.

**Задающее воздействие**  $g(t)$  — определяет требуемый закон регулирования выходной величины.

**Ошибка регулирования**  $\varepsilon(t) = g(t) - y(t)$ , разность между требуемым значением регулируемой величины и текущим её значением. Если  $\varepsilon(t)$  отлична от нуля, то этот сигнал поступает на вход регулятора, который формирует такое регулирующее воздействие, чтобы в итоге с течением времени  $\varepsilon(t) = 0$ .

**Возмущающее воздействие**  $f(t)$  — процесс на входе объекта управления, являющийся помехой управлению.

**Управляемыми величинами** (вектор размерности  $m$ ) называются физические величины, которые необходимо изменять по заданному закону или поддерживать неизменной в процессе управления.

**Управляющим воздействием** (вектор размерности  $r$ ) называют воздействие на ОУ, предназначенное для того, чтобы управлять технологическим процессом в объекте.

**Нагрузка** – основное возмущающее воздействие любого ОУ, влияющее на управляемые параметры и не зависящее от управляющих параметров.

**Помеха** – это возмущающее воздействие, искажающее информацию о нагрузке и параметрах состояния объекта, а также влияющее на все свойства ОУ.

## **Системы автоматического управления:**

### **Разомкнутые:**

- система программного управления. УУ выдает управляющее воздействие, не получая информации о состоянии системы на основании каких-либо признаков, временной программы (простота и повышенная надежность, невысокое качество управления);
- СУ по возмущению. УУ вырабатывает управляющее воздействие на основе информации по величине возмущающего воздействия на систему.

### **Замкнутые:**

- УУ вырабатывает управляющее воздействие на основе измеренной информации по состоянию объекта по выбранному параметру.
- Комбинированная система: УУ вырабатывает управляющее воздействие на основе информации о параметрах объекта и на основе информации возмущающего воздействия.

## **Функциональные схемы**

**Функциональная схема элемента** — схема системы

автоматического регулирования и управления, составленная по функции, которую выполняет данный элемент.

**Выходные сигналы** — параметры, характеризующие состояние объекта управления и существенные для процесса управления.

**Выходы системы** — точки системы, в которых выходные сигналы могут наблюдаться в виде определенных физических величин.

**Входы системы** — точки системы, в которых приложены внешние воздействия.

**Входные сигналы:**

**Помехи** — сигналы, не связанные с источниками информации о задачах и результатах управления.

**Полезные** — сигналы, связанные с источниками информации о задачах и результатах управления.

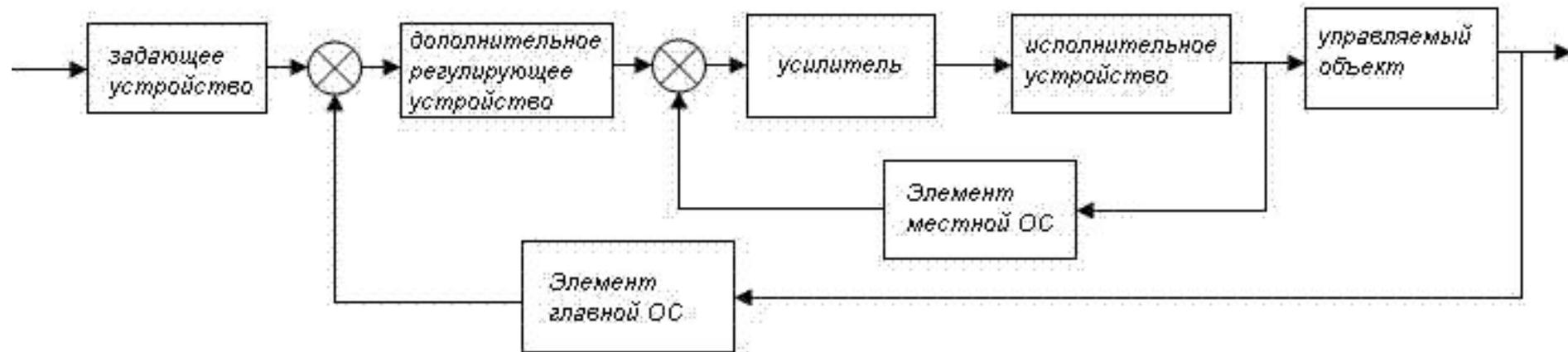
**Системы:**

**одномерные** — системы с одним входом и одним выходом.

**Многомерные** — системы с несколькими входами и выходами.

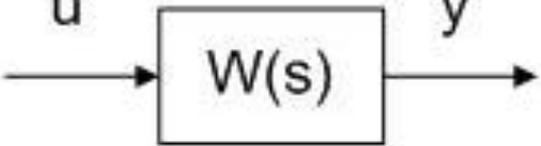
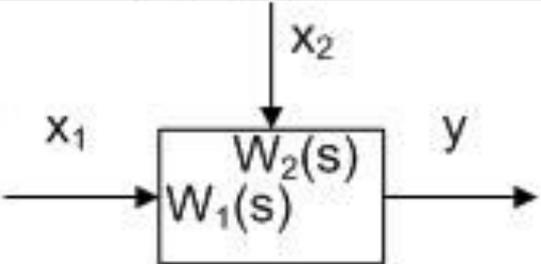
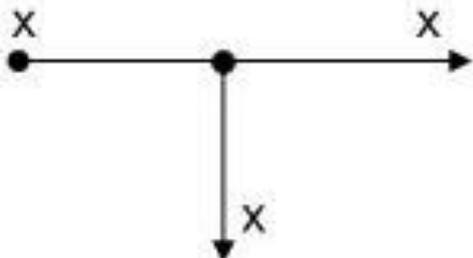
Структурные схемы систем автоматического управления  
**Структурная схема** ( *Структурная схема САУ, схема САУ* )- это изображение системы регулирования в виде совокупности динамических звеньев с указанием связей между ними.

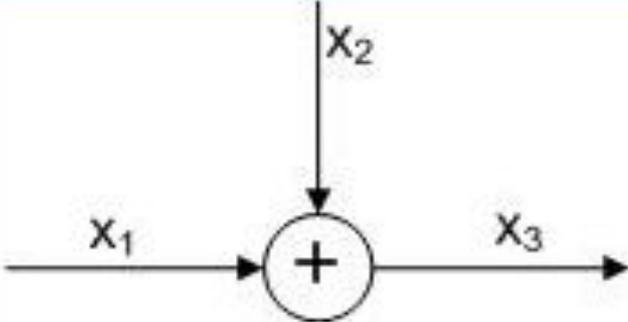
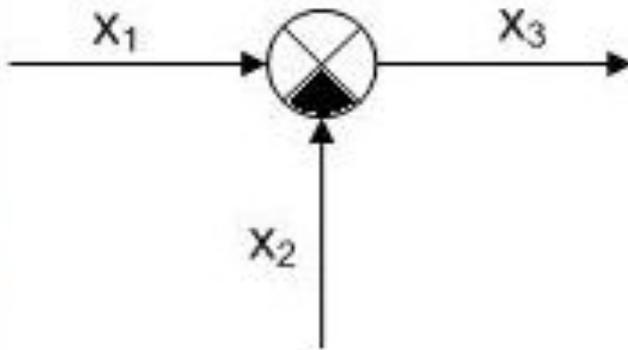
*Структурная схема САУ может быть составлена на основе известных уравнений системы, и, наоборот, уравнения системы могут быть получены из структурной схемы. Однако первая задача может иметь различные варианты решения, тогда как вторая задача имеет всегда единственное решение.*



# Элементы структурных схем

Базовые элементы для построения структурной схемы САУ.

Наименование	Обозначение на структурной схеме
Звено с одним входом	 $y = W(s)u(s)$
Звено с двумя входами	 $y = W_1(s)x_1(s) + W_2(s)x_2(s)$
Узел (разветвление)	

Наименование	Обозначение на структурной схеме
Сумматор	 $x_3 = x_1 + x_2$
Элемент сравнения(аналог сумматора)	 $x_3 = x_1 - x_2$

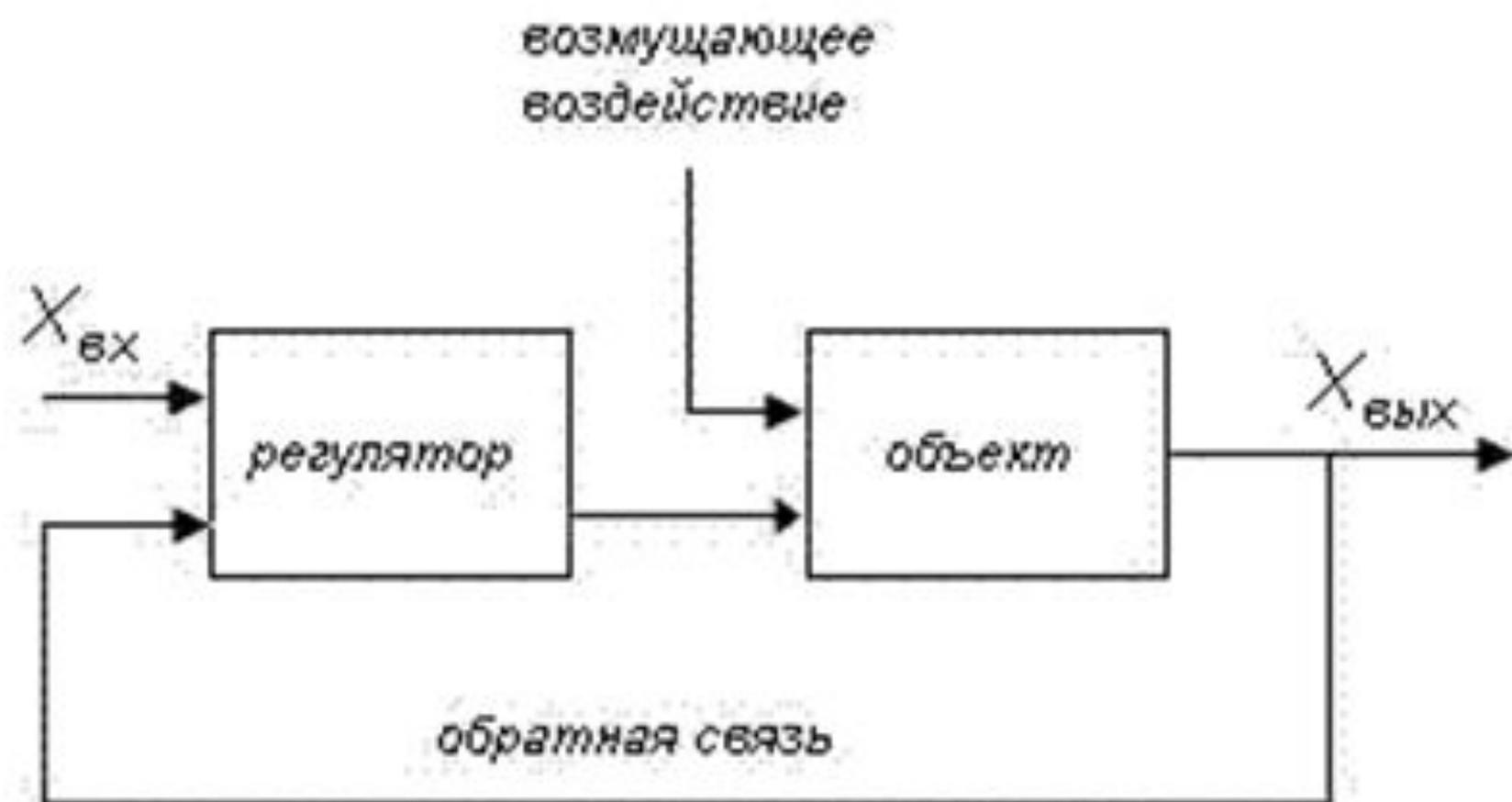
## **Принципы управления САУ**

**Обратная связь** — связь, при которой на вход регулятора подаётся действительное значение выходной переменной, а также заданное значение регулируемой переменной.

**жёсткая** — такая ОС, при которой на вход регулятора поступает сигнал, пропорциональный выходному сигналу объекта в любой момент времени.

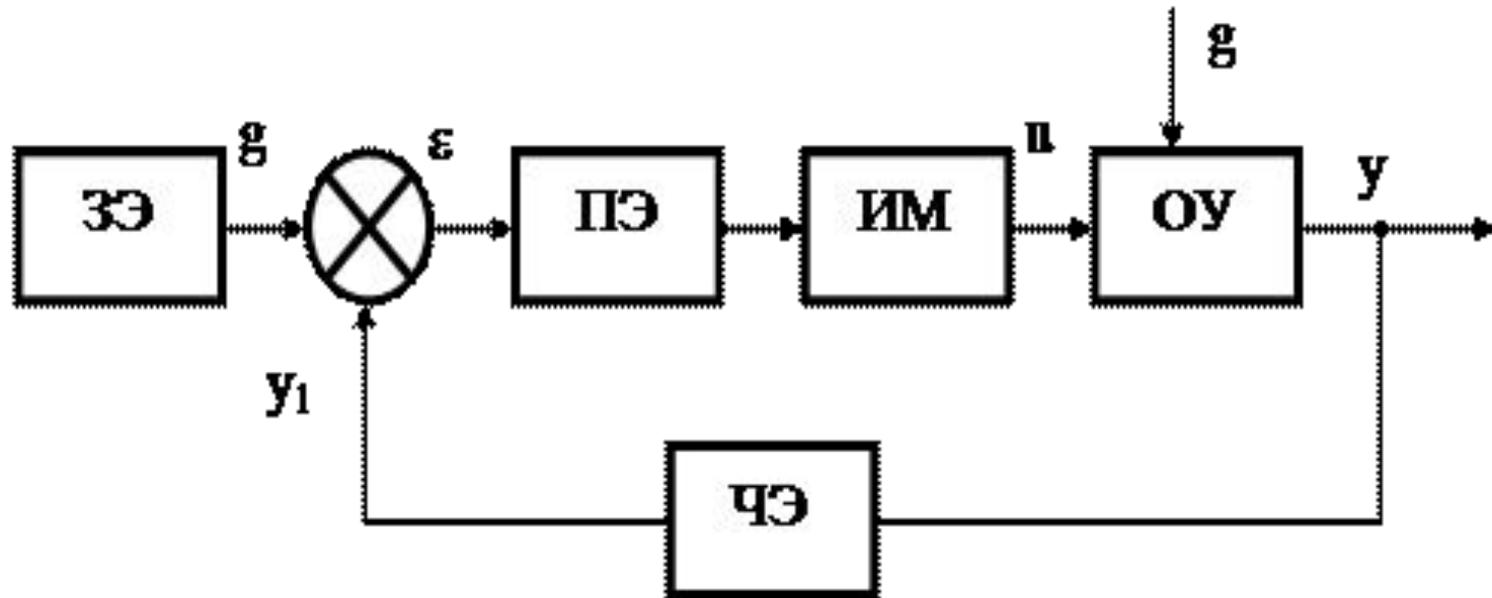
**гибкая** — такая ОС, при которой на вход регулятора поступает не только сигнал, пропорциональный выходному сигналу объекта, но и сигнал, пропорциональный производным выходной переменной.

**Управление по принципу отклонения управляемой переменной** — обратная связь образует замкнутый контур. На управляемый объект подаётся воздействие, пропорциональное сумме (разности) между выходной переменной и заданным значением, так, чтобы эта сумма (разность) уменьшалась.

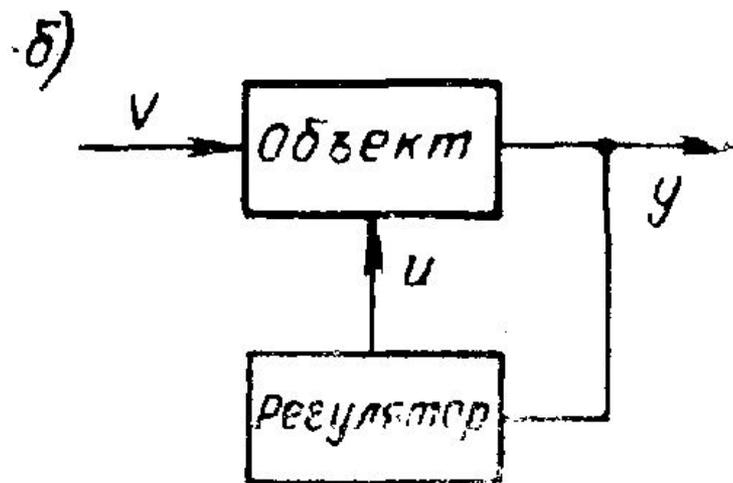
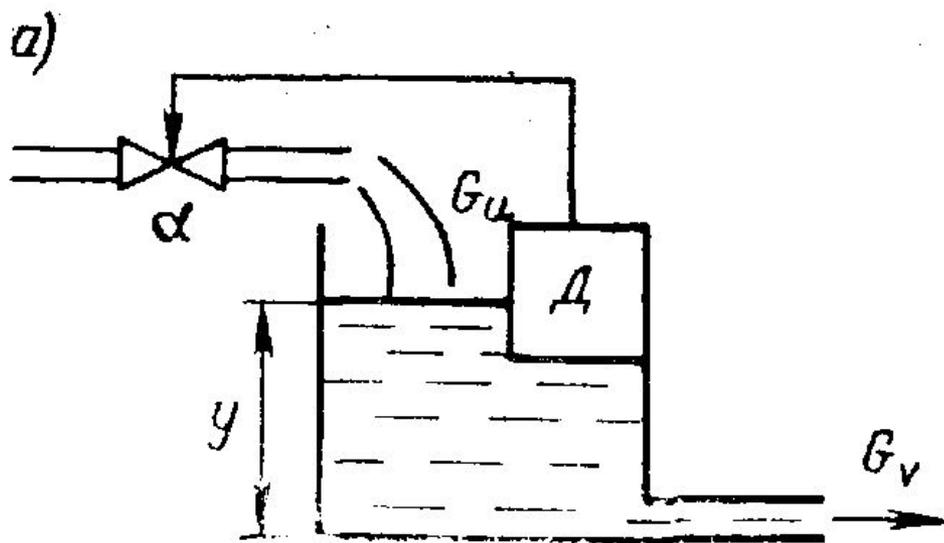


Принцип отклонения управляемой переменной в ТАУ

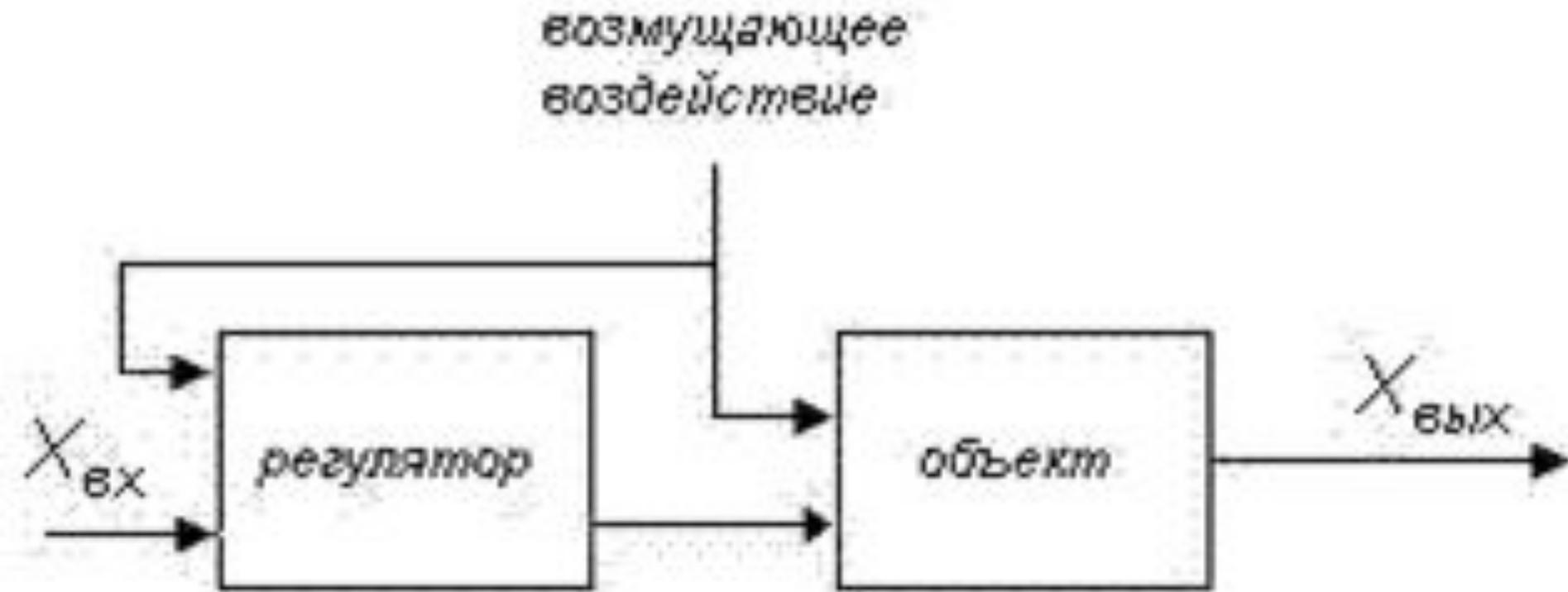
# Принцип управления по отклонению



# Регулирование по отклонению

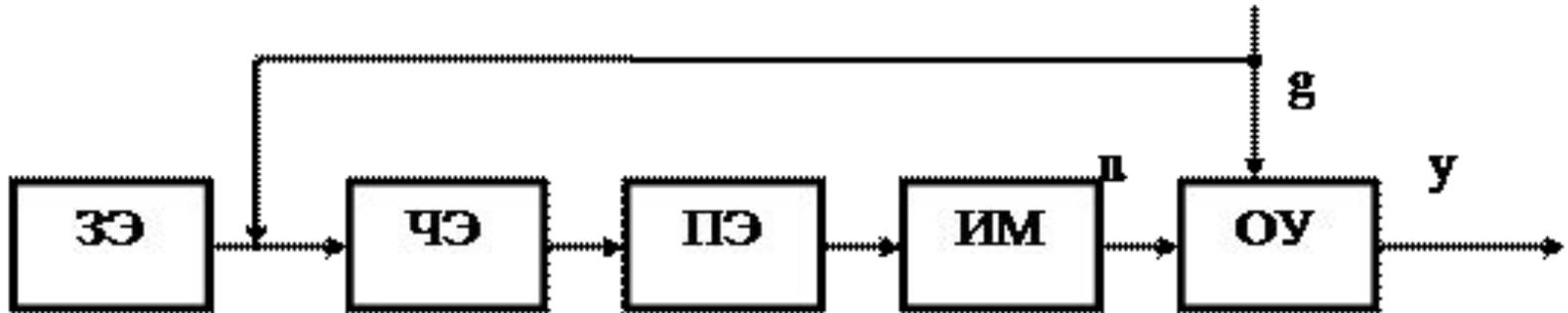


**Управление по принципу компенсации возмущений** — на вход регулятора попадает сигнал, пропорциональный возмущающему воздействию. Отсутствует зависимость между управляющим воздействием и результатом этого действия на объект.

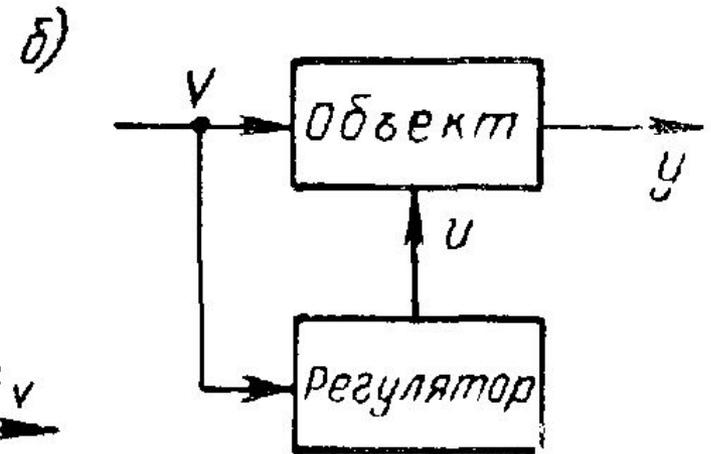
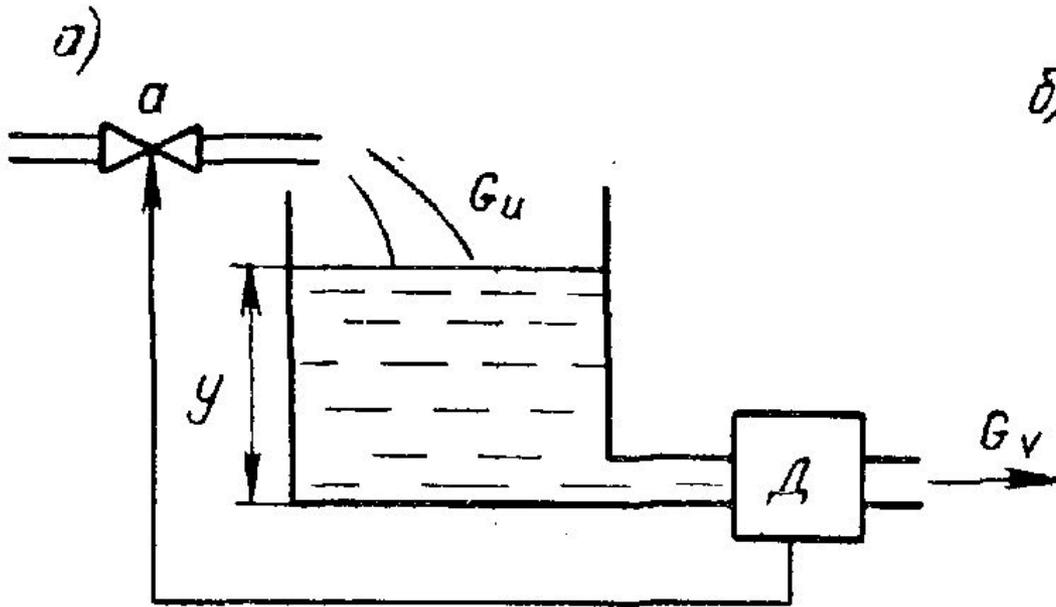


**Принцип компенсации возмущений в ТАУ**

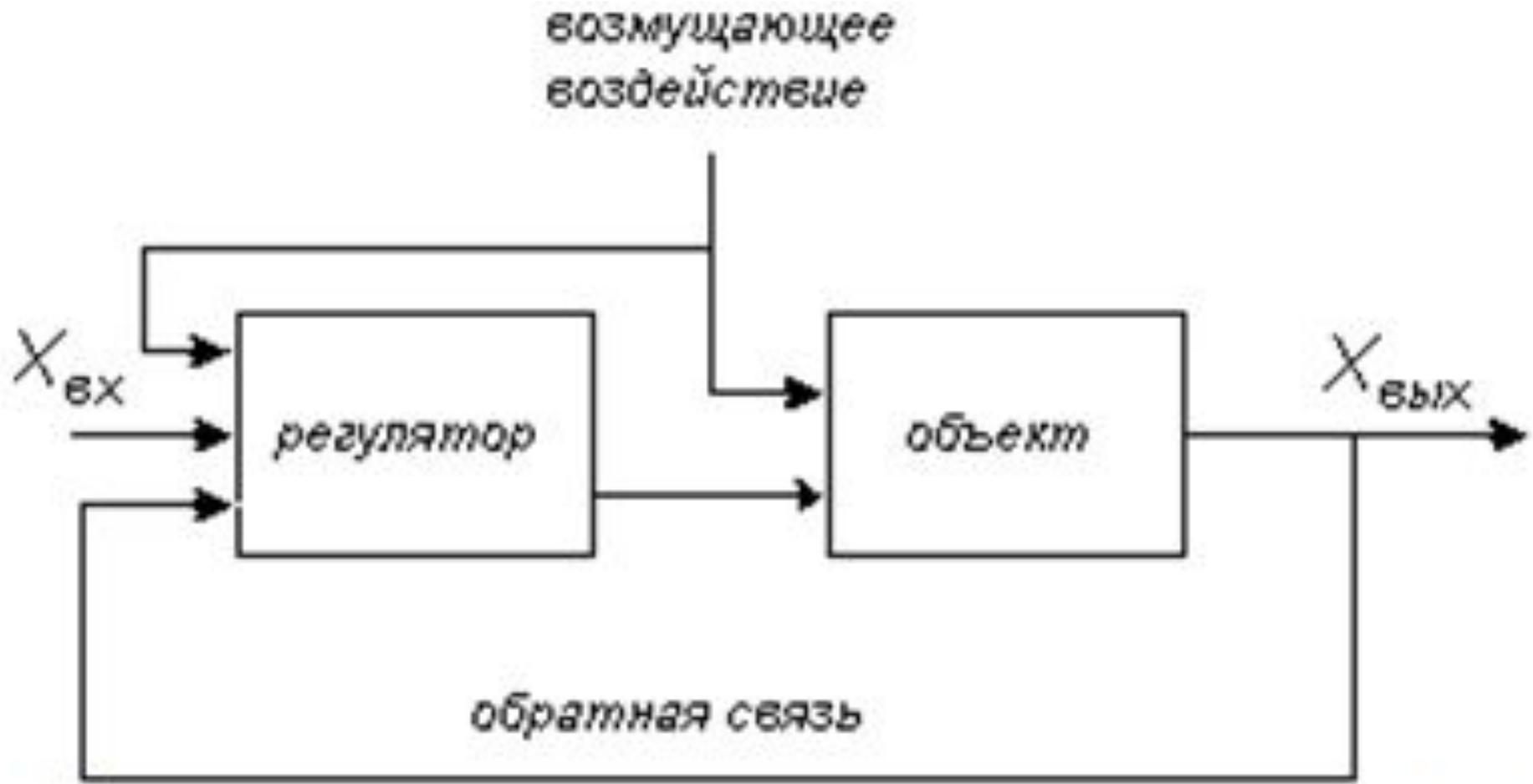
# Принцип управления по возмущению



# Регулирование по возмущению



**Управление по принципу комбинированного регулирования** — используется одновременно регулирование по возмущению и по отклонению, что обеспечивает наиболее высокую точность управления.



**Принцип комбинированного регулирования в ТАУ**

# **Классификация САУ:**

## **1. По характеру управления:**

- > системы управления
- > системы регулирования

## **2. По характеру действия:**

- > системы непрерывного действия
- > системы дискретного действия

## **3. По степени использования информации о состоянии объекта управления:**

- > управление с ОС
- > управление без ОС

## **4. По степени использования информации о параметрах и структуре объекта управления:**

- > адаптивный
- > неадаптивный
- > поисковый
- > беспойсковый
- > с идентификацией
- > с переменной структурой

## **5. По степени преобразования координат в САУ:**

- > детерминированный
- > стохастический (со случайными воздействиями)

## **6. По виду математической модели преобразования координат:**

- > линейные
- > нелинейные (релейные, логические и др.)

## **7. По виду управляющих воздействий:**

- > аналоговые
- > дискретные (прерывные, импульсные, цифровые)

## **8. По степени участия человека:**

- > ручные
- > автоматические
- > автоматизированные (человек в управлении)

## **9. По закону изменения выходной переменной:**

- > **стабилизирующая**: предписанное значение выходной переменной является неизменным.
- > **программная**: выходная переменная изменяется по определённой, заранее заданной программе.
- > **следящая**: предписанное значение выходной переменной зависит от значения неизвестной заранее переменной на входе автоматической системы.

## **10. По количеству управляемых и регулируемых переменных:**

- > одномерные
- > многомерные

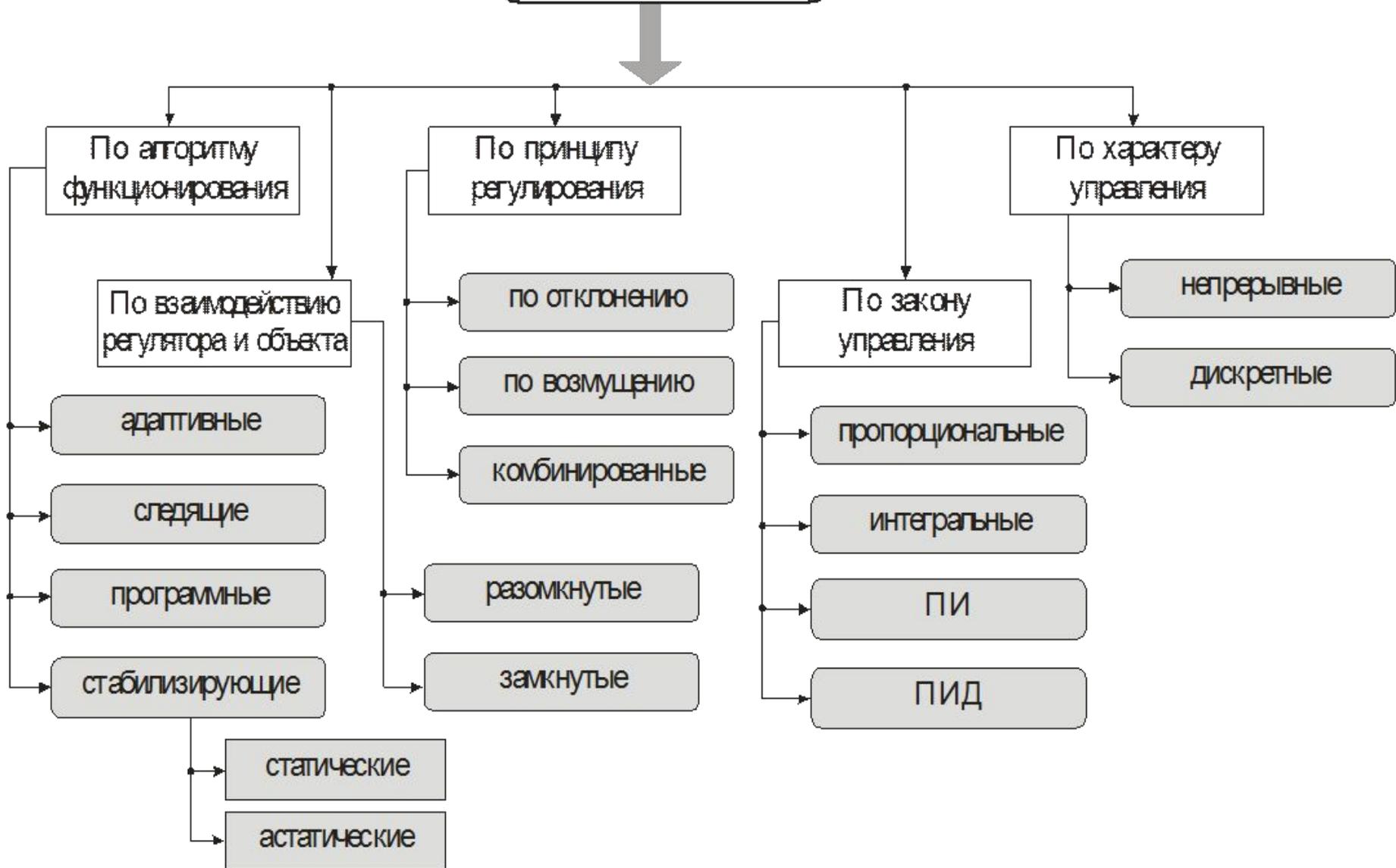
## **11. По степени самонастройки, адаптации, оптимизации и интеллектуальности:**

- > экстремальные
- > самонастраивающиеся
- > интеллектуальные

## **12. По воздействию чувствительного (измерительного) элемента на регулирующий орган:**

- > системы прямого управления
- > системы косвенного управления

# Автоматические системы управления



## *Адаптивные системы*

**Адаптивные системы** – могут изменять свои параметры и структуру.

Адаптивные системы с изменением значений параметров называют **самоадаптирующимися**, а с изменением структуры управления – **самоорганизующимися**

## *Следящая система*

**Следящая система предназначена для изменения управляемой величины в зависимости от значения (или в соответствии со значением) неизвестной заранее переменной величины на входе автоматической системы.**

**К следящим системам относятся автоматические системы вождения тракторов и самоходных машин по следу маркера; системы согласования вращения валов.**

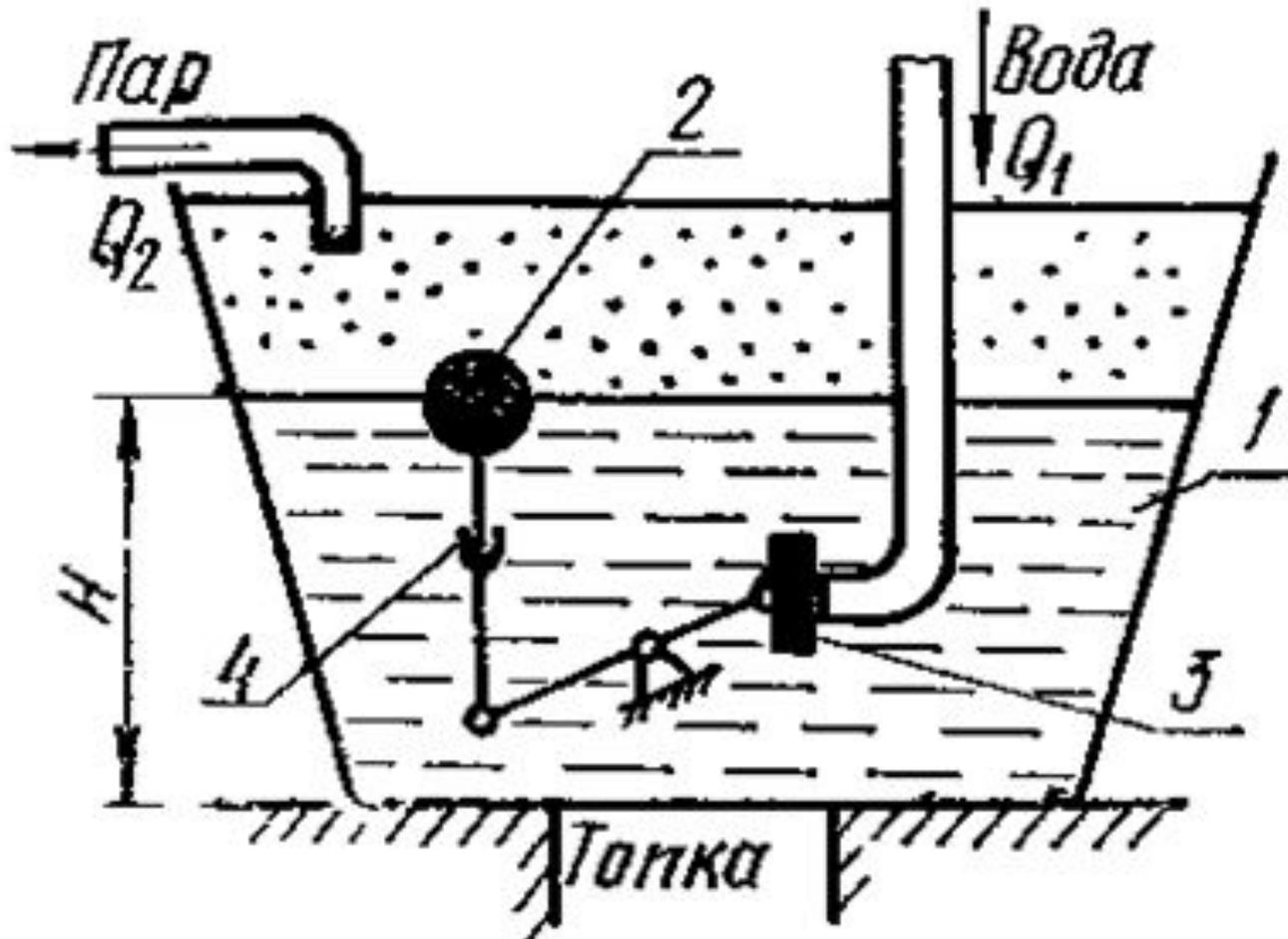
## Программные системы

- Программные системы предназначены для изменения регулируемой величины  $g$  по известному закону в функции времени  $t$  или какой-либо другой величины  $z$ :
  - временная программа;
  - параметрическая программа.

Параметрические программы могут зависеть не только от одной, но и от нескольких величин  $-Z_1, Z_2, Z_3$  (пространственное программирование).

Примеры программных систем: регулирования температуры в сушильном шкафу, система программного управления скреперными установками

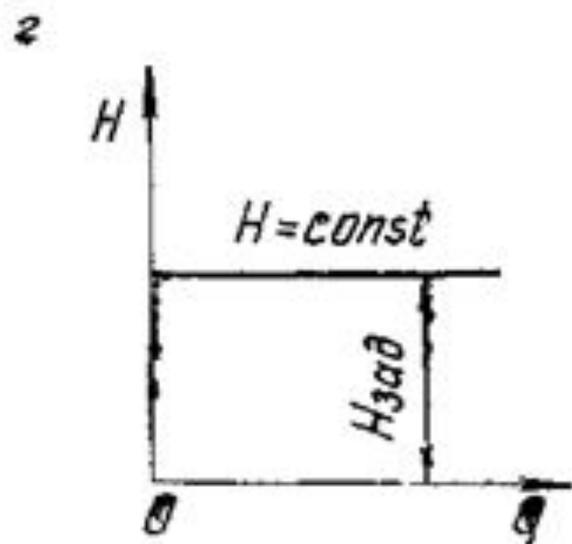
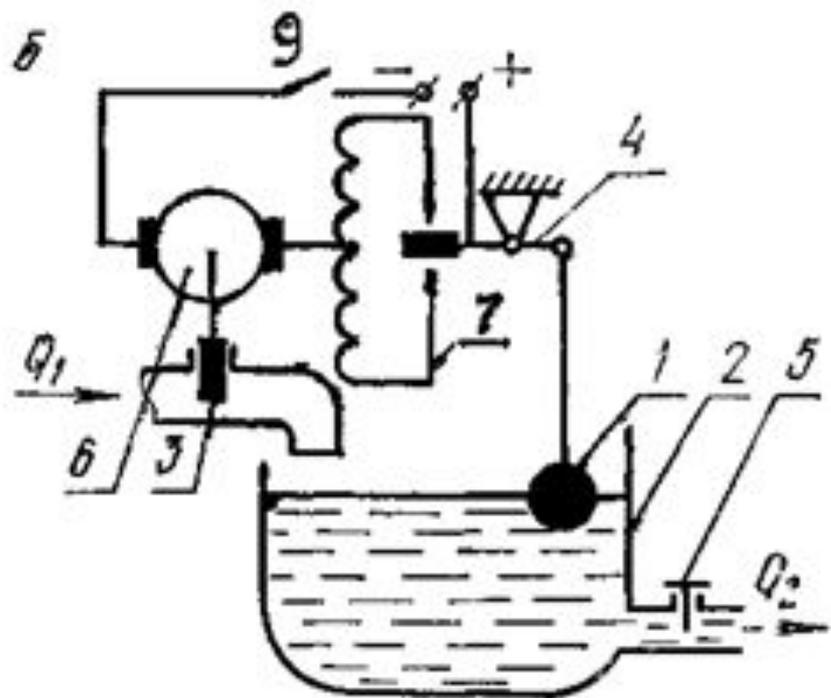
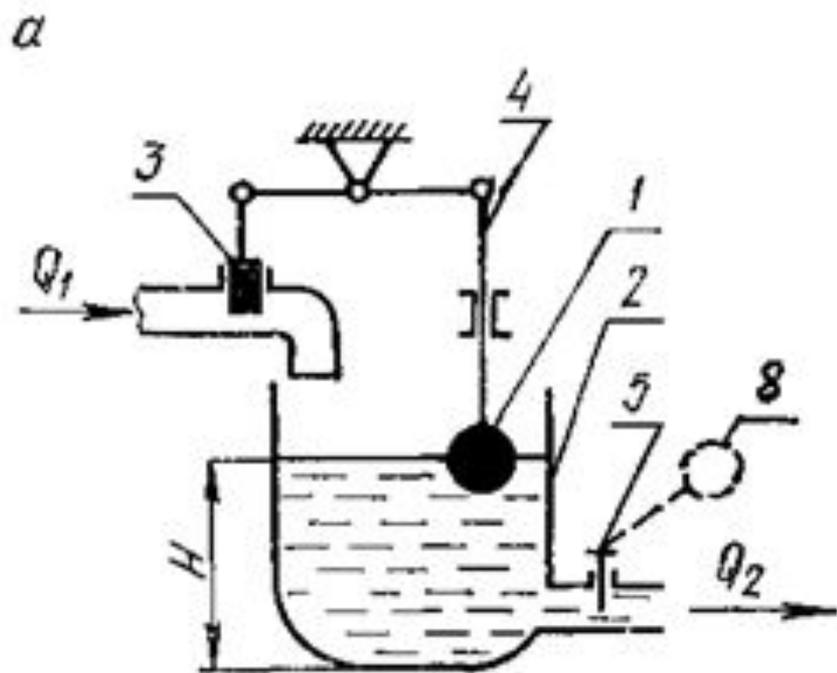
*Стабилизирующая автоматическая система  
регуляции*



**Предел, к которому стремится ошибка с течением времени, называется установившейся ошибкой системы**

$$\Delta X_{\text{ст}} = \Delta X_{\text{уст}} = \lim_{t \rightarrow \infty} x(t)$$

***Если все внешние воздействия (задающие и возмущающие) с течением времени стремятся к постоянным значениям, установившаяся ошибка называется статической.***



**Система называется *астатической* по отношению к данному внешнему воздействию, если составляющая статической ошибки, обусловленная им, равна нулю.**

# Законы регулирования

**Законом регулирования** называется зависимость между управляющим воздействием и отклонением действительного значения регулируемого параметра от заданного значения без учета инерционности элементов. По закону управления САУ подразделяются на:

- пропорциональные;
- интегральные;
- пропорционально — интегральные;
- пропорционально — интегральные — дифференциальные.

## Пропорциональный закон

Пропорциональный закон (П) регулирования характеризуется пропорциональной зависимостью между выходной и входной координатой

$$U = kx$$

## Интегральный закон

Интегральный закон (И) регулирования устанавливает пропорциональную зависимость между скоростью изменения регулирующего воздействия и ошибкой. При этом регулирующее воздействие получается пропорциональным интегралу от ошибки по времени

$$U = k \int_0^t x dt$$

## Пропорционально — интегральный

### Пропорционально — интегральный (ПИ)

закон объединяет два закона регулирования: пропорциональный и интегральный, а выходная и входная величины связаны соотношением:

$$U = k_1 \int_0^t x dt + k_2 x$$

## Пропорционально — интегральный

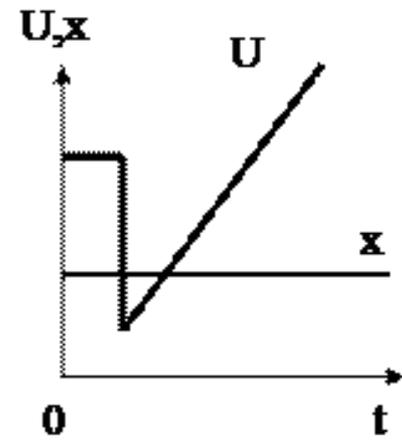
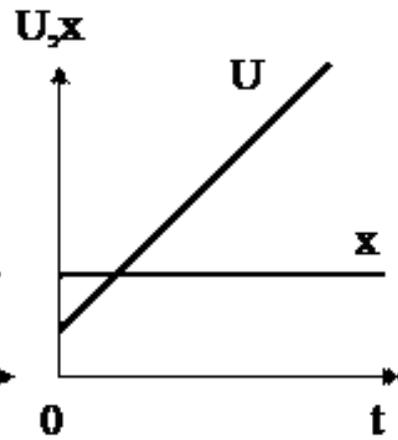
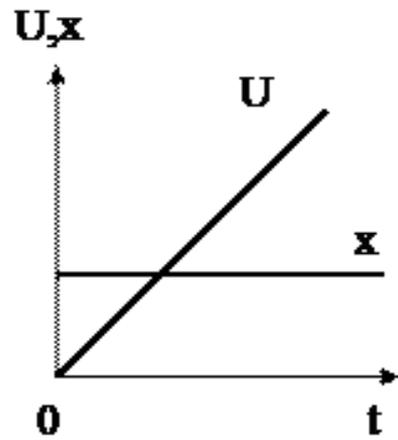
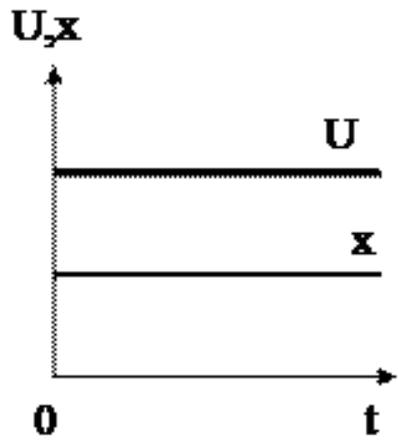
Регулирование по **пропорционально — интегральному закону** называется **изодромным** регулированием и сочетает в себе высокую точность от интегрального регулирования и большое быстродействие от пропорционального закона.

Пропорционально — интегрально —  
дифференциальный

Пропорционально — интегрально —  
дифференциальный (ПИД) закон  
объединяет три закона регулирования и  
математически выражается

$$U = k_1 x + k_2 \int_0^t x dt + k_3 \frac{dx}{dt}$$

# Законы регулирования САУ



# ***Непрерывные системы***

***Непрерывные системы*** – это системы, у которых в каждом звене непрерывному изменению входной величины соответствует непрерывное изменение выходной величины.

В качестве непрерывных систем можно привести : САР уровня воды в котле паровой машины, система стабилизации напряжения генератора постоянного тока, САР регулирования температуры в сушильном шкафу, САР температуры электрообогреваемых ковриков для обогрева поросят и др.

# Дискретные системы

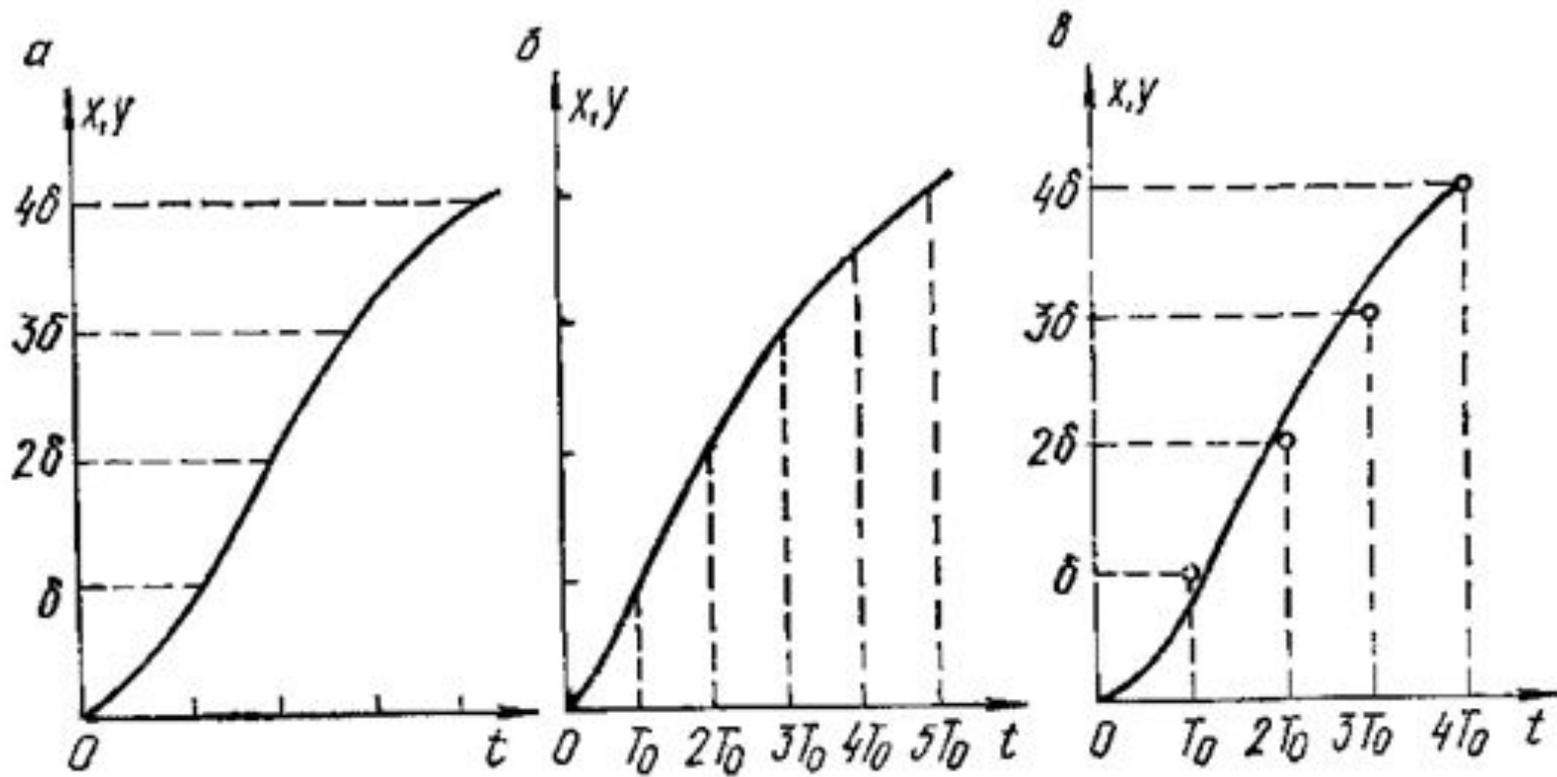
**Дискретные системы** – это системы, у которых хотя бы в одном звене при непрерывном изменении входной величины, выходная изменяется не непрерывно (импульсами, ступенями и т. п.). К ним относятся импульсные, релейные и цифровые системы.

# Квантование

## Три вида квантования:

1. Квантование по **уровню** соответствует фиксации дискретных уровней сигнала в момент пересечения кривой непрерывного сигнала линий равноотстоящих уровней, т. е. осуществляется в произвольные моменты времени.
2. Квантование по **времени** соответствует фиксации дискретных моментов времени, в которые уровни сигнала могут принимать произвольные значения.
3. При квантовании по **времени и уровню** непрерывный сигнал заменяется дискретными значениями через равные промежутки времени, но при этом выделяется ближайший уровень непрерывного сигнала, В зависимости от характера квантования входных сигналов все дискретные элементы разделяются на импульсные, релейные, релейно-импульсные или цифровые.

# Квантование



## **Интеллектуальные САУ**

**ИСАУ** — это системы, которые позволяют проводить обучение, адаптацию или настройку за счет запоминания и анализа информации о поведении объекта, его СУ и внешних воздействий. Особенностью данных систем является наличие базы данных машины логического вывода, подсистемы объяснений и др.

**База знаний** — формализованные правила в виде логических формул, таблиц и т.п. ИСУ используется для управления плохо формализованными или сложными техническими объектами.

*Класс ИСУ соответствует признакам:*

- .Наличие взаимодействий СУ с реальным внешним миром с использованием информационных каналов связи.
- .Открытость системы — нужна для пополнения и приобретения знаний.
- .Наличие механизмов прогноза изменений среды функционирования системы.
- .Неточность информации об ОУ может быть компенсирована за счет повышения интеллектуализации алгоритма управления.
- .Сохранение функционирования при разрыве связи.