

# Автоматическое регулирование технологических процессов

- 
- Параметры для регулирования ТП
  - Замкнутые системы автоматического регулирования
  - Классификация систем автоматического регулирования
  - САР по отклонению и возмущению
  - САР по алгоритмам функционирования (по назначению)



# Параметры для регулирования технологических процессов

Для того чтобы технологическое оборудование работало в требуемом режиме, т.е. с высоким коэффициентом полезного действия, с заданной производительностью, давало продукцию высокого качества и работало надежно, **необходимо поддерживать величины, характеризующие процесс, постоянными или изменяющимися во времени по закону, который либо известен заранее, либо автоматически определяется во время регулирования.**

Параметр технологического процесса, значение которого поддерживается автоматическим регулятором постоянным или закономерно изменяющимся, называют **регулируемой величиной**.

При разработке принципиальной схемы автоматизации особенно важен правильный выбор технологических параметров, подлежащих автоматическому регулированию. Наиболее правильно было бы при этом исходить из математического описания технологического процесса, т.е. из уравнений связи между его входными и выходными величинами. Однако получить соответствующие уравнения обычно трудно вследствие недостаточной изученности многих технологических процессов, зависимости хода процесса от большого числа взаимосвязанных переменных величин, разнообразия режимов работы технологических агрегатов и т.д. Поэтому при разработке принципиальных схем автоматизации чаще всего исходят из известных логических зависимостей между параметрами, влияющими на процесс, и параметрами, характеризующими ход процесса. Эти зависимости найдены в результате длительной производственной практики.



**В качестве регулируемых величин следует выбирать параметры, непосредственно влияющие на качество готовой продукции, на весь ход технологического процесса. Это, прежде всего величины, от которых в наибольшей степени зависят производительность и экономичность работы агрегата, химические и физические свойства продукта на выходе из него. При выборе регулируемых параметров необходимо учитывать главным образом экономичный эффект от внедрения автоматике.**

**В некоторых случаях установка сложных систем автоматического регулирования второстепенных технологических параметров, в незначительной степени влияющих на технологический процесс, оказывается экономически неоправданной. Так, например, автоматическое регулирование температуры воздуха, поступающего в медеплавильный конвертер, не имеет смысла, так как процесс конвертирования медного штейна, протекающий при температуре 1200-1250С, в очень малой степени зависит от температуры воздуха.**

**Регулирующее воздействие системы должно обеспечить наиболее полное и быстрое изменение регулируемого параметра в требуемом направлении. Вместе с тем регулирующее воздействие одной системы по возможности не должно мешать работе соседних систем.**



В целом назначение системы автоматического регулирования любого технологического процесса состоит в достижении максимальной производительности оборудования при сохранении качества готовой продукции на заданном уровне. Иногда основным назначением системы автоматизации является высвобождение обслуживающего данный процесс персонала. В любом случае желательно получить возможный наивысший коэффициент полезного действия.

Технологическую величину, которую непосредственно изменяет регулятор в ходе процесса регулирования для того, чтобы воздействовать на регулируемую величину, называют *регулирующей величиной.*

Изменение заданного значения регулируемой величины называют *управляющим (задающим) воздействием.* Управляющее воздействие может осуществляться вручную или автоматически (другим регулятором). Изменение нерегулируемых величин, влияющих на регулируемую величину, называют *возмущающими воздействиями.* Управляющее воздействие, подводимое к данному регулятору от другого регулятора называют *корректирующим воздействием.*



# Способы регулирования

- **Прямой.** Регулируется непосредственно регулируемый параметр. Чувствительный элемент воздействует непосредственно на рабочий орган, осуществляющий воздействие на объект. Примером таких систем является механическая копировальная система. Сила воздействия на рабочий орган, как правило, ограничена, воздействие объекта управления на чувствительный элемент снижает его чувствительность.
- **Косвенный.** Регулируют параметр, функционально связанный с регулируемым параметром. Для перемещения рабочего органа используется дополнительный источник энергии, обычно электроэнергия, энергия жидкости под давлением или энергия сжатого газа. Чувствительный элемент вырабатывает сигнал, который усиливается и преобразуется в системе регулирования и управляет мощным исполнительным устройством, воздействующим на рабочий орган. Эти системы применяются в случаях, когда требуется высокая точность позиционирования рабочего органа в сочетании с большой мощностью, необходимой для воздействия на него.

Возмущающее (возмущение) и управляющие воздействия являются причинами возникновения в системе переходного процесса. **Переходным процессом** называют процесс изменения некоторой величины, перехода ее из одного установившегося состояния в другое. Разность между текущим значением регулируемой величины (регулируемого параметра) и значением ее в установившемся состоянии



# Замкнутые системы автоматического регулирования

Промышленную установку, в которой автоматически регулируется технологический процесс, называют **объектом регулирования**.

Устройство, с помощью которого оператор или автоматический регулятор изменяет регулирующую величину, называют **регулирующим органом**.

Специальное усилительное устройство, управляемое автоматическим регулятором или дистанционно оператором и предназначенное для перемещения регулирующего органа, называют **исполнительным механизмом**.

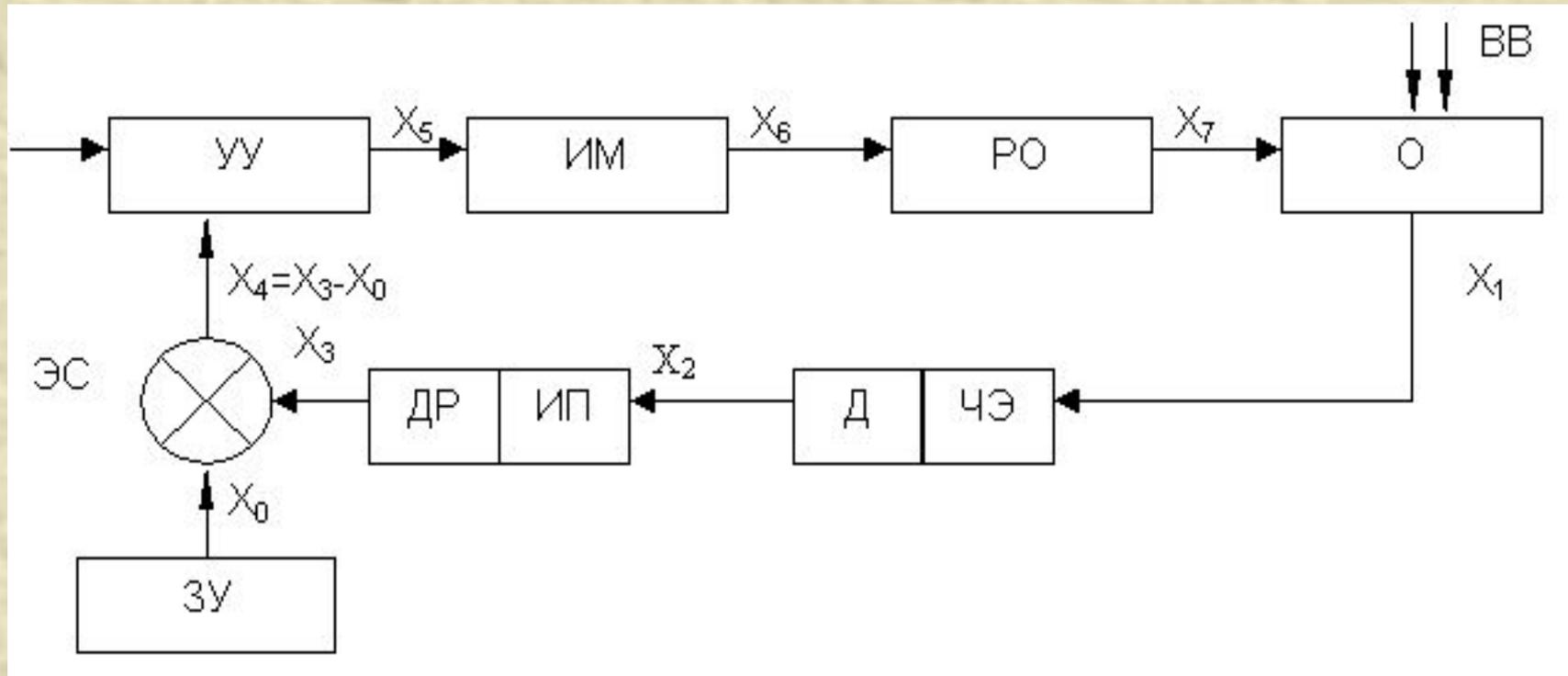
Замкнутую систему автоматического регулирования образуют автоматический регулятор вместе с регулируемым объектом. Замкнутую динамическую систему, состоящую из объекта регулирования и установленного на нем автоматического регулятора (с чувствительным элементом, исполнительным механизмом и регулирующим органом), называют **системой автоматического регулирования**.



[Структурная схема автоматического регулятора](#)



## Структурная схема автоматического регулятора



Автоматический регулятор включает в себя чувствительный элемент ЧЭ, реагирующий на изменение регулируемого параметра  $x_1$ . Датчик Д преобразует регулируемый параметр в другую физическую величину  $x_2$ , удобную для передачи на расстояние, усиления и измерения в измерительном приборе ИП.



Далее сигнал  $x_3$  из датчика регулятора ДР поступает в элемент сравнения ЭС. Элемент сравнения предназначен для сравнения сигналов, поступающих от датчика Д и задающего элемента ЗУ, который устанавливает заданное значение регулируемой величины. Из задающего устройства ЗУ посылается сигнал  $x_0$ , соответствующий нормальному ходу технологического процесса.

В элементе сравнения вырабатывается сигнал разбаланса  $x_4 = x_3 - x_0$ . Усилительное устройство УУ за счет источника энергии усиливает сигнал  $x_4$  до значения  $x_5$ , необходимого для работы исполнительного механизма ИМ. Исполнительный механизм воздействием  $x_6$  перемещает регулирующий орган РО и изменяет подачу энергии или вещества  $x_7$  в объект О так, чтобы уменьшить величину отклонения параметра от заданного. Все физические величины  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  и  $x_7$  участвующие в том процессе, влияют друг на друга в направлении передачи воздействия в контуре регулирования.

Все воздействия звеньев друг на друга, выражаемые величинами  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$  и  $x_7$ , являются внутренними. Но кроме внутренних воздействий имеются и внешние возмущающие воздействия на систему ВВ (загрузка, выгрузка изделий, изменение подачи топлива).



**К внешним возмущающим воздействиям** относятся возмущения, возникающие при установке нового задания регулятора (вносимые в регулятор), нарушения технологического процесса в связи с загрузкой и выгрузкой изделий и т.д.

Система автоматического регулирования должна ликвидировать влияние возмущающих воздействий и поддерживать значение регулируемого параметра равным заданному  $x_0$ .

По продолжительности действия возмущений различают **длительные возмущения**, продолжительность которых значительно превышает время регулирования, и **кратковременные пиковые возмущения**.

Задачей автоматического регулятора является восстановление заданного равновесия путем соответствующего изменения прихода или расхода вещества или энергии. При этом необходимо, чтобы в переходный период регулятор не допустил отклонения параметра от заданного значения выше допустимых пределов и обеспечил устойчивое регулирование.



**Устойчивость** – способность системы к уменьшению величины возникающих в ней отклонений регулируемого параметра при любых возмущающих воздействиях.

**Устойчивые системы** – это системы, которые, будучи выведены из состояния равновесия возмущающим воздействием, стремятся после снятия последнего к заданному значению. **Неустойчивые системы** – это системы, которые в тех же условиях обнаруживают тенденцию к дальнейшему удалению от исходного состояния. Системы, находящиеся на границе устойчивости, после снятия возмущающего воздействия не возвращаются в исходное состояние, но и не стремятся от него удалиться.

Естественно, что только устойчивые системы пригодны для регулирования, иначе (в случае неустойчивых систем) малейшее возмущающее воздействие приведет к увеличению отклонения параметра от заданного значения.



# Классификация систем автоматического регулирования



## Классификация по характеру изменения величин

*Системы непрерывного действия.* Выходная величина изменяется плавно при плавном изменении входной величины.

Процессы в реальном техническом объекте протекают непрерывно по времени. Датчики вырабатывают сигнал непрерывно. Недостатком непрерывных систем является их высокая стоимость по сравнению с дискретными системами.



## Классификация по характеру изменения величин Системы дискретного действия. Выходная

величина изменяется дискретно, т. е.

скачкообразно, даже при плавном изменении  
входной величины.

Дискретные АСР делятся на:

- *Импульсные системы регулирования* вырабатывают регулирующее воздействие в виде последовательных импульсов, амплитуда, длительность или частота повторения которых зависят от значения регулируемой величины в отдельные моменты времени.

*Основным импульсом является отклонение регулируемой величины от заданного значения, а вспомогательными импульсами служат возмущающие воздействия.*



## Классификация по характеру изменения величин

- *Релейные системы регулирования* имеют в качестве одного из основных звеньев реле, непрерывное изменение регулируемой величины вызывает прерывистое (релейное) действие регулирующего воздействия. При достижении регулируемой величиной порогового значения его выходная величина скачкообразно возрастает.

### *Позиционные регуляторы*

В зависимости от числа возможных положений регулирующего органа бывают *двух-* и *трехпозиционными*. Двухпозиционные системы имеют два возможных положения регулирующего органа «Открыто—Закрыто» или «Включено—Выключено». В трехпозиционных системах к этим положениям прибавляется еще и третье, обычно промежуточное положение — «Вперед», «Назад» и «Стоп». В зависимости от выбранного типа регулирующего органа эти положения могут носить самый разнообразный характер (например, «Вправо», «Влево», «Середина»).



## Классификация по математическим признакам

- *Линейные системы.* Все элементы описываются линейными алгебраическими и дифференциальными уравнениями.
- *Нелинейные системы.* Хотя бы один элемент системы имеет нелинейную зависимость выходной переменной от входной.
- *Существенно нелинейные.*

В зависимости от коэффициентов уравнений и вида уравнений как линейные, так и нелинейные системы подразделяются на:

- системы, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами;
- системы, описываемые обыкновенными дифференциальными уравнениями с переменными коэффициентами;
- системы, описываемые уравнениями в частных производных;
- системы с запаздыванием, описываемые уравнениями с запаздывающим аргументом.



# Классификация по способу настройки

- *Неадаптивные системы.*
- *Адаптивные системы.*

Адаптивные системы способны при выработке управляющего воздействия дополнительно учитывать условия функционирования объекта. Это системы, в которых автоматически изменяются значения задающего сигнала, собственные параметры или структура при непредвиденных изменениях внешних условий на основании анализа состояния или поведения системы так, чтобы сохранялось заданное качество ее работы.

- **Самонастраивающиеся системы.** Автоматически приспосабливаются к изменению окружающих условий, способны подбирать оптимальные значения своих параметров в процессе работы.
- **Оптимальные системы, самоорганизующиеся системы.** С изменением структуры, способны в процессе работы менять как свои параметры, так и алгоритм работы.
- **Экстремальные системы.** Системы с изменением заданного значения регулируемой величины. Регулятор автоматически поддерживает минимум или максимум регулируемого параметра при произвольном изменении условий протекания процесса.



## Классификация по типу ошибки в статике

- *Статические САР.* Управляемая переменная в установившемся режиме зависит от величины возмущающих воздействий (управляющего воздействия или входных переменных). В статической системе принципиально не возможно поддерживать одно и то же значение регулируемого параметра при неизменном задающем воздействии. **Остаточную ошибку называют статизмом.**
- *Астатические САР.* Управляемая переменная в установившемся режиме принимает всегда одно и то же значение и не зависит от значения возмущающего воздействия на объект регулирования. В астатической системе статизм всегда равен нулю.



# Классификация в зависимости от числа управляемых переменных

- *Одномерные*. САР с одним входом и одним выходом.
- *Многомерные*. Системы с несколькими выходами и (или) несколькими входами.
  - **Системы несвязанного управления (регулирования)** – устройства управления, предназначенные для управления различными переменными, не связаны друг с другом и могут взаимодействовать только через общий объект управления.
  - **Системы связанного управления** – устройства управления связаны между собой и для нормальной работы системы требуется их вполне определенное взаимодействие.



# Системы автоматической стабилизации

**Регулятор поддерживает регулируемую величину с определенной степенью точности постоянной независимо от изменения нагрузки, т.е. внешних факторов, вызывающих изменение регулируемой величины.** Стабилизация технологических параметров производственных процессов значительно улучшает режим работы агрегатов, позволяет повысить их производительность, улучшить качество готовой продукции, облегчить труд обслуживающего персонала. Но есть и недостатки у подобных систем. Поддержание регулируемого параметра с помощью применения схемы автоматической стабилизации далеко не всегда может обеспечить наилучшие (оптимальные) условия протекания процесса, т.к. во многих случаях регулируемый параметр тесно связан с другими технологическими параметрами и зависит от них.

Если регулируемый параметр должен изменяться в зависимости от каких-либо факторов, то можно автоматически или вручную менять задание регулятору стабилизации, ориентируясь по этим факторам. Например, **температура воды, поступающей в отопительные системы, должна зависеть от температуры наружного воздуха.** Применение в этом случае обычной схемы стабилизации температуры горячей воды неэкономично, желательно регулировать температуру горячей воды в зависимости от температурных условий внешней среды. Другой пример - **поддержание в заданных пределах давления в гидросистеме станка.**

Системы автоматической стабилизации имеют наибольшее распространение в промышленной автоматике.



# Системы автоматической стабилизации



## *Системы слежения*

**Это системы, предназначенные для изменения управляемой переменной в соответствии с изменением другой переменной, которая действует на входе системы и закон изменения которой заранее не известен, т.е.  $f(t)$  – произвольная функция времени.** В следящих системах регулируемое воздействие повторяет в определенном масштабе все изменения управляющей величины, т.е. следит за ней, для чего используется датчик отслеживаемого параметра.

Следящие системы обычно используются для дистанционного управления перемещением объектов в пространстве, а также для дистанционной передачи показаний. Примерами следящих систем, например, в металлургии являются широко распространенные системы соотношения двух расходов (топливо – воздух, руда – реагент), система управления раствором валков прокатного стана в зависимости от номера пропуска, гидроусилитель, воспроизводящий поворот входного вала, но с большей мощностью.



# Системы программного регулирования

Это системы, алгоритм функционирования которых содержит предписание изменять управляемую переменную в соответствии с заранее заданной функцией времени  $f(t)$ . Изменение регулируемой величины обеспечивается изменением задающего воздействия по строго определенной программе. Часто используют для объектов регулирования, в которых технологический процесс осуществляется по определенному циклу, периодически.

Различают системы:

- *с временной программой*, когда задатчик работает от часов, таймера (например, управление изменением во времени температуры в печи при термообработке деталей);
- *пространственной программой*, когда требуется скоординированное перемещение по нескольким направлениям, а конкретные моменты осуществления определенных действий не имеют большого значения (например, при нарезании резьбы на токарном станке перемещение суппорта должно быть жестко привязано к вращению шпинделя).



# *Кибернетические системы автоматического регулирования*

**Осуществляют более сложные задачи: сами находят оптимальную настройку, программу действия, закон следования, структуру системы и т.п. Общим для этих систем является применение логических элементов.**

Применение современной вычислительной техники, которая позволяет производить сложнейшие расчеты с огромной скоростью и высокой точностью, открывает широкие перспективы для автоматизации наиболее сложных технологических процессов. ПЭВМ могут быть связаны с регулируемым объектом по многим каналам для наиболее полного учета изменения параметров технологического процесса и условий его протекания. Задачей ЭВМ является решение уравнений, описывающих зависимости между отдельными параметрами автоматизируемого процесса. Такая установка управляет подачей материала и энергоносителя в объект регулирования, обеспечивая оптимальные показатели технологического процесса. Подобные установки находят, например, применение для автоматизации доменных печей.



# *Системы автоматического регулирования по отклонению*

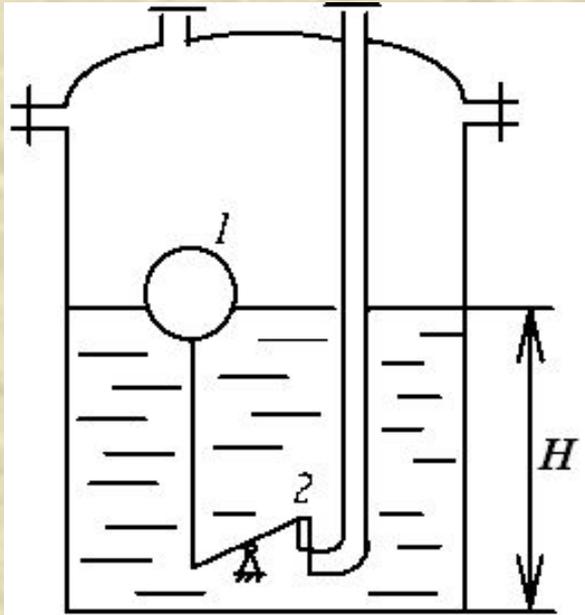
Независимо от числа и характера внешних факторов, оказывающих воздействие на регулируемую величину, процесс регулирования осуществляется лишь по значению самой регулируемой величины, которое сравнивается с некоторым заданным значением (принцип Ползунова). Если значение регулируемой величины не соответствует заданному значению, то регулятор начнет воздействовать на объект таким образом, чтобы привести к равенству регулируемую величину и заданную величины.

Основным признаком систем по отклонению регулируемой величины является наличие в системе, по крайней мере, одного замкнутого контура, включающего измерительный элемент, усилитель, исполнительный элемент, объект регулирования. Поэтому системы регулирования по отклонению часто называют автоматическими системами замкнутого цикла.



# Системы автоматического регулирования по отклонению

Первый промышленный регулятор был изобретен в **1765** г. **И. Ползуновым** для созданной им паровой машины.

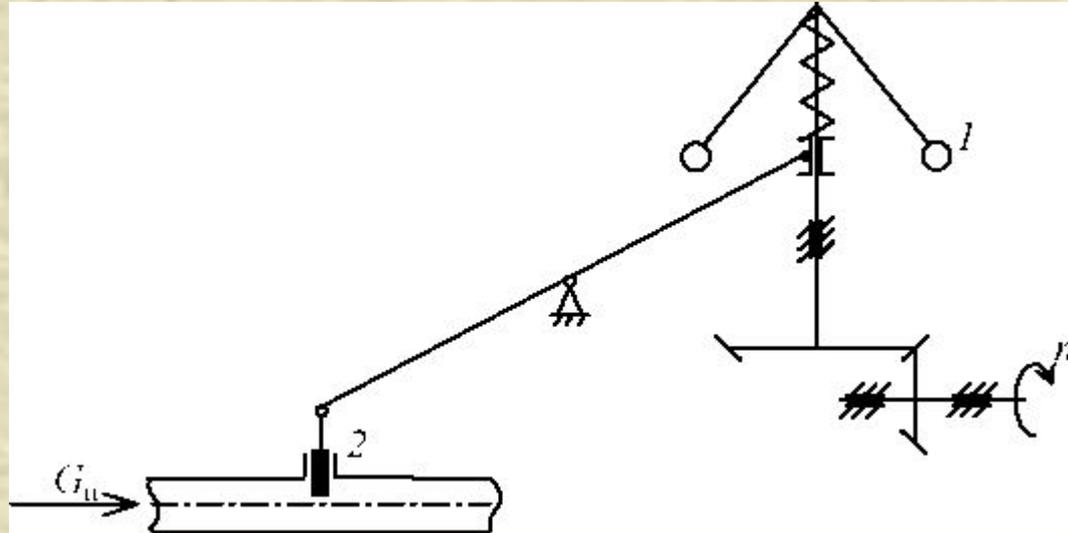


Задачей регулирования является поддержание в паровом котле постоянного уровня. Регулятор представляет собой поплавок 1, связанный системой рычагов с регулирующей заслонкой 2. При увеличении уровня поплавок поднимается вверх, в результате чего заслонка опускается, перекрывая трубопровод и уменьшая подачу воды в котел. При уменьшении уровня поплавок опускается, что приводит к увеличению подачи воды и, следовательно, к повышению уровня.



# Системы автоматического регулирования по отклонению

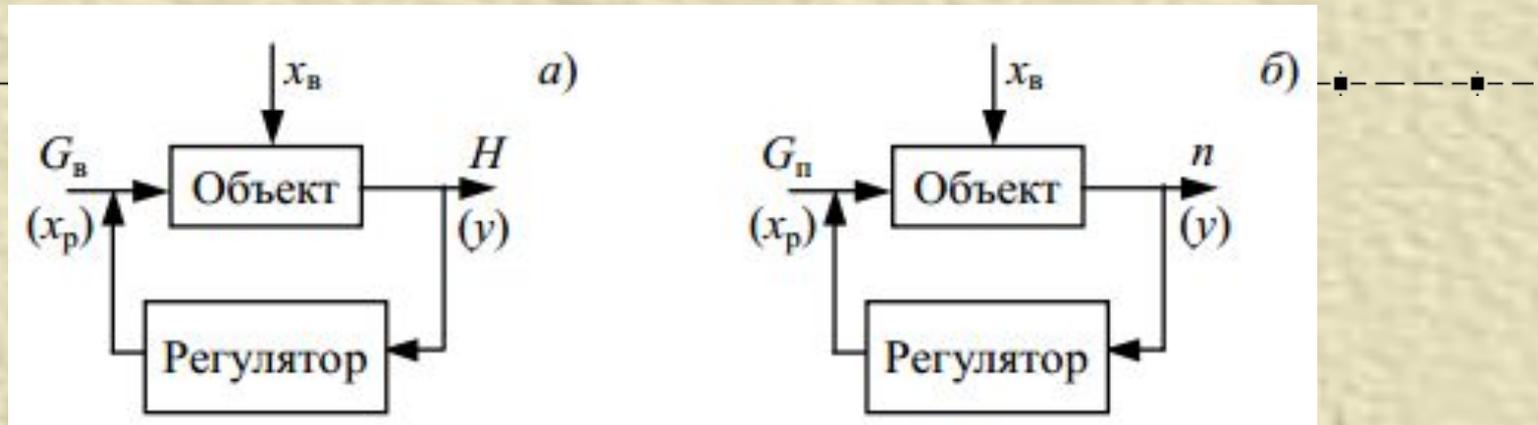
Практически одновременно с И. Ползуновым в 1784 г. Джеймс Уатт сконструировал центробежный регулятор числа оборотов вала паровой машины.



При изменении числа оборотов вала грузы  $1$  под действием центробежной силы изменяют свое положение, что приводит к перемещению регулирующего органа  $2$  и изменению подачи пара. Это в свою очередь вызывает изменение числа оборотов вала, но в направлении, противоположном исходному.



# Системы автоматического регулирования по отклонению



*а* – регулятор Ползунова; *б* – регулятор Уатта

Выходные координаты, они же и регулируемые переменные - уровень воды  $N$  и число оборотов  $n$ ; регулирующие переменные - подача воды в паровой котел -  $G_b$ , и расход пара в паровую машину -  $G_n$ ; возмущающие воздействия - давление пара в котле, расход топлива, его теплотворная способность в первом случае и во втором - нагрузка на валу паровой машины, давление пара в трубопроводе.



# Системы автоматического регулирования по отклонению

В зависимости от значения выходного сигнала объекта регулятор изменяет его входной сигнал, для чего вводится связь, получившая название **обратной связи**, потому что по ней происходит передача сигнала с выхода объекта на его вход по направлению, обратному направлению передачи основного воздействия на объект. Объект и регулятор образуют замкнутую систему, называемую автоматической системой регулирования (АСР). Если сигнал обратной связи складывается с основным сигналом, то связь называется **положительной**, если вычитается - **отрицательной**. В автоматических системах управления связь всегда отрицательна.



# Системы автоматического регулирования по отклонению

Схемы с обратной связью осуществляют **управление по отклонению** показателя процесса выходной координаты  $y(t)$  от заданного значения  $u_{\text{зад}}$ .

$\Delta y = y(t) - u_{\text{зад}}$  называется **отклонением** или **ошибкой управления**.

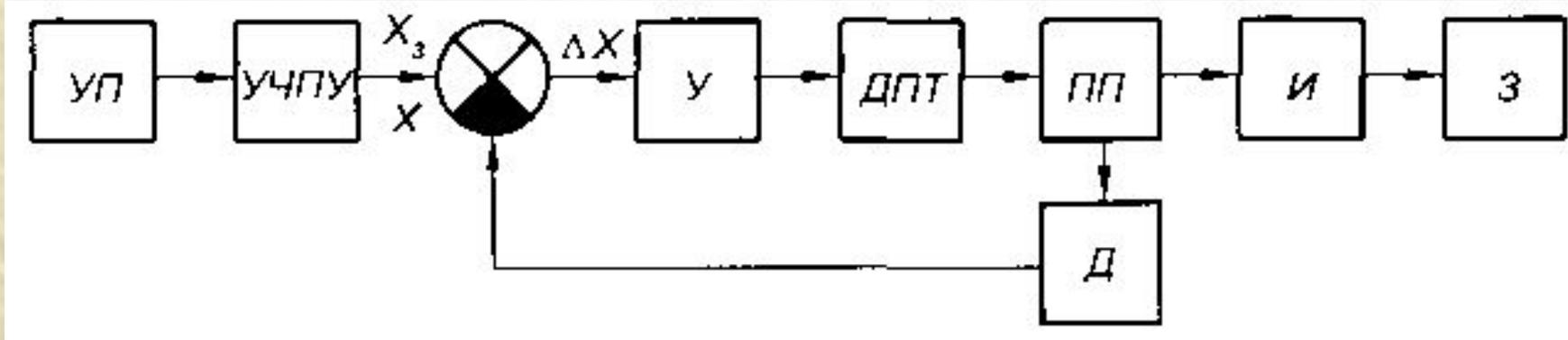


$\Delta y \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ .



# Системы автоматического регулирования по отклонению

## Структурная схема замкнутой системы станка с ЧПУ



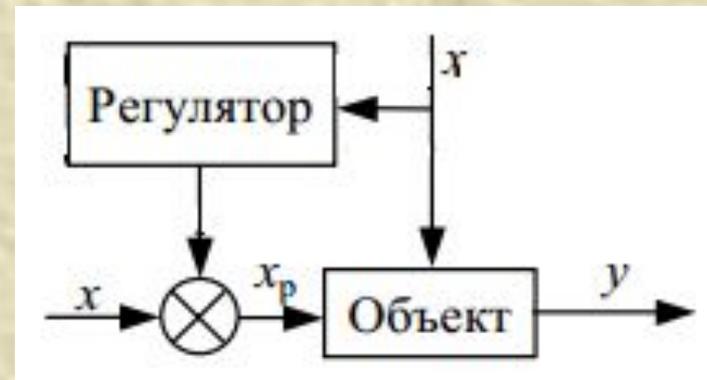
$$\Delta X = X - X_3$$



# Системы автоматического регулирования по возмущению

Работают по принципу устранения внешних возмущающих воздействий на объект регулирования путем компенсации этих воздействий, реагируя на величину возмущающего действия (принцип Понселе). Преимущество этого метода состоит в том, что возможное воздействие возникшего возмущения на регулируемую величину может быть установлено до того, как произошло отклонение регулируемого параметра. Однако регулятор может компенсировать лишь заранее рассчитанное возмущающее воздействие и обычно реагирует только на один вид возмущения.

Системы регулирования по возмущению являются разомкнутыми системами, так как в них отсутствует обратная связь.



# Системы автоматического регулирования по возмущению

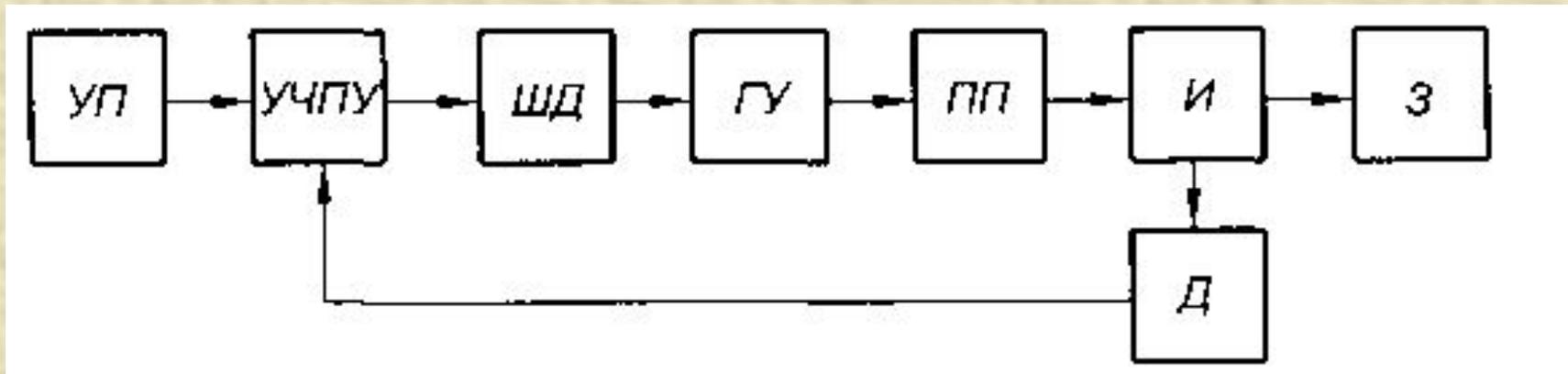
Рассматриваемый принцип регулирования впервые был предложен в 1830 г. французским инженером Ж. Понселе при разработке теории центробежных регуляторов хода машин по нагрузке на валу машины, являющейся одним из основных возмущений в объекте, но реализовать свое предложение на практике ему не удалось, так как динамические свойства машины не допускали непосредственного использования принципа компенсации.

В 1940 г. был предложен принцип инвариантности - достижение независимости управляемой координаты от возмущений, практическая реализация которого была получена только в 50-е годы.



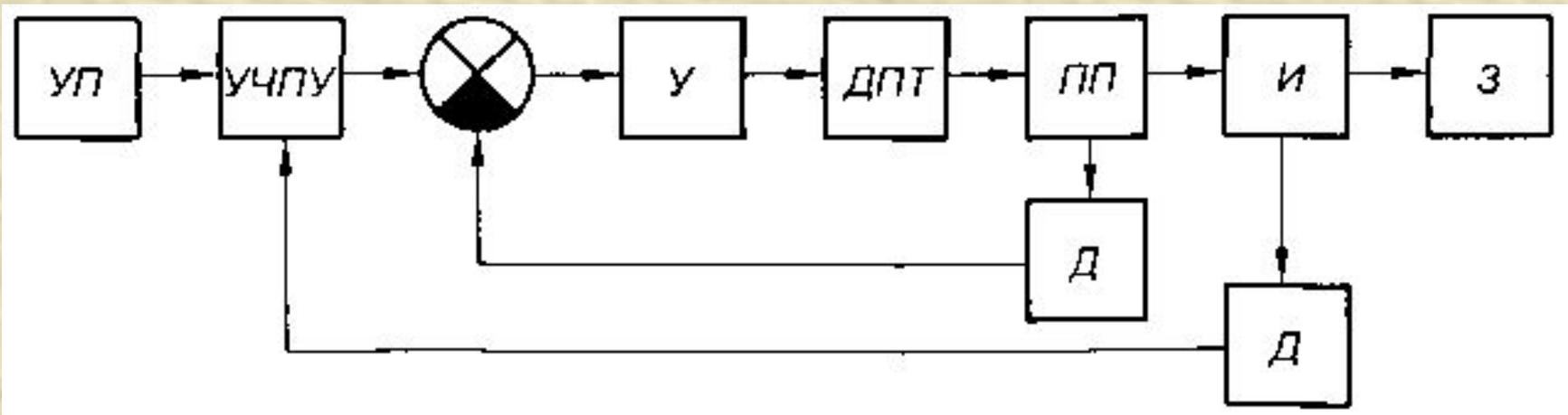
# Системы автоматического регулирования по возмущению

**Система автоматической коррекции настройки станка на размер по результатам замера износа инструмента**



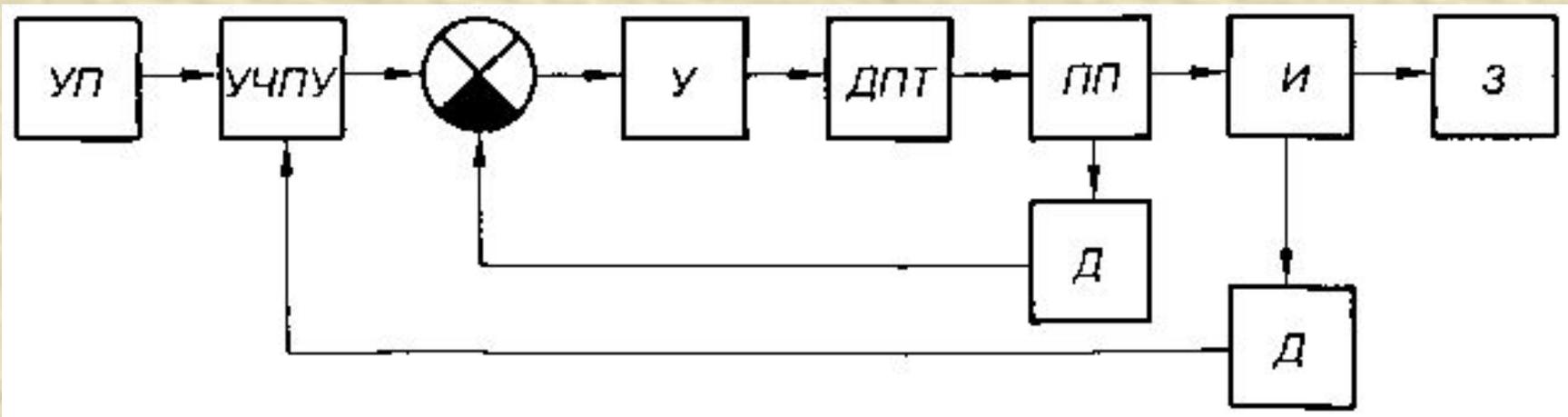
# Комбинированные системы автоматического регулирования

Наиболее эффективными системами регулирования являются комбинированные АСР, сочетающие оба рассматриваемых принципа.

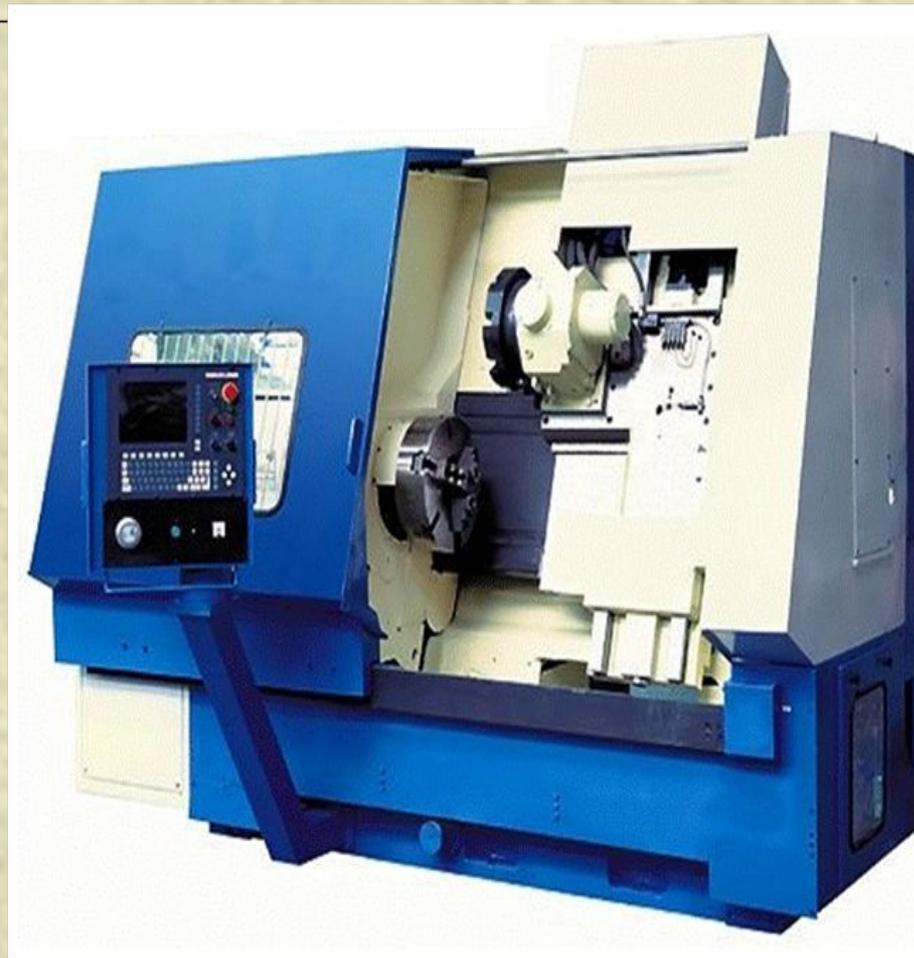


# Комбинированные системы автоматического регулирования

Наиболее эффективными системами регулирования являются комбинированные АСР, сочетающие оба рассматриваемых принципа.



# Дискретные системы



# Непрерывные системы

