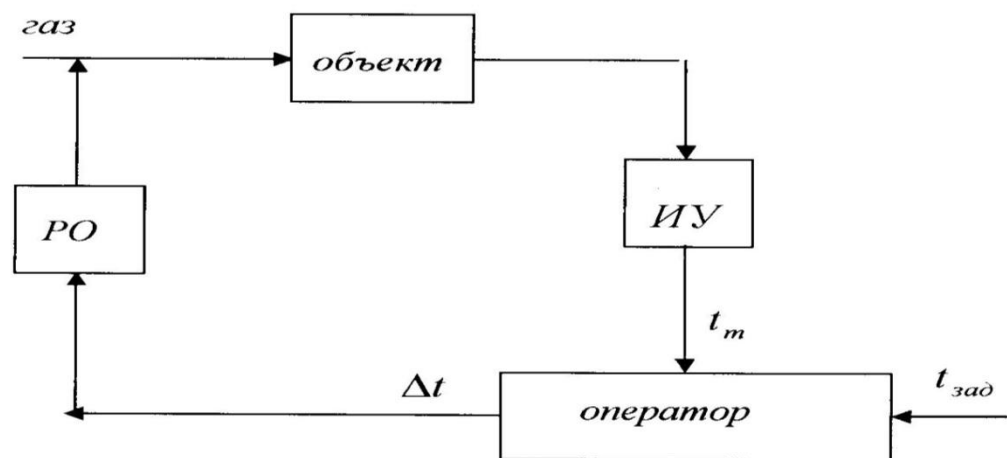


Структурная схема ручного регулирования в общем виде



Объектом регулирования является в данном случае печь.

ИУ – измерительное устройство, включает в себя датчик измерения параметра и вторичный прибор.;

РО – регулирующий орган, им может быть кран, заслонка, шибер и т.п.;

$t_{\text{зад}}$ – заданное значение параметра (температуры);

t_T – текущее значение параметра, значение параметра в любой момент времени;

$\Delta t = t_T - t_{\text{зад}}$ – сигнал о рассогласовании значения параметра.

Автоматические системы регулирования

Классификация АСР

1. по роду параметра: температура, давление, уровень и т.д.
2. по виду регулирующего воздействия:
 - 2.1. АСР по отклонению (Ползунова);
 - 2.2. АСР по возмущению (Понселе);
 - 2.3. АСР комбинированная;
3. по алгоритму функционирования:
 - 3.1. стабилизирующая АСР;
 - 3.2. программная АСР;
 - 3.3. следящая АСР;
 - 3.4. самонастраиваемая АСР;
 - 3.4. оптимизирующая АСР;
4. по закону регулирования
 - 4.1. П закон (пропорциональный);
 - 4.2. И закон (интегральный);
 - 4.3. Д закон (дифференциальный);
 - 4.4. ПД закон (пропорционально-дифференциальный);
 - 4.5. ПИ закон (пропорционально-интегральный);
 - 4.6. ПИД закон (пропорционально-интегрально-дифференциальный).

Объектом регулирования является печь.

Z – возмущающее воздействие.

ИУ – измерительное устройство, включает в себя датчик измерения параметра и вторичный прибор.

СУ – сравнивающее устройство, выдает сигнал об отклонении технологического параметра.

ЗУ – задающее устройство, выдает сигнал о заданном значении технологического параметра.

ПР – преобразователь сигнала, это устройство преобразующее один вид энергии в другой и усиливающий этот сигнал.

ИМ – исполнительный механизм

РО – регулирующий орган, им может быть кран, заслонка, шибер и т.п.;

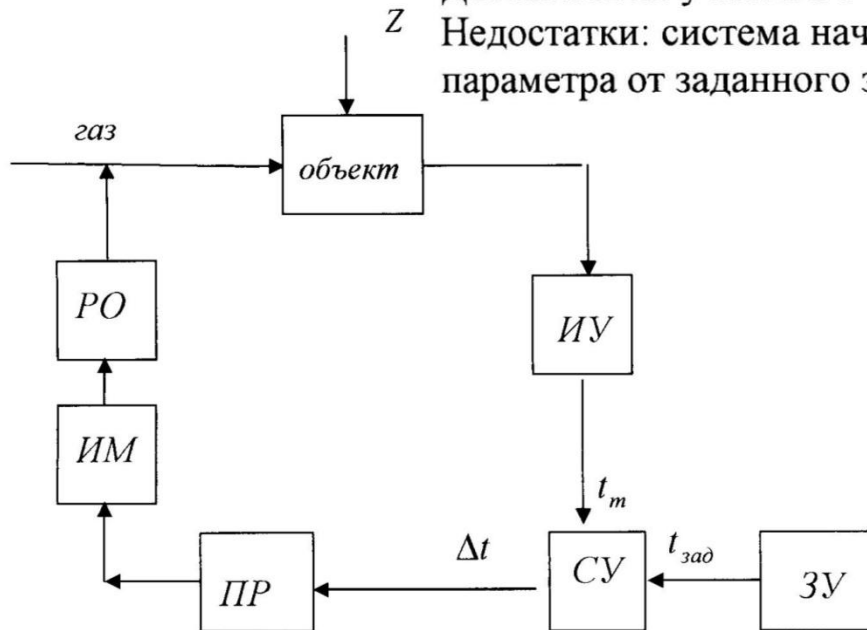
$t_{зад}$ – заданное значение параметра (температуры);

t_t – текущее значение параметра, значение параметра в любой момент времени;

$\Delta t = t_t - t_{зад}$ – сигнал о рассогласовании значения параметра.

Достоинства: учитываются все возмущающие воздействия на объект.

Недостатки: система начинает регулировать только после отклонения параметра от заданного значения.

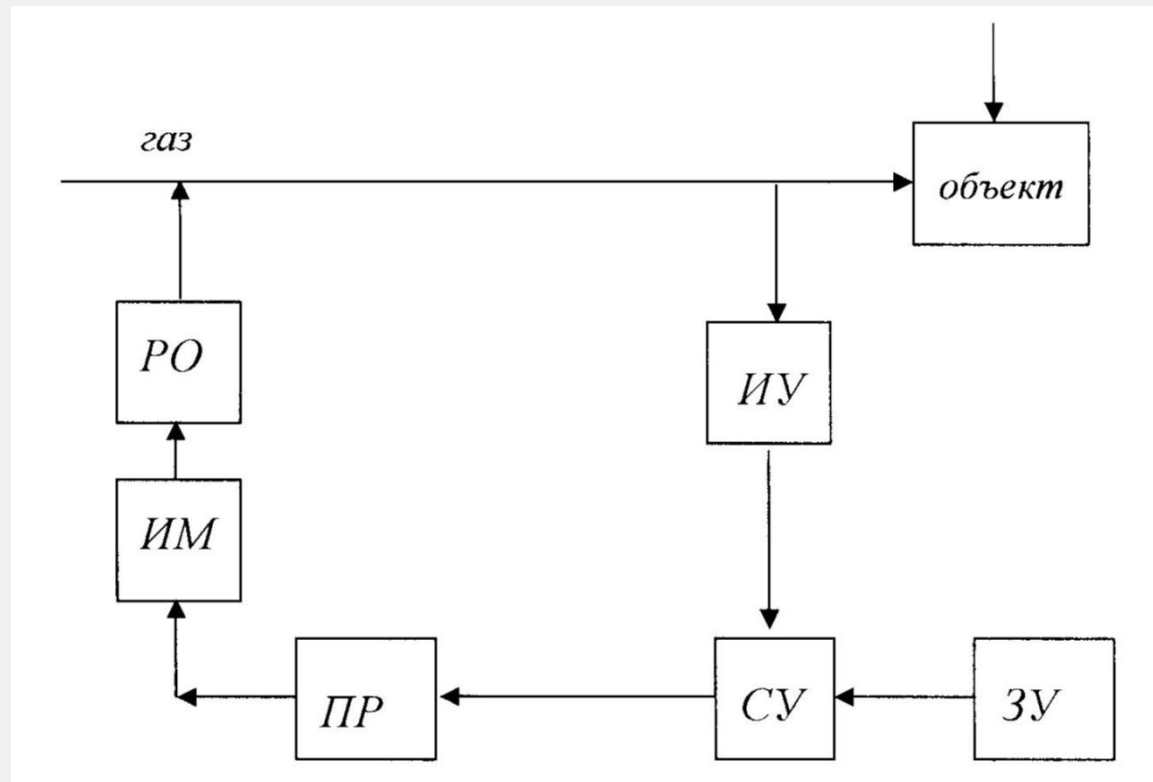


АСР по возмущению (Понселе)

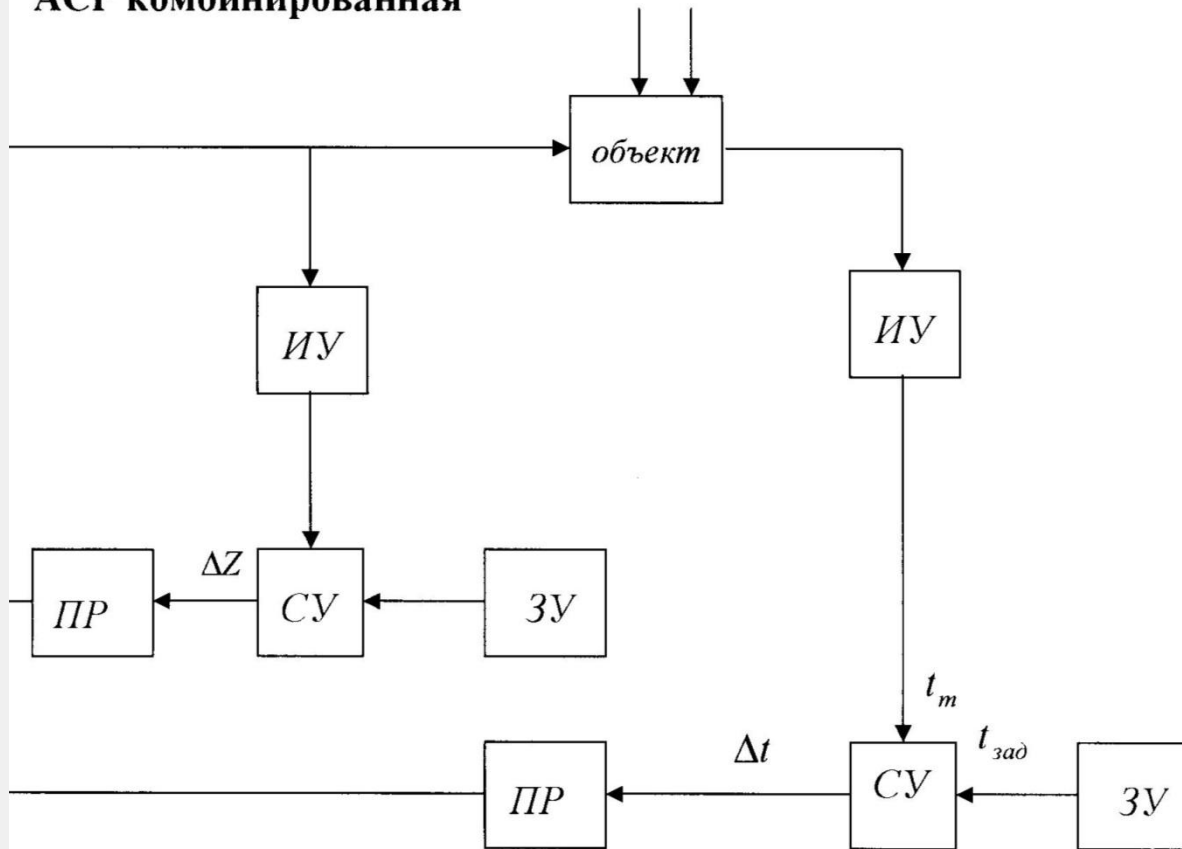
Данная система устанавливается по самому сильному возмущающему воздействию (в данном случае на потоке газа). Датчик измеряет текущее значение расхода газа, и система регулирует его. Регулятор тем самым обеспечивает постоянное значение расхода газа, поступающего в печь. Следовательно, температура в печи должна быть постоянной, если не возникли какие-либо возмущающие воздействия на объект.

Достоинства: система начинает обеспечивать заданное значение без его отклонения.

Недостатки: не учитываются все возмущающие воздействия на объект.



АСР комбинированная



Комбинированная система сочетает в себе достоинства систем по лонению и по возмущению, что повышает точность управления.

Достоинства:

- учитываются все возмущающие воздействия на объект;
- по самому сильному возмущению АСР не допускает отклонения улируемой величины в объекте.

Недостатки:

- дорогостоящая система, как по объему, так и по количеству входящих ментов;
- сложность наладки оборудования.

Стабилизирующие АСР

В стабилизирующих АСР заданное значение регулирующей величины постоянно. Примером такой системы может служить система регулирования температуры в рабочем пространстве термической печи. Данная АСР относится к АСР по отклонению.

Программные АСР

В программных АСР значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее разработанной известной программе.

Следящая АСР

В следящей системе заданное значение регулируемой величины изменяется во времени по заранее неизвестной программе.

Примером следящей системы может служить процесс приготовления сахарного раствора.

Расход воды является задающим параметром для расхода сахара, причем расход воды заранее неизвестен. Для того чтобы концентрация сахара была постоянной необходимо, чтобы расход воды совпадал с расходом сахара. Сигнал от датчика и задающего устройства поступают на сравнивающее устройство. В случае сигнала о рассогласовании исполнительный механизм изменяет положение регулирующего органа, изменяя при этом расход подачи сахара, и приводят в соответствие оба расхода.

Свойства объекта регулирования

1.Емкость – это свойство объекта накапливать энергию, жидкость, газ. Объект может быть односторонним или многосторонним. Односторонними называют объекты, в которых входная переменная непосредственно воздействует на выходную переменную.

Коэффициент емкости – это количество энергии или вещества, которое необходимо подвести в объект или отвести от объекта, чтобы изменить регулируемую величину за единицу времени.

$$K_c = \frac{C}{X}; \text{ где } K_c - \text{коэффициент емкости};$$

C – емкость объекта;

X – величина регулируемого параметра.

2. Самовыравнивание – это свойство объекта самостоятельно без внешнего воздействия устанавливать новое постоянное значение выходной переменной.

Объекты, обладающие свойством самовыравнивания, называются статическими. Объекты, не обладающие этим свойством, называются астатическими.

Способность объекта к самовыравниванию характеризуется степенью самовыравнивания.

$$\rho = \frac{dq}{dx_o} ;$$

где q – относительная разность между приходом и расходом вещества или энергии;

$x_o = \frac{x}{x_H}$ – относительное отклонение регулируемой величины;

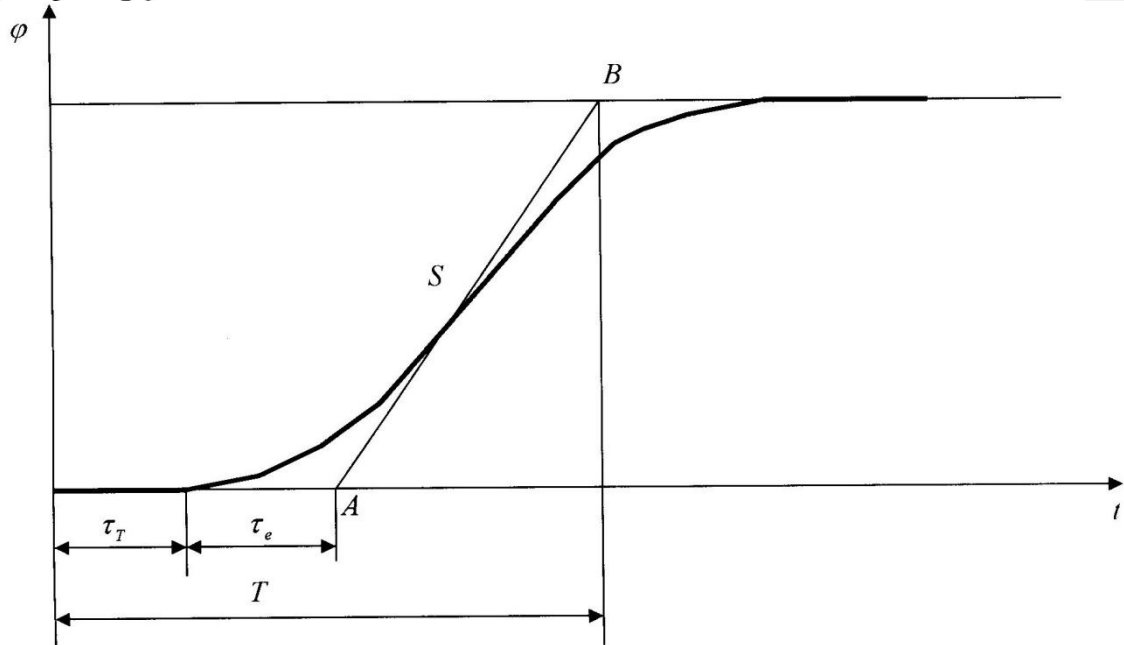
x_H – номинальное значение регулируемой величины;

x – текущее значение регулируемой величины.

Чем больше степень самовыравнивания ρ , тем с большей легкостью объект самопроизвольно восстановит заданное значение при кратковременном возмущении, тем быстрее восстановится равновесие, и процесс регулирования будет более устойчивым.

3. Запаздывание.

В результате регулирующего воздействия и нарушения равновесия между приходом и расходом энергии или вещества регулируемая величина меняется не мгновенно. Отставание регулируемой величины называется *запаздыванием*.



$$\tau = \tau_T + \tau_C$$

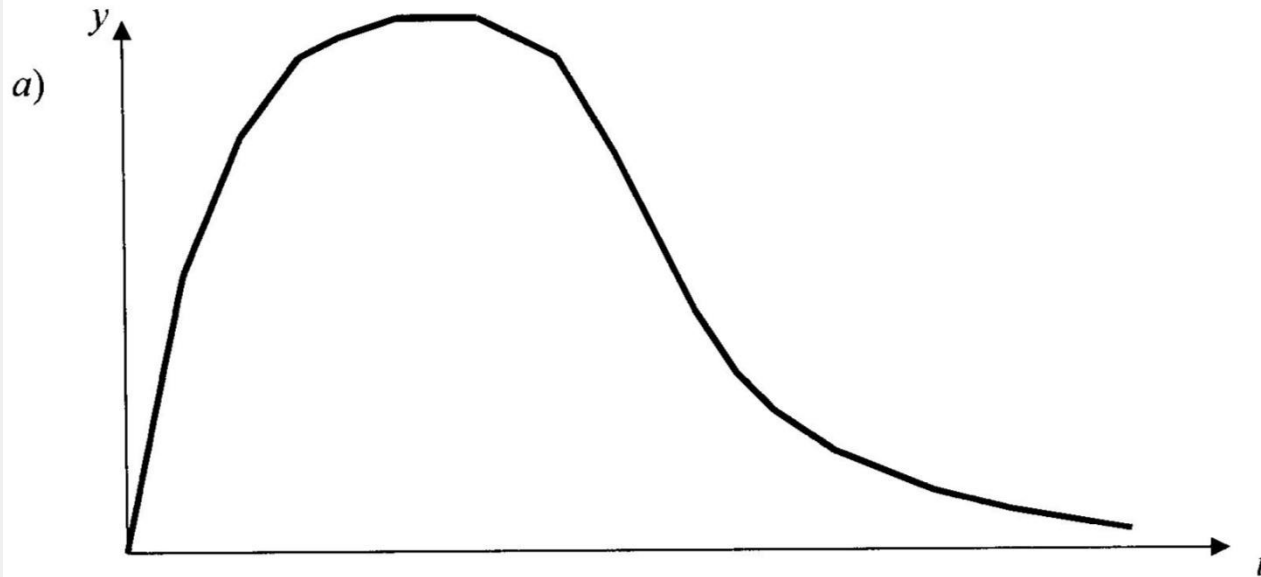
τ_T — транспортное запаздывание, это время, в течение которого регулируемая величина не изменяется, не смотря на произведенное регулирующее воздействие.

Пример: при изменении напряжения на нагревательных элементах электрической печи потребуется определенное время, пока установится новый тепловой поток и повлияет на время начала изменения температуры.

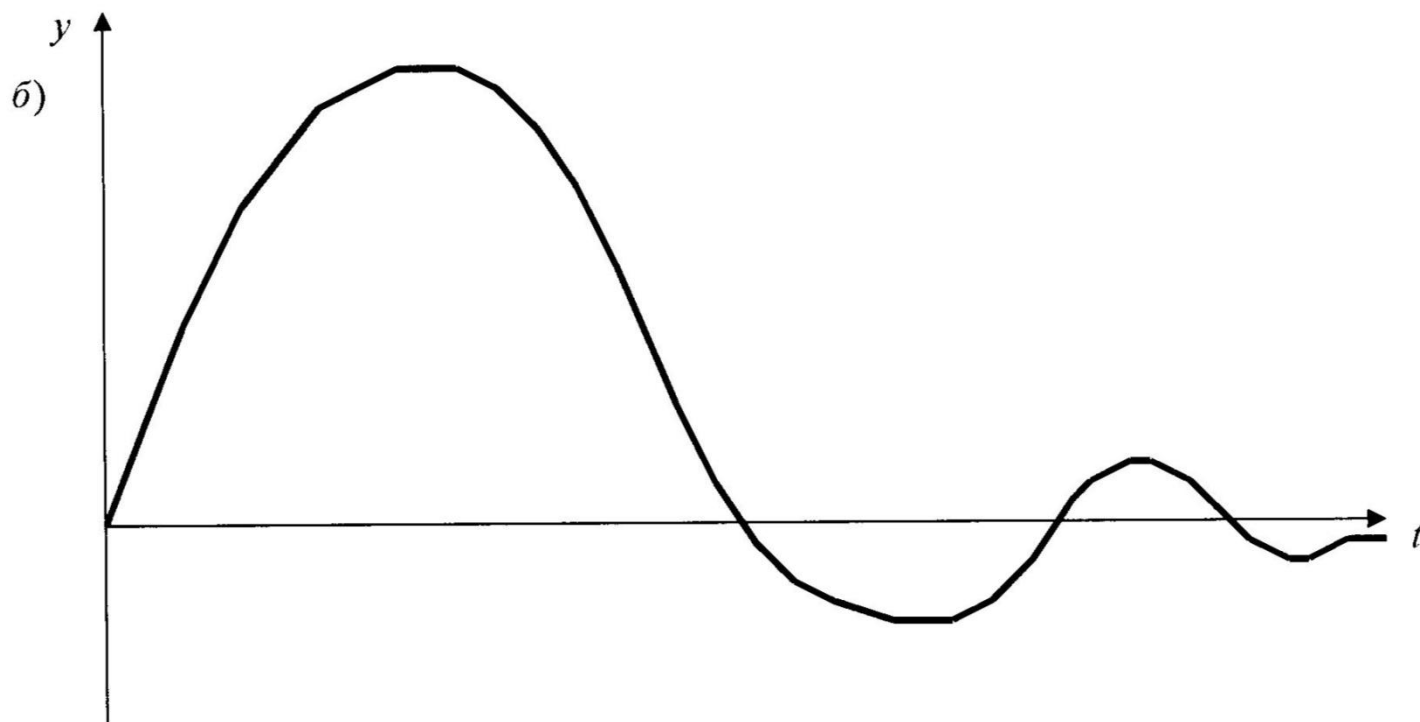
Продолжительность транспортного запаздывания зависит от расстояния между регулирующим органом и чувствительным элементом, от нагрузки и емкости объекта.

τ_C — это емкостное запаздывание. Это запаздывание, зависящее от термических, гидравлических и других сопротивлений между емкостями

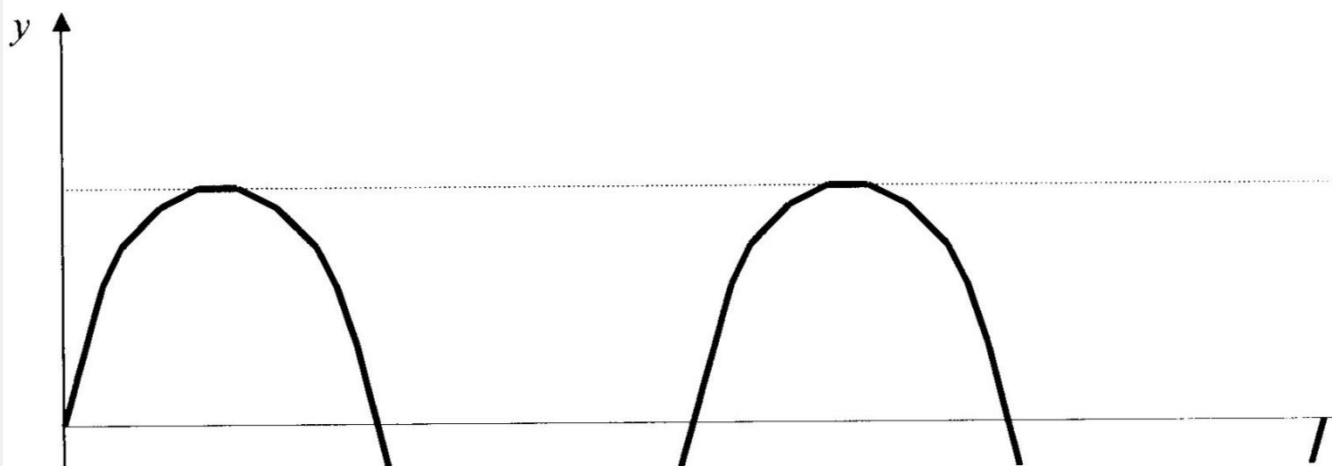
Переходные процессы



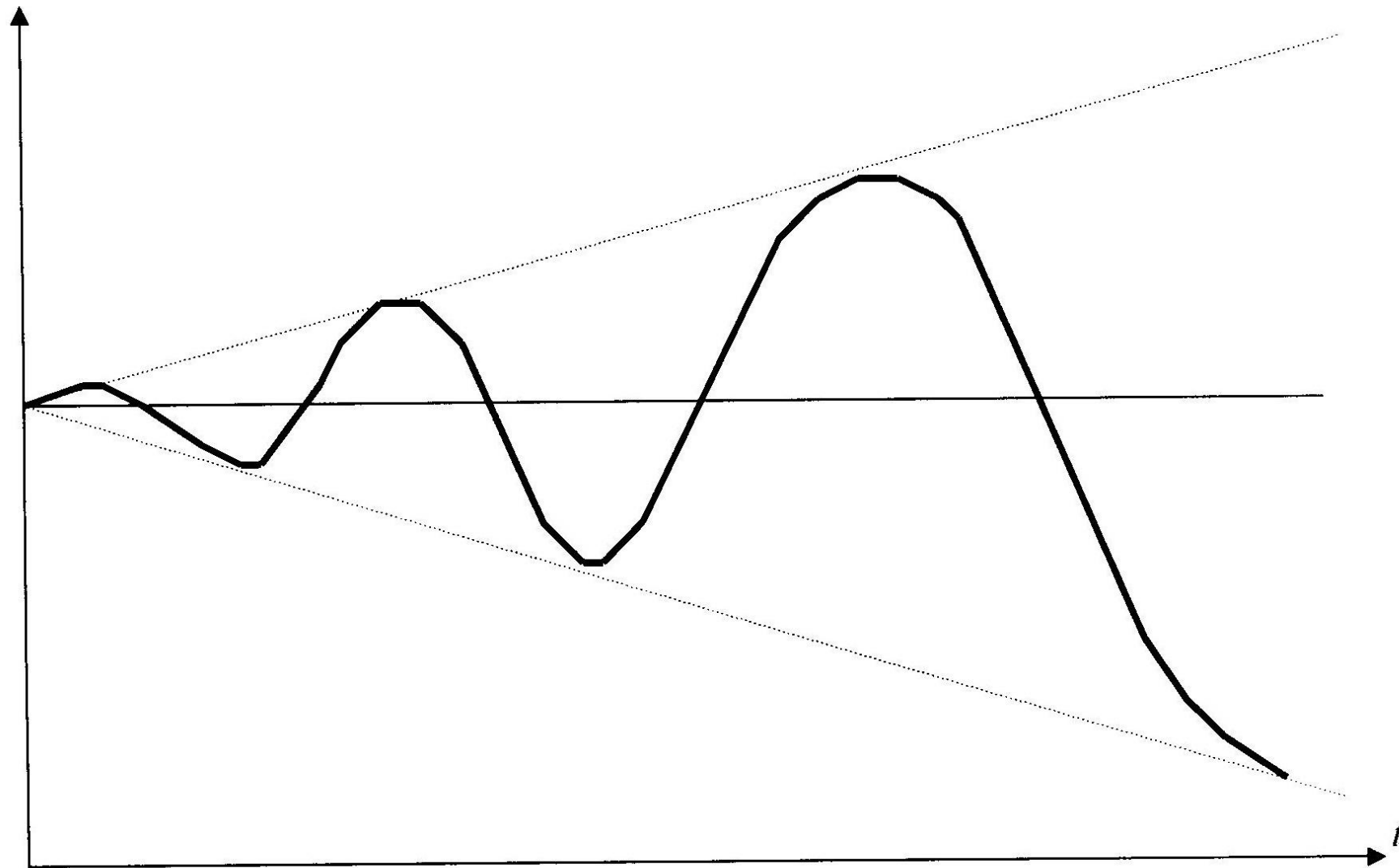
1) Периодический неколебательный затухающий процесс – характеризуется плавным возвращением параметра к заданному значению, процесс может иметь статистическую ошибку.



2) Колебательный затухающий процесс – характеризуется изменением параметра вокруг заданного значения и возвращением к заданному значению после совершения нескольких колебательных изменений.

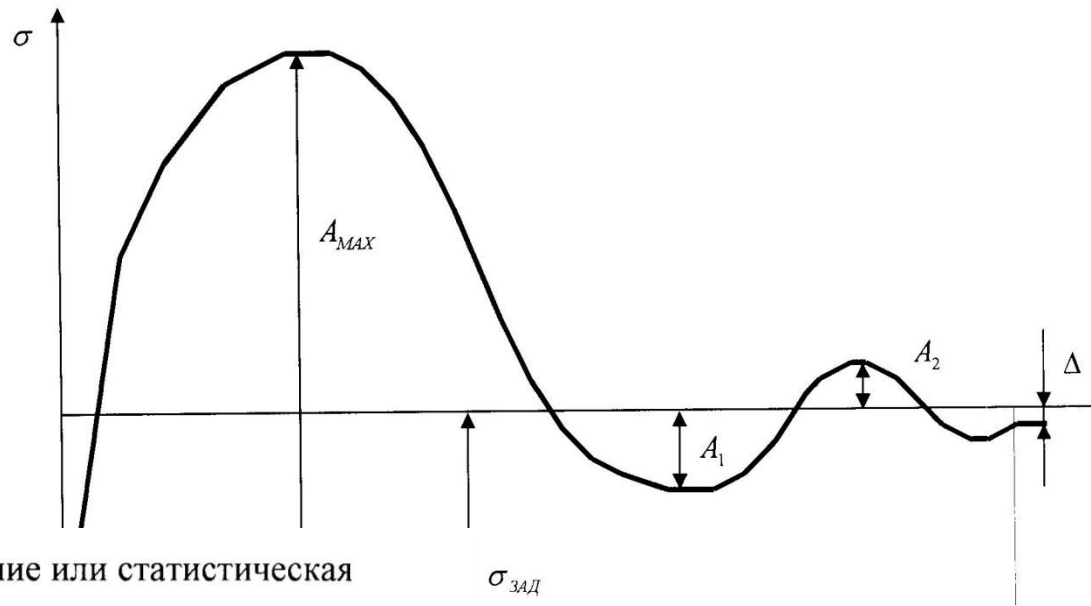


в) Колебательный процесс с постоянной амплитудой (гармонический колебательный процесс) – характеризуется незатухающими колебаниями параметра, система не приходит к устойчивому состоянию.



г) Колебательный процесс расходящийся – этот процесс не допустим АСР, т.к. с течением времени все больше уходит от заданного значения параметра.

Показатели качества регулирования



1. $\Delta = |\sigma_{зад} - \sigma_{уст}|$ -- остаточное отклонение или статистическая ошибка – это отклонение регулируемой величины от заданного значения после снятия регулирующего воздействия. Этот показатель характеризует установившийся процесс.

2. A_{max} – максимальное динамическое отклонение, это максимальное изменение регулируемой величины при внесении возмущающего воздействия. Характеризует переходный процесс и является очень важным показателем, когда не допустимо значительное отклонение регулируемой величины, даже кратковременное.

3. t_p – время регулирования – это время переходного процесса, т.е. время от начала внесения возмущающего воздействия до восстановления заданного параметра.

4. $\psi = \frac{A_1}{A_2} \times 100\%$ – коэффициент перерегулирования – это отношение амплитуды второй волны к амплитуде первой волны, выраженное в процентах.

Перерегулирование должно быть в пределах от 0 до 100%, оптимальным вариантом считается, если $\psi = 20\%$.

Законы регулирования и автоматические регуляторы

Различают два вида регулирования:

1. позиционное регулирование периодического действия (регулирующий орган может занимать ряд фиксированных положений):

1.1. двухпозиционное регулирование (вкл- выкл, вперед-назад);

1.2. трехпозиционное регулирование (кроме двух крайних положений имеется одно промежуточное);

1.3. многопозиционное регулирование.

2. непрерывное регулирование (регулирующий орган изменяет свое положение непрерывно по какому-либо закону).

ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР (РЕЛЕЙНЫЙ, ON/OFF, КОМПАРАТОР)

В режиме двухпозиционного регулятора (компаратора) ЛУ сравнивает значение входной величины с уставками и выдает управляющий сигнал на выходное устройство в соответствии с заданной логикой.

Выходной сигнал двухпозиционного регулятора может иметь только два значения: 100 % (ВКЛ.) или 0 % (ВЫКЛ.). Поэтому для работы ЛУ в режиме двухпозиционного регулятора требуется выходное устройство ключевого типа (э/м реле, транзисторная оптопара, оптосимистор, выход для управления внешним твердотельным реле). Тип логики двухпозиционного регулятора, уставка $T_{уст.}$ и гистерезис Δ задаются пользователем при программировании прибора.

Двухпозиционный регулятор используется:

- для регулирования измеренной величины в несложных системах, когда не требуется особой точности поддержания PV при условии, что свойства объекта позволяют сглаживать периодические колебания регулируемой величины;
- для сигнализации о выходе контролируемой величины за заданные границы.

Тип логики 1 (прямой гистерезис)

Применяется в случае использования прибора для управления работой нагревателя (например, ТЭНа) или сигнализации о том, что значение текущего измерения T меньше уставки $T_{уст.}$. При этом выходное устройство, подключенное к ЛУ, первоначально включается при значениях $T < T_{уст.} - \Delta$, выключается при $T > T_{уст.} + \Delta$ и вновь включается при $T < T_{уст.} - \Delta$, осуществляя тем самым двухпозиционное регулирование температуры объекта по уставке $T_{уст.}$ с гистерезисом $\pm \Delta$.

Тип логики 2 (обратный гистерезис)

Применяется в случае использования прибора для управления работой «холодильника» (например, вентилятора) или сигнализации о превышении значения уставки. При этом выходное устройство первоначально включается при значениях $T > T_{уст.} + \Delta$, выключается при $T < T_{уст.} - \Delta$ и вновь включается при $T > T_{уст.} + \Delta$, также осуществляя двухпозиционное регулирование.

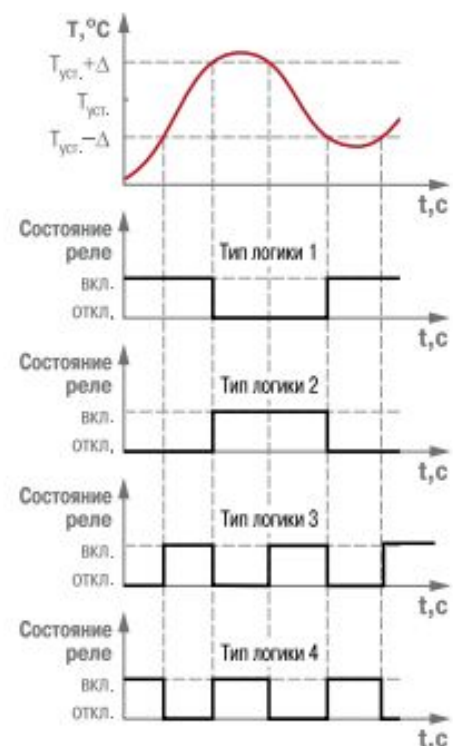
Тип логики 3 (П-образная)

Применяется при использовании прибора для сигнализации о выходе контролируемой величины в заданные границы. При этом выходное устройство включается при $T_{уст.} - \Delta < T < T_{уст.} + \Delta$.

Тип логики 4 (U-образная)

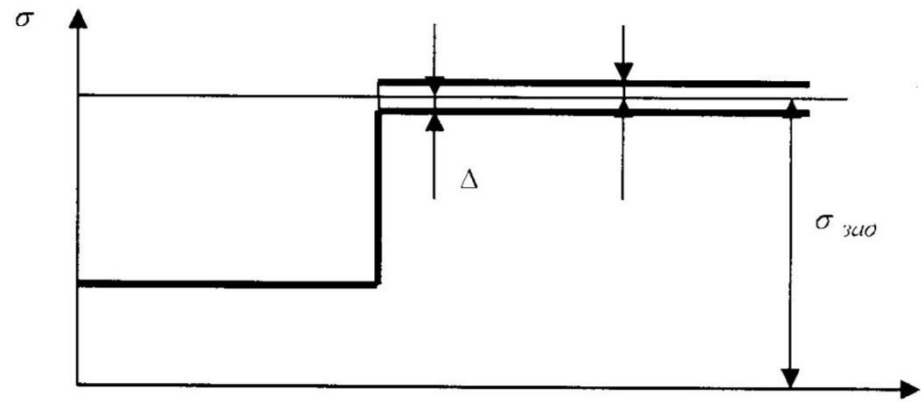
Применяется при использовании прибора для сигнализации о выходе контролируемой величины за заданные границы. При этом выходное устройство включается при $T < T_{уст.} - \Delta$ и $T > T_{уст.} + \Delta$.

ДВУХПОЗИЦИОННЫЙ РЕГУЛЯТОР (КОМПАРАТОР) сравнивает значение измеренной величины с эталонным (уставкой). Состояние выходного сигнала изменяется на противоположное, если входной сигнал (измеренная величина) пересекает пороговый уровень (уставку).



1. Пропорциональный закон (П-закон)

$S \approx \Delta X$ -- перемещение регулирующего органа прямо пропорционально сигналу о рассогласовании.



Свойства системы с П-регулятором

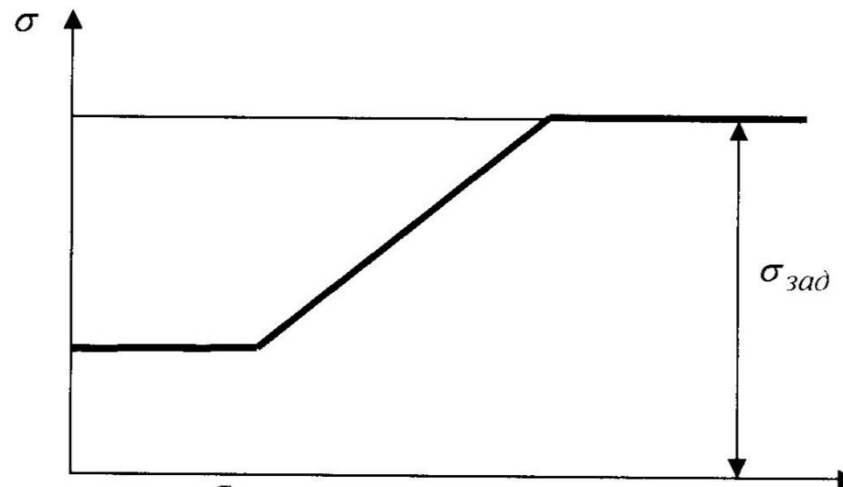
Достоинством П закона регулирования является отсутствие инерционности: реакция П регулятора на изменение входной переменной $E(t)$, произошедшее в момент времени t , формируется в тот же самый момент времени без какой либо задержки.

Благодаря этому в системе с П-регулятором обеспечивается хорошее быстродействие и относительно невысокий уровень максимальной динамической ошибки.

Однако в системе с П-регулятором свойственно наличие ошибки регулирования в установившемся состоянии $E_{уст}$. (кривая 2).

2. Интегральный закон (И- закон)

$S \approx \int \Delta X dt$ -- перемещение регулирующего органа прямо пропорционально интегралу от сигнала о рассогласовании.



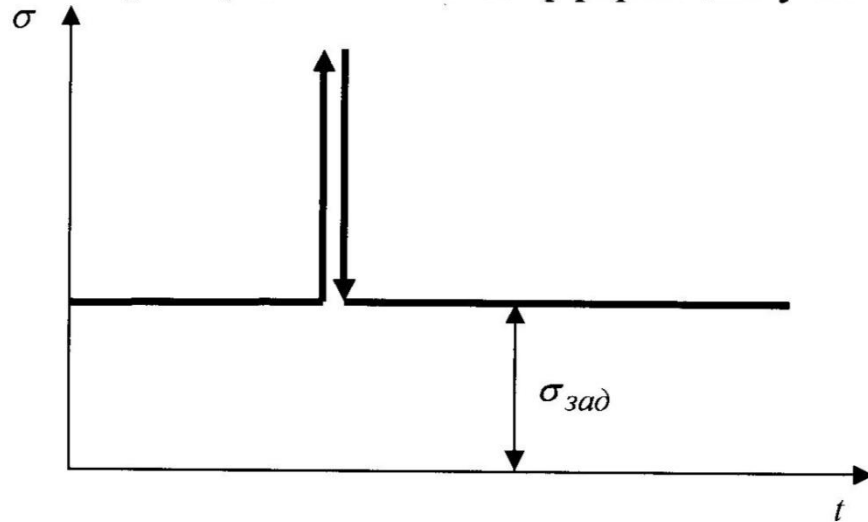
Свойства системы с И-регулятором

Достоинством И-регулятора (или любого регулятора с И-составляющей) является отсутствие ошибки регулирования в установившемся состоянии, т. е. в системе с И-составляющей при любых объектах выполняется условие: $E_{уст} = 0$. Это связано с тем, что в соответствии с И-законом регулирования регулирующее воздействие $MV(t)$ перестанет изменяться только тогда, когда сигнал рассогласования E будет иметь нулевое значение.

Однако система с И-регулятором обладает низким быстродействием. При этом процесс регулирования характеризуется большой продолжительностью и большим значением максимального динамического отклонения (кривая 3).

3. Дифференциальный закон (Д-закон)

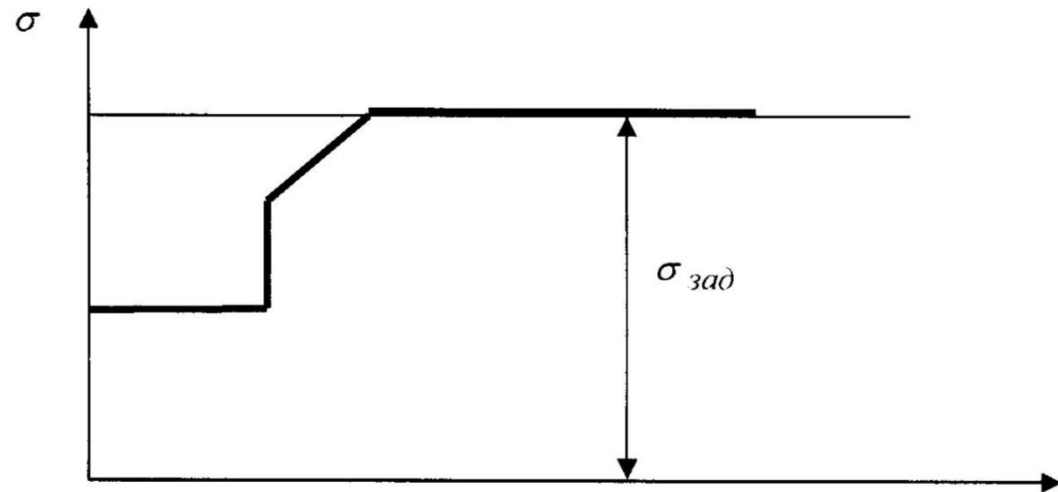
$S \approx \frac{d(\Delta X)}{dt}$ -- перемещение регулирующего органа прямо пропорционально дифференциалу от сигнала о рассогласовании.



Достоинства: t_p время регулирования стремится к нулю.

4. Пропорционально-интегральный закон (ПИ-закон)

$S \approx \Delta X + \int \Delta X dt$ -- перемещение регулирующего органа прямо пропорционально сумме сигнала о рассогласовании и интеграла от сигнала о рассогласовании.



Свойства системы с ПИ-регулятором

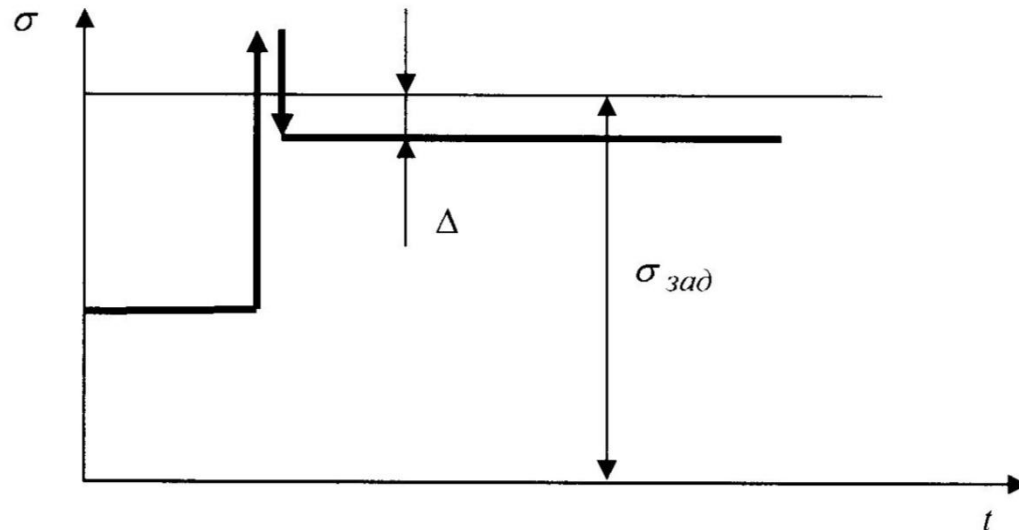
Применение ПИ-закона регулирования позволяет сочетать в одном устройстве положительные свойства П- и И- регуляторов, а именно, за счет П- составляющей обеспечить быстрое действие системы (хорошее качество начальной стадии процесса регулирования), а за счет И-составляющей обеспечить отсутствие статической ошибки (необходимое качество заключительной стадии процесса регулирования).

Однако при этом необходимо определить рациональное соотношение между П- и И-составляющими (кривая 4).

5. Пропорционально-дифференциальный закон (ПД - закон)

$S \approx \Delta X + \frac{d(\Delta X)}{dt}$ -- перемещение регулирующего органа прямо

пропорционально сумме сигнала о рассогласовании и дифференциала от сигнала о рассогласовании.



Достоинства: t_p время регулирования стремится к нулю.

Недостатки: Δ статистическая ошибка не равна нулю.

6. Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон (ПИД-закон)

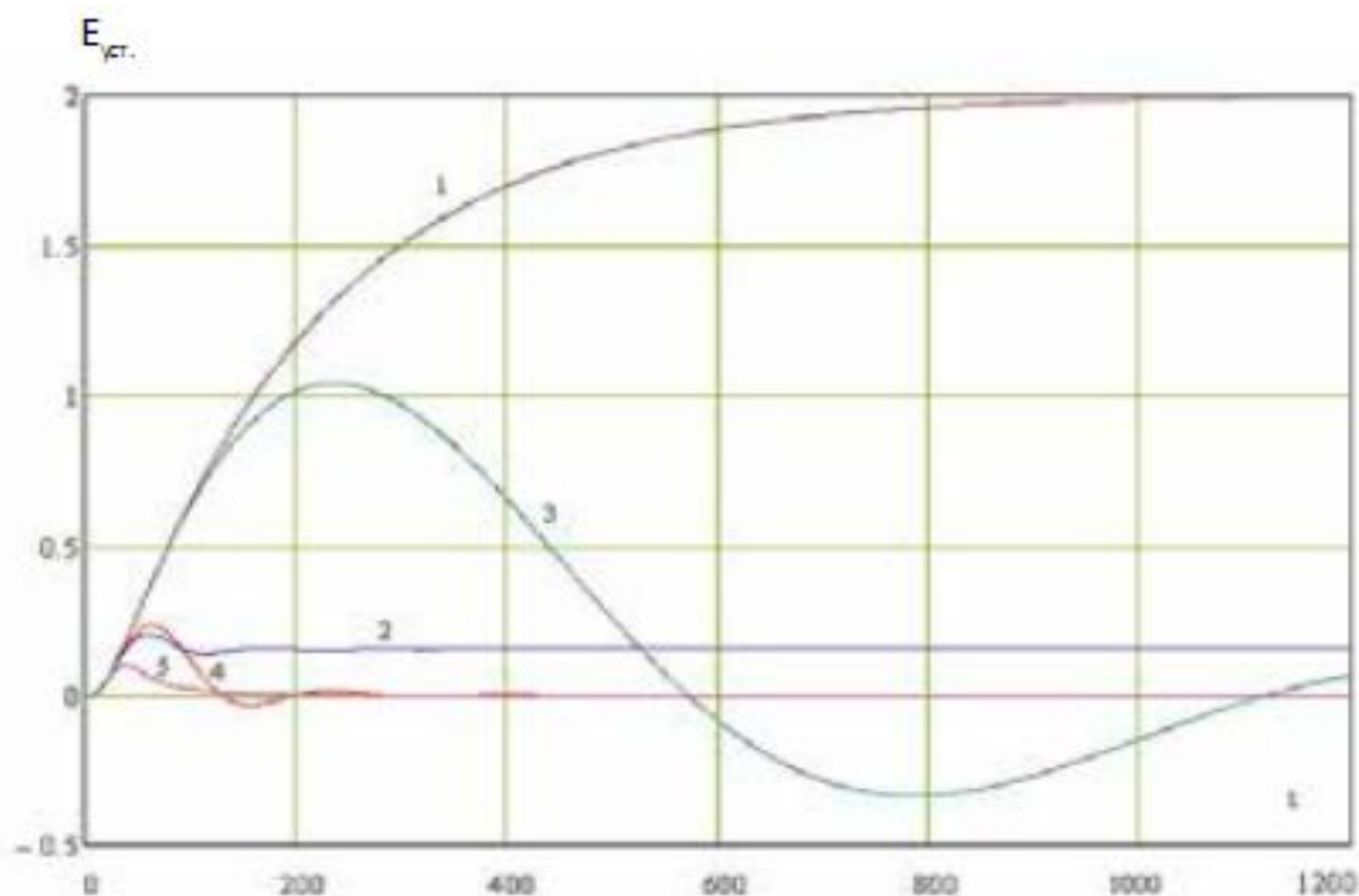
$$S \approx \Delta X + \int \Delta X dt + \frac{d(\Delta X)}{dt}$$
 -- перемещение регулирующего органа прямо пропорционально сумме сигнала о рассогласовании, интеграла от сигнала о рассогласовании и дифференциала от сигнала о рассогласовании.

Свойства системы с ПИД - регулятором

Применение дифференциальной (Д) составляющей позволяет повысить быстродействие системы регулирования благодаря тому, что регулятор начинает реагировать не только тогда, когда появляется достаточно заметное отклонение регулируемой переменной $PV(t)$ от заданного значения, а с опережением, как только наметилась тенденция изменения переменной, т.е. на основе измерения скорости изменения переменной dPV/dt .

Однако применение Д-составляющей повышает чувствительность регулятора к пульсациям входного сигнала.

ПИД-закон является наиболее совершенным из общепромышленных алгоритмов регулирования с точки зрения достижимого качества регулирования. Для иллюстрации ниже показаны графики процессов регулирования совместно с кривой разгона объекта для вариантов систем с П-, И-, ПИ- и ПИД- регуляторами при ступенчатом возмущении по каналу регулирующего воздействия и оптимальной настройке каждого регулятора (кривая 5).



Процессы с различными регуляторами:
1 - без регулятора; 2 - с П-регулятором; 3 - с И-регулятором;
4 - с ПИ-регулятором; 5 - с ПИД-регулятором.

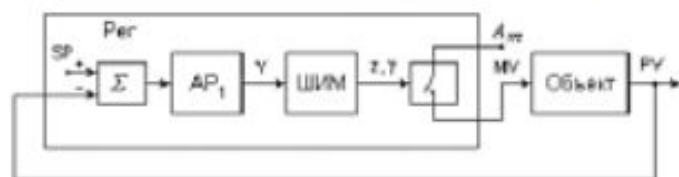
$E_{уст.}$ – величина рассогласования

ЛИНЕЙНЫЕ АЛГОРИТМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Алгоритм работы и вид выходного сигнала логического устройства должны быть согласованы с типом исполнительного устройства. С учетом этого, по виду исполнительного устройства алгоритмы регулирования подразделяют на два типа:

- 1) алгоритмы регулирования для исполнительных устройств пропорционального типа (например, управление нагревателем в электропечи);
- 2) алгоритмы регулирования для исполнительных устройств интегрирующего типа: исполнительных механизмов (ИМ) постоянной скорости типа МЭО, КЗР, задвижек и др.

Работа регулятора в системе с использованием исполнительных устройств пропорционального типа с управлением средней мощностью нагревателя (охладителя) через двухпозиционный ШИМ



Reg – регулятор;
AP1 – алгоритм регулирования для исполнительных устройств пропорционального типа;
Y – сигнал управления;
Am – номинальная мощность нагревателя;
z – сигнал на выходе ШИМ;
γ – скважность сигнала z, % ($\gamma=0\ldots100$).

Если выходное устройство регулятора ключевого типа (реле, транзисторная или симисторная оптопара, выход для управления твердотельным реле), то выходной сигнал преобразуется в последовательность управляющих импульсов с длительностью D (см. рисунок):

$$D = \frac{Y}{100} \cdot T_{\text{сп}}$$

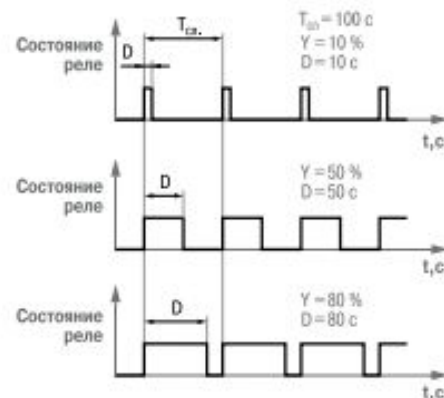
где D — длительность импульса, с;
 $T_{\text{сп}}$ — период следования импульсов, с
(задается пользователем при программировании);
Y — выходной сигнал регулятора, %.

Если в качестве выходного устройства используется ЦАП, выходной сигнал Y преобразуется в пропорциональный ему ток 4...20 мА или напряжение 0...10 В. Исполнительные устройства пропорционального типа могут управляться двумя способами:

- непосредственно аналоговым унифицированным сигналом тока или напряжения от формирователя алгоритма регулирования (позиционеры);

- с помощью двухпозиционного широтно-импульсного модулятора (ШИМ) импульсным сигналом, коэффициент заполнения (скважность) которого изменяется пропорционально сигналу управления Y, что позволяет управлять средним значением регулирующего воздействия MV, в частности, - средним значением мощности нагревателей или охладителей.

Работа ШИМ при различных значениях управляющего сигнала Y



ПИД-РЕГУЛЯТОР. ПАРАМЕТРЫ ПИД-РЕГУЛИРОВАНИЯ

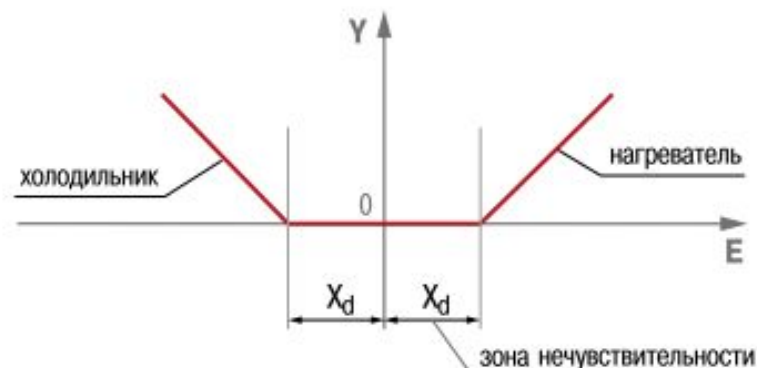
Зона нечувствительности X_d

Для исключения излишних срабатываний регулятора при небольшом значении рассогласования E_i для вычисления значений Y_i используется уточненное значение E_p , вычисленное в соответствии с условиями:

если $|E_i| \leq X_d$, то $E_p = 0$;
если $E_i > X_d$, то $E_p = E_i - X_d$;
если $E_i < -X_d$, то $E_p = E_i + X_d$;

где X_d — зона нечувствительности.

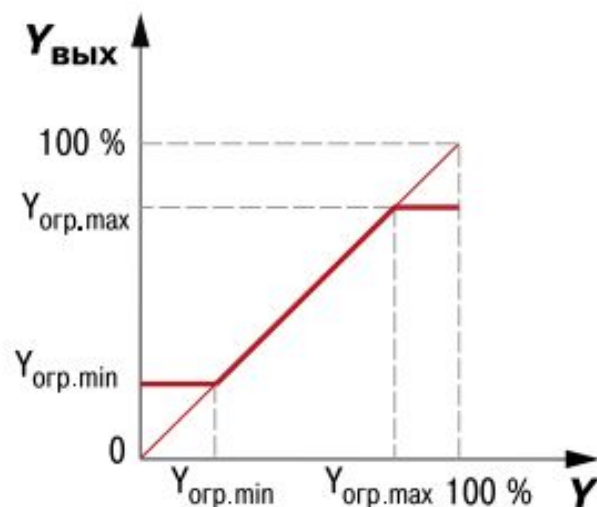
Прибор будет выдавать управляющий сигнал только после того, как регулируемая величина выйдет из этой зоны. Зона нечувствительности не должна превышать необходимую точность регулирования.



Ограничение управляющего сигнала

Если существуют технологические ограничения, не позволяющие, например, полностью выключать нагрев или, наоборот, включать нагрев на полную мощность, то для выходного управляющего сигнала $Y_{\text{вых}}$ задаются ограничения в виде максимального и минимального значений. Если выходной сигнал регулятора Y превышает заданную величину $Y_{\text{огр.max}}$, то на исполнительное устройство выдается сигнал $Y_{\text{огр.max}}$, если сигнал меньше заданной величины $Y_{\text{огр.min}}$, то выдается сигнал $Y_{\text{огр.min}}$.

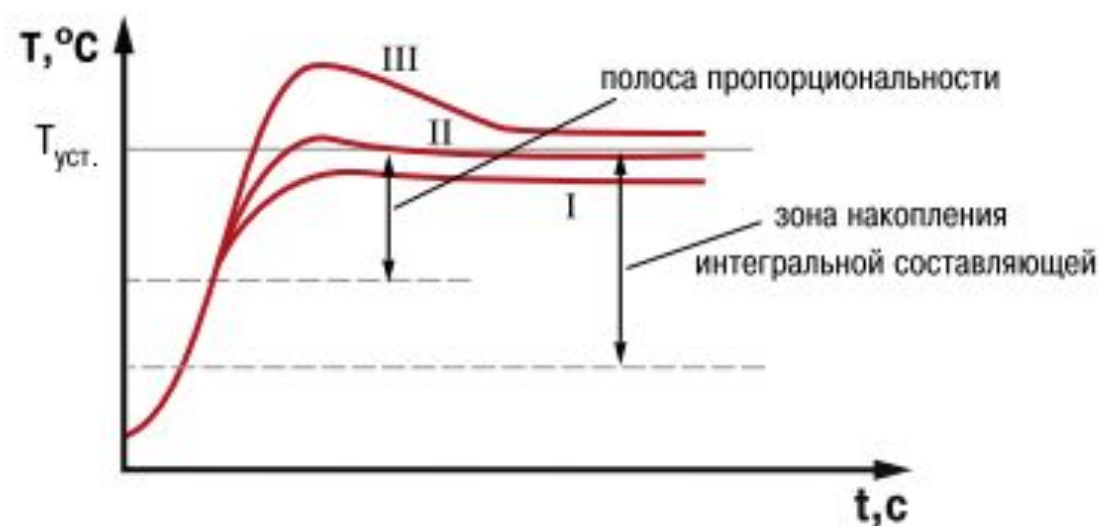
Кроме того, в некоторых регуляторах можно задать скорость изменения выходного сигнала, что позволяет избежать резкого изменения регулируемой величины.



Зона накопления интеграла

В некоторых случаях по внешним причинам (например, при открывании двери печи или холодильника) рассогласование E долго сохраняет знак. Вследствие этого величина интегральной составляющей становится очень большой (эффект интегрального насыщения), что может привести к перерегулированию после возврата системы в нормальное состояние.

Для устранения влияния этого эффекта задают зону накопления интеграла, в пределах которой регулятор вычисляет интегральную составляющую. За пределами этой зоны, где интегральная сумма слишком велика, для формирования управляющего сигнала используется только пропорциональная составляющая. В зависимости от режима работы регулятора (нагреватель или холодильник), эта зона расположена выше или ниже уставки. Если регулятор (МПП51) управляет задвижкой без датчика положения, значение этого параметра не влияет на работу регулятора.



- I — П-регулятор
- II — ПИ-регулятор с ограничением накопления интегральной составляющей
- III — ПИ-регулятор без ограничения интегральной составляющей

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В автоматических устройствах лесопромышленных предприятий для управления технологическим процессом и машинами широко используются релейные схемы, работающие по принципу включено — отключено. Назначение этих схем сводится к упорядоченному включению и выключению отдельных исполнительных механизмов и других элементов конструкции. Например, в процессе раскряжевки хлыст выдвигают на определенную длину, закрепляют, затем распиливают его, производят подъем пилы и прижима, сортимент сбрасывается, далее цикл повторяется. Как видим, весь процесс раскряжевки имеет определенную технологическую последовательность, иными словами, определенную технологическую логику. Таким образом, при составлении релейных схем управления необходимо составить определенное логическое правило работы механизма, или целого комплекса механизмов. Эта задача и решается при помощи законов алгебры логики.

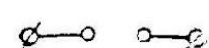
2. ЭЛЕМЕНТЫ РЕЛЕЙНЫХ СХЕМ

В качестве элементов релейных схем могут применяться различные приборы (как контактные, так и бесконтактные), способные включать и отключать цепь управления. Несмотря на многообразие приборов, включающих и отключающих цепи управления, во всех случаях эти элементы можно разделить на четыре вида:

а) замыкающий контакт — 

б) размыкающий контакт — 

в) постоянно замкнутый — 

г) постоянно разомкнутый — 

Виды контактов

							
x	$\bar{x}$	x	$\bar{x}$	x	$\bar{x}$	x	$\bar{x}$
1	1	1	0	1	1	1	0
0	0	0	1	0	0	0	1

Очевидно, что число возможных состояний цепи N , состоящей из n одноименных последовательно включенных элементов или параллельных будет

$$N = 2^n. \quad (83)$$

Так цепь, включающая в себя 4 элемента, будет иметь 16 возможных комбинаций состояний.

3. ОСНОВНЫЕ ЛОГИЧЕСКИЕ СВЯЗКИ И, ИЛИ, НЕ

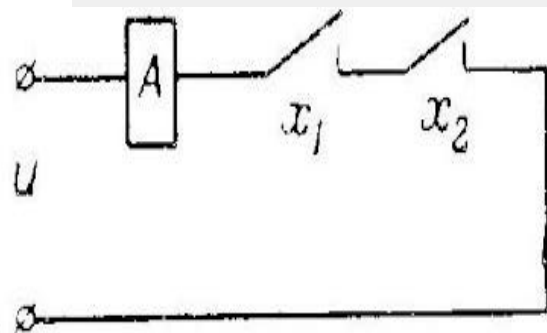
При помощи трех основных логических связок **И**, **ИЛИ**, **НЕ** можно производить построение различных логических уравнений. Под логическими уравнениями подразумевается зависимость между некоторыми высказываниями (сигналами) и следствием этих высказываний (состояние цепи управления). Следует отметить, что главным критерием в алгебре логики является истинность или ложность высказываний. В конце концов любую формальную логику можно различать по одному признаку: истина это или ложь. Таким образом, закодировав истину, например, через 1, а ложь через 0, можно математическими символами изобразить любую логическую фразу при помощи основных связок.

Логическое умножение. Связка **И** математически записывается так:

$$A = x_1 x_2. \quad (84)$$

Читается: A — истинно при истинно x_1 **И** x_2 .

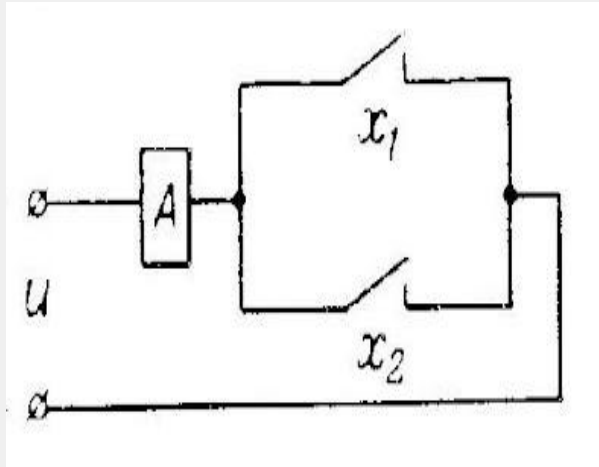
Например, работа электродвигателя возможна при наличии тока в цепи и включения кнопки пуска. Здесь логическая фраза состоит из трех частей: первая часть — это событие о возможности работы электродвигателя, обозначим ее через A . Вторая часть — это наличие первого условия x_1 (ток в цепи); третья часть — это наличие второго условия x_2 (нажата кнопка пуска электродвигателя).



Логическое сложение. Связка **ИЛИ** математически записывается так

$$A = x_1 \div x_2. \quad (85)$$

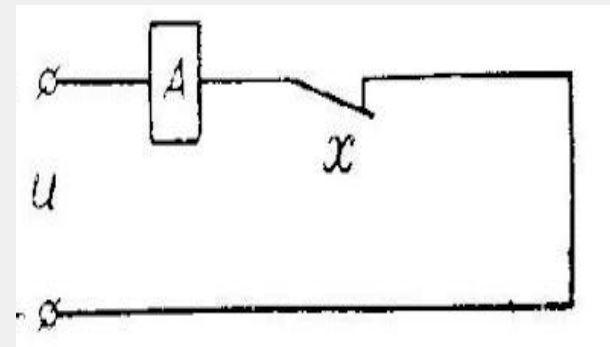
Читается: A — истинно при истинно x_1 **ИЛИ** x_2 . Например, включать электродвигатель можно путем нажатия кнопки ручного управления или в автоматическом режиме



Логическое отрицание. Связка **НЕ** математически записывается так

$$A = \bar{x}. \quad (86)$$

Читается A — истинно при x ложно и наоборот. Например, подъем груза краном предусматривается **НЕ** более 5 т.



4. СИНТЕЗ И АНАЛИЗ РЕЛЕЙНЫХ СХЕМ

Под синтезом релейных схем подразумевают их составление на основе определенных логических правил.

Рассмотрим пример автоматического управления сбрасывателем бревен. Если на транспортере производится сортировка бревен по длинам, то, поставив на пути их движения датчики, которые могли бы замерять эту длину, можно записать следующее условие срабатывания сбрасывателя:

$$A = x_1 x_2,$$

т. е. сбрасыватель сработает (событие A), если проходящее мимо бревно включит один (x_1) датчик длины передним торцом и второй (x_2) задним торцом. В этом случае датчики на транспортере устанавливаются один от другого с таким расчетом, чтобы самые длинные бревна сбрасывались в первую очередь, затем меньшей длины и т. д. Расстояние между датчиками должно быть равно длине сбрасываемого сортимента. Действительно, если мы представим, что A (рис. 32, а) есть обмотка электромагнита, управляющая сбрасывателем, то при включении x_1 и x_2 он сработает и сортимент сбросится.

Рассмотрим упрощенный пример автоматического управления опускания балансирной пилой.

Введем обозначения:

- A — опускание балансирной пилы;
- x_1 — хлыст нажал на датчик заказанной длины сортимента;
- $\overline{x_2}$ — не работает транспортер подачи хлыста;
- $\overline{x_3}$ — не работает приемный транспортер;
- x_4 — опустился прижим для хлыста;
- x_5 — опустился прижим для сортимента;
- x_6 — нажата кнопка ручного управления для опускания пины.

