

Синтез САУ с заданными показателями качества регулирования. Методы коррекции САР. Реализация корректирующих звеньев в линейных САУ.

Автоматические регуляторы.

Классификация, законы регулирования, параметры настройки, характеристики.

Синтез системы.

Направленный расчет, имеющий конечной целью отыскание:

- 1) рациональной структуры системы и
- 2) установление оптимальных величин параметров отдельных звеньев.

При множестве возможных решений, должен быть выбран критерий оптимизации - цена, точность, надежность, быстродействие, затраты энергии ...

При инженерном синтезе
ставятся задачи:

Достижение требуемой точности.

Обеспечение приемлемого
характера переходных процессов
(задача демпфирования).

Решение первой задачи заключено в выборе средств повышающих точность системы (усилительных, изодромных блоков; каналов КУ;), т.е. фактически вида регулирования.

Решение второй задачи заключено в выборе оптимальных корректирующих средств.

Метод логарифмических амплитудных характеристик

Процесс синтеза включает в себя следующие операции:

1. Построение располагаемой ЛАЧХ исходной системы W_0 , состоящей из регулируемого объекта без регулятора и без корректирующего устройства.
2. Построение НЧ части желаемой ЛАЧХ на основе предъявленных требований точности.
3. Определение вида и параметров регулятора K, K_i, \dots :

- 4. Уточнение ВЧ части желаемой ЛАЧХ на основе требований к запасу устойчивости.
- 5. Определение вида и параметров последовательного корректирующего устройства.
- 6. Техническая реализация корректирующих устройств. В случае необходимости - перерасчет на эквивалентные параллельное звено или ОС.
- 7. Поверочный расчет и построение переходного процесса.

Корневой метод синтеза

Метод позволяет получить приемлемые динамические качества, при заданной структуре САР и заданном значении коэффициента усиления (последний член характеристического уравнения).

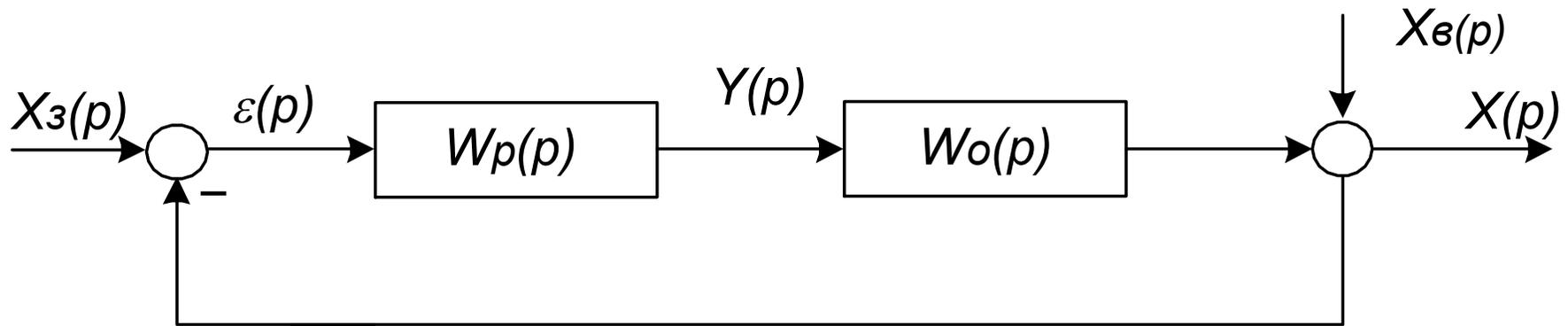
Метод корневых годографов

Метод позволяет подобрать
параметры системы по оценке их
влияния на общую картину
расположения корней замкнутой
САУ.

- Если известна ПФ замкнутой САР, то полюсы и нули (корни) всегда можно вычислить и нанести на комплексную плоскость. Если менять один из параметров системы, (K, \dots, T_1, \dots, z), то изменения в ПФ $F(s)$ приведут к смещению корней - движению по траекториям, совокупность которых называется корневым годографом. Если менять один параметр, при дискретных значениях другого, то можно оптимально выбрать значения уже 2-х параметров, оценивая семейство корневых годографов. При выборе допустимо пользоваться любой из корневых оценок качества. Наиболее эффективен метод при выборе K .

Методы коррекции САР.
Реализация корректирующих
звеньев в линейных САУ
Типовые алгоритмы
управления в линейных АСУ

***Алгоритм управления
(регулирования) в АСУ***
устанавливает связь ошибки $\varepsilon(p)$
и управляющего воздействия
 $Y(p)$,



Эта связь в типовой
одноконтурной АСУ
определяется передаточной
функцией регулятора

$$W_P(p) = \frac{Y(p)}{\varepsilon(p)}.$$

В линейных АСУ применяются следующие *типовые алгоритмы управления (регулирования):*

- *пропорциональный (П) алгоритм;*
- *интегральный (И) алгоритм;*
- *пропорционально-интегральный (ПИ) алгоритм;*
- *пропорционально-дифференциальный (ПД) алгоритм;*
- *пропорционально-дифференциально-интегральный (ПИД) алгоритм;*

Пропорциональный алгоритм регулирования (П-алгоритм).

Это простейший алгоритм, который реализуется при помощи безинерционного звена с передаточной функцией

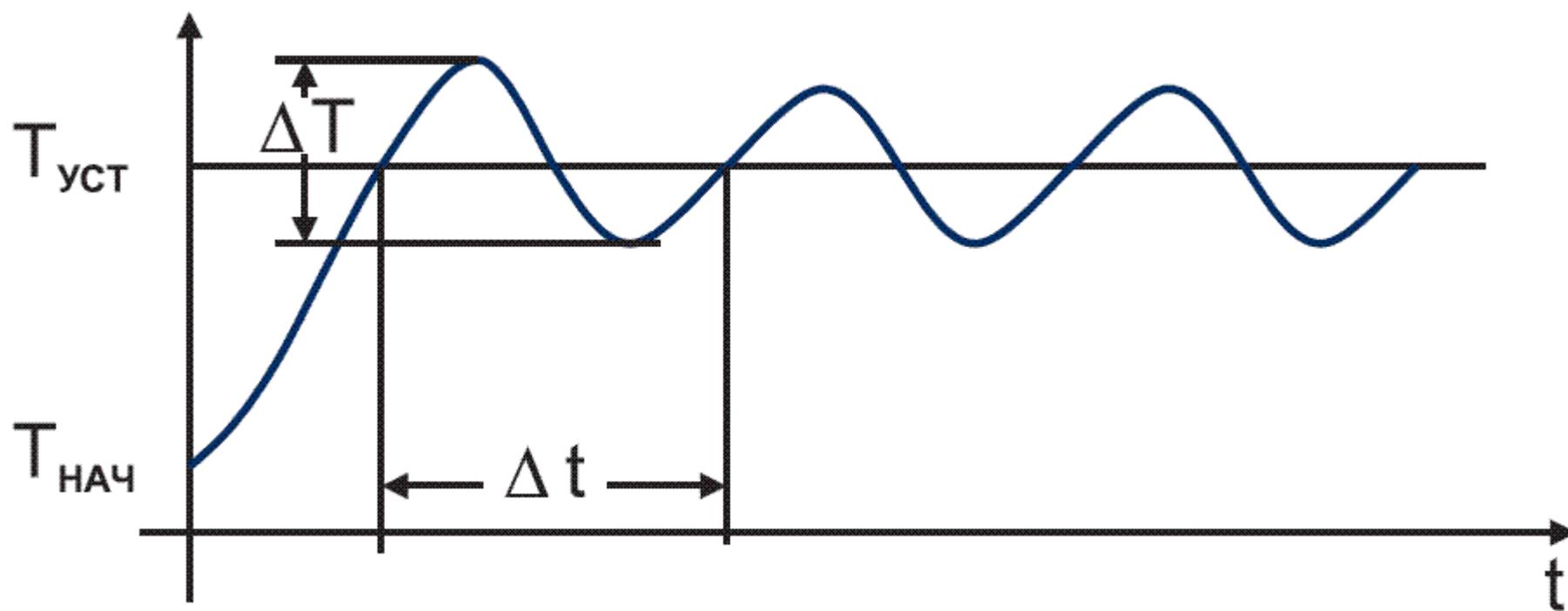
$$W_P(p) = k_P \cdot$$

Так как управляющее воздействие
пропорционально сигналу ошибки

$$Y(p) = k_{\Pi} \varepsilon(p),$$

- то и алгоритм получил название ***пропорционального***, а регулятор – ***П-регулятора***.

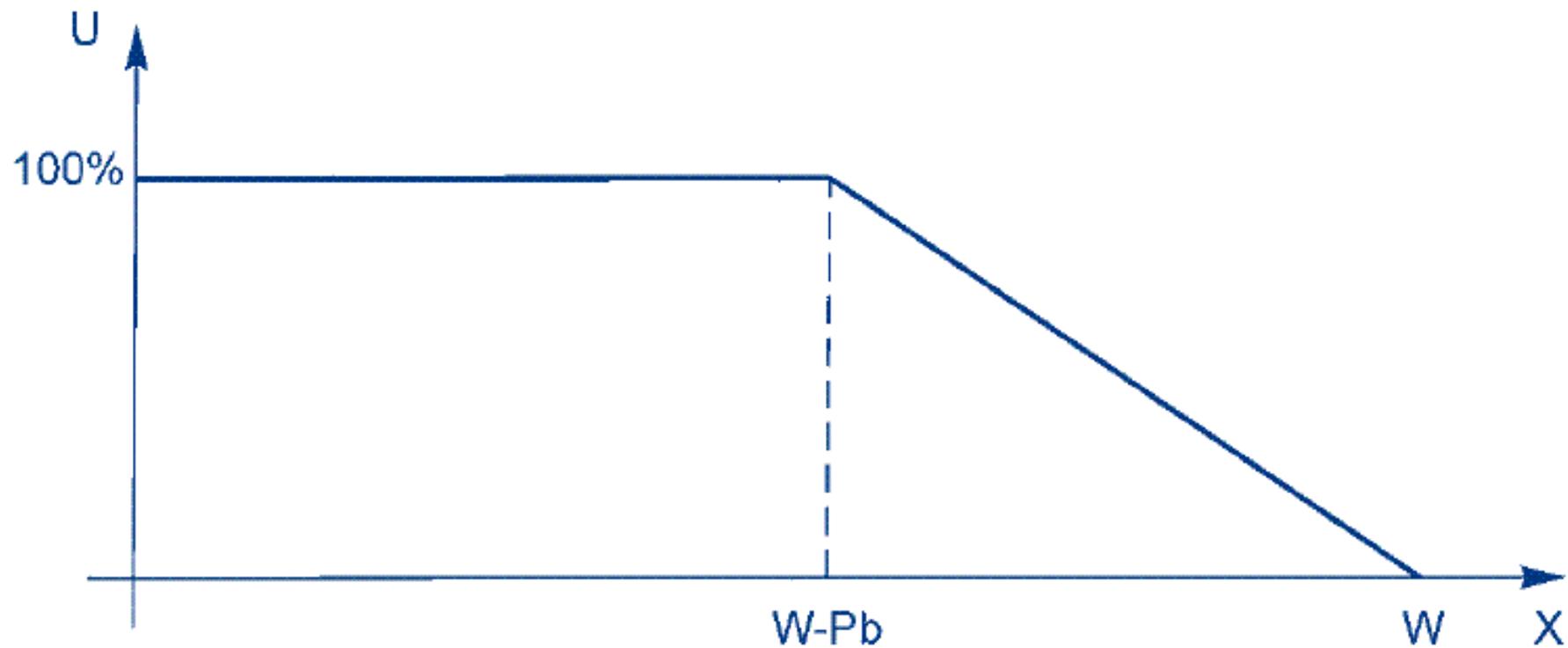
- рассмотрев график изменения параметров в системе при позиционном регулировании, можно заметить, что температура в объекте имеет подъемы выше уставки в те моменты, когда нагреватель выключен, и провалы – когда нагреватель включен.



- Это объясняется тем, что нагреватель был чрезмерно нагрет и после отключения он отдает избыток энергии объекту, что приводит к его перегреву. Во втором случае требуется некоторое время для того, чтобы нагреть сначала нагреватель, после чего он сможет передать тепло объекту. На это время в объекте наблюдается провал температуры за счет потерь в окружающую среду.

- Общий вывод заключается в том, что позиционный регулятор имеет дело с крайностями: либо полностью включает, либо полностью выключает нагрев. Иными словами, обратная связь в контуре регулирования слишком сильная и в системе возбуждаются колебания. Интуитивно понятно, что результат можно улучшить, если при подходе температуры к уставке сбрасывать мощность, подводимую к нагревателю, пропорционально рассогласованию. Этот принцип реализует пропорциональный (П) регулятор.

- В поведении системы наблюдается следующая закономерность: регулятор отключает нагрев,
- а температура в системе еще некоторое время нарастает, регулятор
- включает нагрев, а температура в системе еще некоторое время падает.
- Возникает простая идея: если выключить нагрев немного раньше, то
 - дальнейший перегрев как раз выведет температуру в объекте на нужное значениеАналогично, если включить нагрев немного раньше, то дальнейшее
- падение также приведет к нужному значению.



X – измеренная величина; W – уставка; P_b – зона пропорциональности,
 U – сигнал управление; $\varepsilon = X - W$ – сигнал рассогласования;

- Как видим, функция управления в пропорциональном регуляторе, в отличие от позиционного, имеет наклонный участок, который и обеспечивает плавное изменение мощности при подходе к установленному значению.
- Наклон функции управления, а значит, и глубина обратной связи, определяются величиной зоны пропорциональности P_b . Очевидно, позиционный регулятор является частным случаем пропорционального
 - при $P_b=0$. С увеличением P_b глубина обратной связи уменьшается и регулирование становится более мягким.

Преимущества П-регулятора – *простота и быстрое действие*,
недостатки – *ограниченная точность* (особенно при управлении объектами с большой инерционностью и запаздыванием).

Интегральный алгоритм
регулирования (И-алгоритм).
Этот алгоритм реализуется при
помощи интегрального звена с
передаточной функцией

$$W_P(p) = \frac{k_I}{p}.$$

Так как управляющее воздействие пропорционально *интегралу* сигнала ошибки

$$Y(p) = \frac{k_I}{p} \varepsilon(p),$$

- то и алгоритм получил название ***интегрального***, а регулятор ***И-регулятора***.

При интегральном алгоритме регулирования управляющее воздействие u в каждый момент времени пропорционально интегралу от сигнала ошибки ε . Поэтому И-регулятор реагирует главным образом на длительные отклонения управляемой величины x от заданного значения x_3 .

Кратковременные отклонения сглаживаются таким регулятором.

Преимущества И-регулятора –
лучшая (по сравнению с П-
регулятором) *точность в*
установившихся режимах,
недостатки – *худшие свойства в*
переходных режимах (меньшее
быстродействие и более высокая
колебательность).

**Пропорционально-
интегральный алгоритм
регулирования (ПИ-алгоритм).**

Этот алгоритм реализуется при помощи регулятора с передаточной функцией

$$W_P(p) = k_{II} + \frac{k_{И}}{p}.$$

Так как управляющее воздействие пропорционально как самому сигналу ошибки, так и его интегралу

$$Y(p) = \left(k_{\Pi} + \frac{k_{И}}{p} \right) \varepsilon(p),$$

- то алгоритм получил название **пропорционально-интегрального**, а регулятор – **ПИ-регулятора**.

Благодаря наличию интегральной составляющей в алгоритме, ПИ-регулятор обеспечивает высокую точность в установившихся режимах, а при определенном соотношении коэффициентов k_p и k_i обеспечивает хорошие показатели и в переходных режимах. Поэтому он получил наибольшее распространение в промышленной автоматике.

**Пропорционально-
дифференциальный алгоритм
регулирования (ПД-алгоритм).**

Этот алгоритм реализуется при помощи регулятора с передаточной функцией

$$W_P(p) = k_{\Pi} + k_{\text{Д}} p.$$

Так как управляющее воздействие пропорционально как самому сигналу ошибки, так и его производной

$$Y(p) = (k_{\text{п}} + k_{\text{д}} p) \varepsilon(p),$$

- то алгоритм получил название **пропорционально-дифференциального**, а регулятор – **ПД-регулятора**.

ПД-регулятор реагирует не только на величину сигнала ошибки, но и на скорость его изменения. Благодаря этому при регулировании достигается *эффект упреждения*.

Недостатком ПД-регулятора является невозможность обеспечения высокой точности регулирования.

**Пропорционально-
интегрально-
дифференциальный алгоритм
регулирования (ПИД-
алгоритм).**

Этот алгоритм реализуется при помощи регулятора с передаточной функцией

$$W_P(p) = k_{\Pi} + \frac{k_{\text{И}}}{p} + k_{\text{Д}} p.$$

Так как управляющее воздействие пропорционально как самому сигналу ошибки, так и его интегралу и производной

$$Y(p) = \left(k_{\Pi} + \frac{k_{\text{И}}}{p} + k_{\text{Д}} p \right) \varepsilon(p),$$

- то алгоритм получил название **пропорционально-интегрально-дифференциального**, а регулятор – **ПИД-регулятора**.

ПИД-алгоритм – наиболее гибкий алгоритм регулирования (в классе линейных алгоритмов).

Он сочетает в себе преимущества более простых выше рассмотренных алгоритмов.

Коэффициенты k_p , k_i , k_d ,
входящие в передаточные
функции типовых регуляторов,
подлежат настройке при наладке
АСУ и поэтому называются
настроечными параметрами.

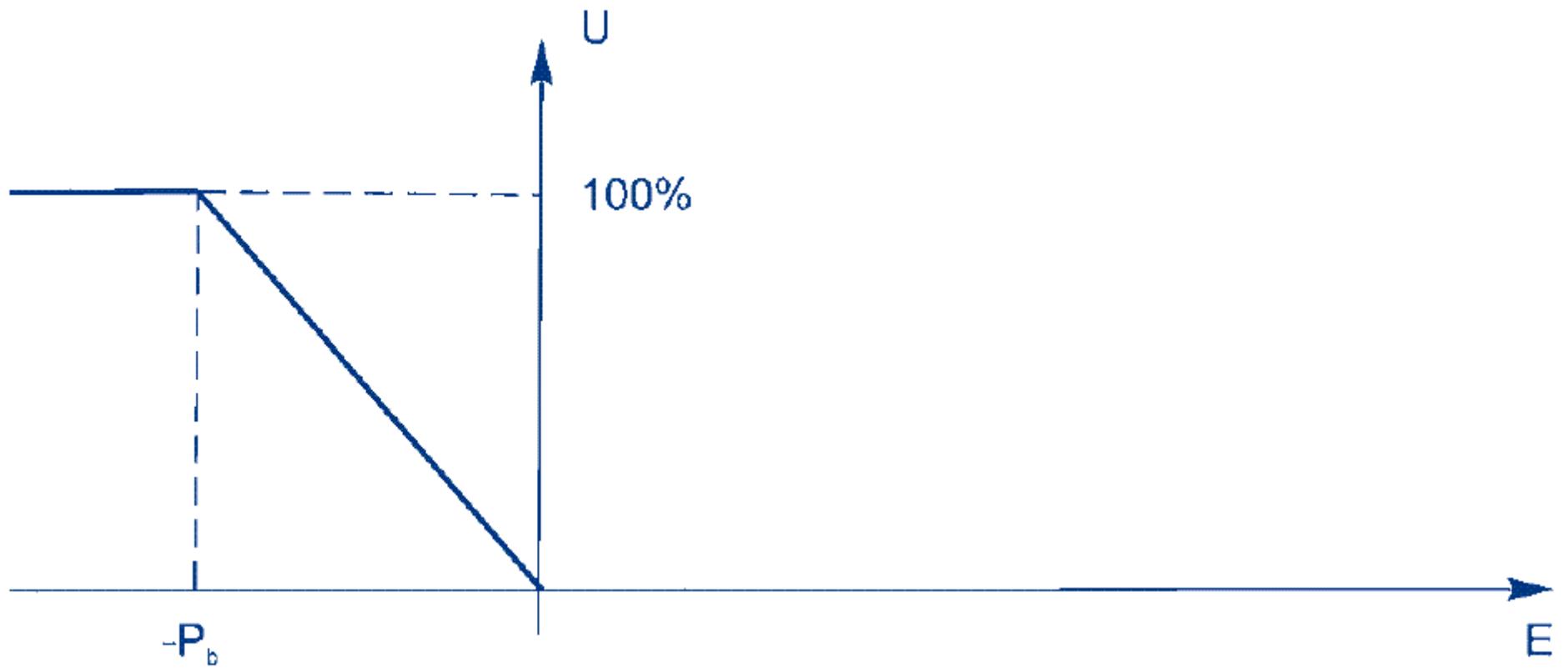
Они имеют наименования: k_P , k_I ,
 k_D - **коэффициенты**
пропорциональной,
интегральной и
дифференциальной частей
АСУ.

В классическом ПИД-регуляторе
сигнал управления **U** связан с
сигналом рассогласования **$\epsilon = X - W$**
W следующими соотношениями:

$$E(\varepsilon) = (\varepsilon \quad (\Pi)$$

$$+ \frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt \quad (\mathbb{N})$$

$$+ T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (\mathbb{D})$$



где X – измеренная величина,

W – уставка,

P_b – зона пропорциональности,

$\frac{1}{T_i} \int \varepsilon dt$ – интегральная компонента,

T_i – постоянная интегрирования,

$T_d \frac{d\varepsilon}{dt}$ – диф. компонента,

T_d – постоянная времени дифференцирования.

- Таким образом, сигнал управления при ПИД-алгоритме может
- принимать различные значения в интервале от 0% до 100%, а не
- только крайние 0% и 100% как у позиционного регулятора.

- Сигнал управления в ПИД-алгоритме формируется тремя компонентами: пропорциональной, интегральной и дифференциальной.
- Несмотря на кажущуюся математическую сложность данного алгоритма, каждая компонента имеет ясный физический смысл.

- ПИД-регулятор позволяет получить хорошее качество регулирования в системах, для которых позиционное регулирование неприменимо.
- Хорошее качество регулирования с помощью ПИД-регулятора можно получить только в том случае, если параметры регулятора соответствуют свойствам объекта, исполнительного устройства и датчика. ПИД-регулятор, в отличие от позиционного, требует настройки параметров.

- Пропорциональная компонента отвечает за наличие колебаний в системе и обуславливает остаточное рассогласование между установившейся температурой в объекте и уставкой. Зону пропорциональности следует выбирать минимально возможной, но так, чтобы в системе не было колебаний.

Интегральная компонента устраняет остаточное рассогласование. Слишком малое время интегрирования приводит к возникновению колебаний, большое – затягивает переходный процесс. Дифференциальная компонента повышает устойчивость и быстродействие регулятора. Однако, при наличии возмущений это может сопровождаться сильным маневрированием исполнительного устройства.

Интегральная компонента
устраняет остаточное
рассогласование. Слишком
малое время интегрирования
приводит к возникновению
колебаний, большое – затягивает
переходный процесс.

Дифференциальная компонента
повышает устойчивость и
быстродействие регулятора.
Однако, при наличии
возмущений это может
сопровождаться сильным
маневрированием
исполнительного устройства.

Классификация регуляторов

Автоматические регуляторы классифицируются по: назначению, принципу действия, конструктивным особенностям, виду используемой энергии, характеру изменения регулирующего воздействия и т.п.

По принципу действия они подразделяются на регуляторы прямого и непрямого действия.

Регуляторы прямого действия не используют внешнюю энергию для процессов управления, а используют энергию самого объекта управления (регулируемой среды). Примером таких регуляторов являются регуляторы давления. В автоматических регуляторах непрямого действия для его работы требуется внешний источник энергии.

- По роду действия регуляторы делятся на **непрерывные и дискретные**. Дискретные регуляторы, в свою очередь, подразделяются на релейные, цифровые и импульсные. По виду используемой энергии они **подразделяются на электрические (электронные), пневматические, гидравлические, механические и комбинированные**.
- Выбор регулятора по виду используемой энергии определяется характером объекта регулирования и особенностями автоматической системы.

- По закону регулирования они делятся на двух- и трехпозиционные регуляторы, типовые регуляторы (интегральные, пропорциональны, пропорционально-дифференциальные, пропорционально-интегральные, и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы - сокращенно И, П, ПД, ПИ и ПИД - регуляторы), регуляторы с переменной структурой, адаптивные (самонастраивающиеся) и оптимальные регуляторы. Двухпозиционные регуляторы нашли широкое распространение, благодаря своей простоте и малой стоимости.

- По назначению регуляторы подразделяются на **специализированные** (например, регуляторы уровня, давления, температуры и т.д.) и **универсальные** с нормированными входными и выходными сигналами и пригодные для управления различными параметрами.

- По виду выполняемых функций регуляторы подразделяются на регуляторы автоматической стабилизации, программные, корректирующие, регуляторы соотношения параметров и другие.

Общие сведения о промышленных системах регулирования

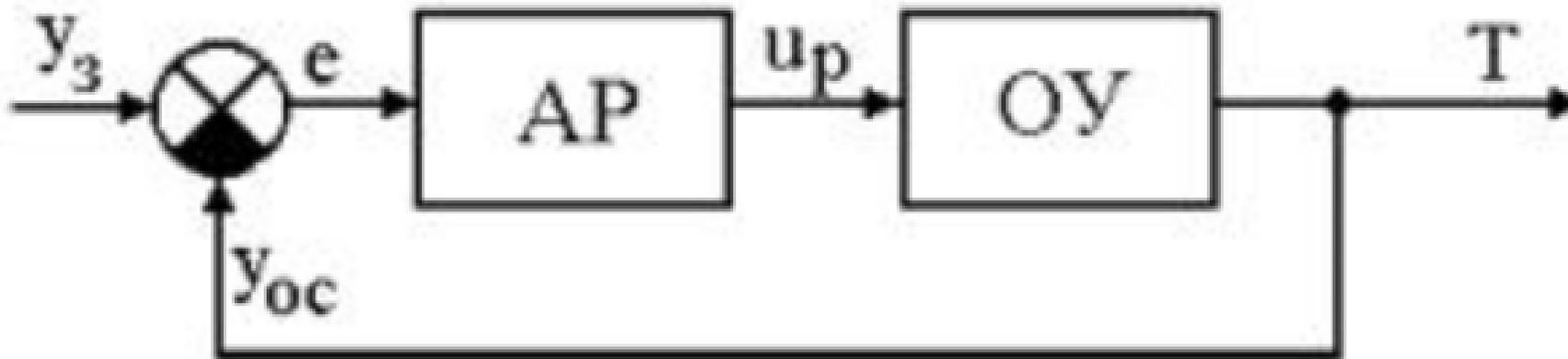
- Производственные процессы характеризуются множеством регулируемых величин: температурой, давлением, расходом, концентрацией и т. д., которые называются параметрами процесса. Чтобы технологическое оборудование работало в требуемом режиме, то есть с высоким КПД, с заданной производительностью, давало продукцию необходимого качества и работало надежно, необходимо поддерживать величины, характеризующие процесс, в большинстве случаев постоянными. Эта важнейшая задача возложена на промышленные системы автоматического регулирования и стабилизации технологических процессов.

- В современных технологических комплексах имеются сотни и тысячи контуров регулирования, от качества работы которых во многом зависит качество выдаваемой продукции.

Поэтому для большинства промышленных САР необходима достаточно высокая точность их работы

$$\pm (1 \dots 1,5\%)$$

- При этом главное назначение системы стабилизации –
- это компенсация внешних возмущающих воздействий,
- действующих на объект управления.



Расчетная схема САУ
промышленным объектом
управления.

Выбор типа регулятора

- Задача проектировщика состоит в выборе такого типа регулятора, который при минимальной стоимости и максимальной надежности обеспечивал бы заданное качество регулирования. Разработчиком могут быть выбраны релейные, непрерывные или дискретные (цифровые) типы регуляторов.

Для того, чтобы выбрать тип регулятора и определить его настройки необходимо знать

- 1. Статические и динамические характеристики объекта управления.
- 2. Требования к качеству процесса регулирования.
- 3. Показатели качества регулирования для серийных регуляторов.
- 4. Характер возмущений, действующих на процесс регулирования.

- Выбор типа регулятора обычно начинается с простейших двухпозиционных регуляторов и может заканчиваться самонастраивающимися микропроцессорными регуляторами. Заметим, что по требованиям технологического регламента многие объекты не допускают применения релейного управляющего воздействия. Рассмотрим показатели качества серийных регуляторов. В качестве серийных предполагаются непрерывные регуляторы, реализующие И, П, ПИ и ПИД - законы управления. Теоретически, с усложнением закона регулирования качество работы системы улучшается.

- Минимально возможное время регулирования для различных типов регуляторов при оптимальной их настройке определяется таблицей

Закон регулювання я	П	ПИ	ПІД
t_p / τ	6,5	12	7

- При выборе типа регулятора рекомендуется ориентироваться на величину отношения запаздывания к постоянной времени в объекте .

$$\tau / T$$

- Если

$$\tau/T < 0,2$$

- то можно выбрать релейный, непрерывный или цифровой регуляторы.

- Если ,

$$0,2 < \tau / T < 1$$

- то должен быть выбран непрерывный или цифровой, ПИ- или ПИД-регулятор.

- Если ,

$$\tau / T > 1$$

- то выбирают специальный цифровой регулятор с упредителем, который компенсирует запаздывание в контуре управления.
 - Однако этот же регулятор рекомендуется применять и при меньших отношениях .

Формульный метод определения настроек регулятора

- Метод используется для быстрой, приближенной оценки значений параметров настройки регулятора для трех видов оптимальных типовых процессов регулирования.

Метод применим как для статических объектов с самовыравниванием (таблица 1), так и для объектов без самовыравнивания (таблица 2).

Таблица 1

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20% перерегулиро- ванием	J_{\min}
И	$K_p = \frac{1}{4,5K_{oy}\tau}$	$K_p = \frac{1}{1,7K_{oy}\tau}$	$K_p = \frac{1}{1,7K_{oy}\tau}$
П	$K_p = \frac{0,3}{K_{oy} \tau/T}$	$K_p = \frac{0,7}{K_{oy} \tau/T}$	$K_p = \frac{0,9}{K_{oy} \tau/T}$
ПИ	$K_p = \frac{0,6}{K_{oy} \tau/T}$ $T_i = 0,6T$	$K_p = \frac{0,7}{K_{oy} \tau/T}$ $T_i = 0,7T$ ($T_i = \tau + 0,3T$)	$K_p = \frac{1}{K_{oy} \tau/T}$ $T_i = T$
ПИД	$K_p = \frac{0,95}{K_{oy} \tau/T}$ $T_i = 2,4\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,2}{K_{oy} \tau/T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,4}{K_{oy} \tau/T}$ $T_i = 1,3\tau$ $T_d = 0,5\tau$

где T , τ , K_p , - постоянная времени, запаздывание и коэффициент усиления объекта.

В этих формулах предполагается, что настраивается регулятор с зависимыми настройками, передаточная функция которого имеет вид:

$$W_P(p) = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$$

где K_P - коэффициент усиления регулятора,

T_i - время издрорма (постоянная интегрирования регулятора),

T_d - время предварения (постоянная дифференцирования).

Таблица 2

Регулятор	Типовой процесс регулирования		
	апериодический	с 20% перерегулиро- ванием	$\min \int_0^{\infty} e_p^2 dt$
П	$K_p = \frac{0,4}{\tau/T}$	$K_p = \frac{0,7}{\tau/T}$	
ПИ	$K_p = \frac{0,4}{\tau/T}$ $T_i = 6T$	$K_p = \frac{0,7}{\tau/T}$ $T_i = 3T$	$K_p = \frac{1}{\tau/T}$ $T_i = 4T$
ПИД	$K_p = \frac{0,6}{\tau/T}$ $T_i = 5\tau$ $T_d = 0,2\tau$	$K_p = \frac{1,1}{\tau/T}$ $T_i = 2\tau$ $T_d = 0,4\tau$	$K_p = \frac{1,4}{\tau/T}$ $T_i = 1,6\tau$ $T_d = 0,5\tau$

Оптимальная настройка регуляторов по номограммам

- В отличие от формульного метода, метод расчета по номограммам позволяет более точно определить настройки регулятора, т.к. учитывает наличие нелинейной зависимости между параметрами настройки регулятора и величиной отношения

•

$$\tau / T$$

THE END