1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Цели и задачи курса:

1. Рассмотрение свойств систем технической эксплуатации зданий как объектов управления.
2. Рассмотрение технических средств автоматики
3. Автоматизация конкретных систем инженерного оборудования зданий.

Автоматика – отрасль науки и техники, охватывающая совокупность технических средств и методов, позволяющих освободить человека от функций непосредственного управления (технологическим процессом) – объектом.

Под технологическим процессом понимается любая система инженерного оборудования.

Автоматизация – перевод систем инженерного оборудования на автоматическое или автоматизированное управление. Между этими понятиями существует разница.

Автоматическое управление – полное исключение человека из процесса управления.

Функции человека сводятся к первоначальному запуску, и профилактическому осмотру и ремонту системы. Пример – полностью автоматизированная котельная. На современном этапе более распространено автоматизированное управление, при котором человек активно вмешивается в процесс управления. Многие функции выполняются автоматически, но за человеком остается право перевода на другой режим, включения, останова, контроля и т.д.

Современный этап автоматизации может быть определен как этап автоматизированных систем управления (АСУ) , появление которых совпало с распространением новых средств вычислительной техники – программируемых, цифровых вычислительных машин (ЭВМ), новых средств полупроводниковой техники (например, интегральных схем), микропроцессорная техника.

В настоящее время широко внедряются, например, системы кондиционирования микроклимата, в котором управление ведется с помощью ЭВМ.

Например, новое здание Госстроя СССР – практически все инженерные системы управления с помощью АСУ.

1) Насосные станции
2) Водопроводные сооружения
3) Канализационные сооружения

<u>Преимущества автоматизации:</u>

1) Повышение качества функционирования систем инженерного оборудования. Например, поддержание строго заданных температурно-влажностных условий, возможное только с помощью автоматики.

2) Повышение экономичности работы систем. Особое значение приобретает этот фактор в условиях энергетического кризиса, охватывающего всю нашу планету.
3) Повышение надежности работы системы. Возможность быстрого обнаружения и ликвидации аварий. Это важнейший вопрос с точки зрения охраны окружающий среды. Правильная эксплуатация автоматизированных систем исключает выбросы с промышленных предприятий, обеспечивает эффективное сжигание топлива и т.д.

Проблемы, возникающие при автоматизации:

1) Капитальные и эксплуатационные затраты
2) Повышение квалификации обслуживающего персонала
3) Повышение количества обслуживающего персонала (не всегда)

В современных требованиях к автоматизированным системам инженерного оборудования имеется 2 противоречивых условия:

1) Простота и надежность эксплуатации
2) Высокое качество функционирования (например, качество стабилизации температуры приточного воздуха, минимум расхода энергии и т.д.)

Стремление к выполнению этих условий связаны с необходимостью отыскания компромиссного технического решения.

То есть с одной стороны надо обеспечить условия, которые закладываются, с другой – не предъявлять неоправданно высоких требований.

Расчет экономического эффекта от внедрения автоматизации проводится согласно типовым методикам, можно сказать.

$$S_{авт} = 1.4 \div 1.5\, S_{пр}$$

где

$[S_{авт}$ – стоимость автоматизации = стоимость приборов + стоимость монтажа + стоимость наладки

Срок окупаемости = 2,3 ,4 года в зависимости от сложности.

Ориентироваться на типовые решения и на отечественную серийно выпускаемую аппаратуру

Виды и уровни автоматизации.

Автоматизация может быть частичной (автоматизируются отдельные, наиболее важные параметры). Например – автоматическая защита калориметра от замерзания – на автоматитику переводится лишь несколько параметров).

Комплексная – перевод на автоматизированное управление всех параметров, кроме пуска-останова-выбора режима.

Полная – все процессы и аппараты переводятся на автоматическое управление. При этом обычно используется ЭВА и другие современные средства вычислительной техники.

Существует еще 1 схема аранжировки по сложности (снизу вверх)

Система инженерного оборудования

Классификация систем автоматического управления.

В основу можно положить многие параметры: стоимость, габариты, исполнение и т.д. Мы положим в основу понятие «информация»

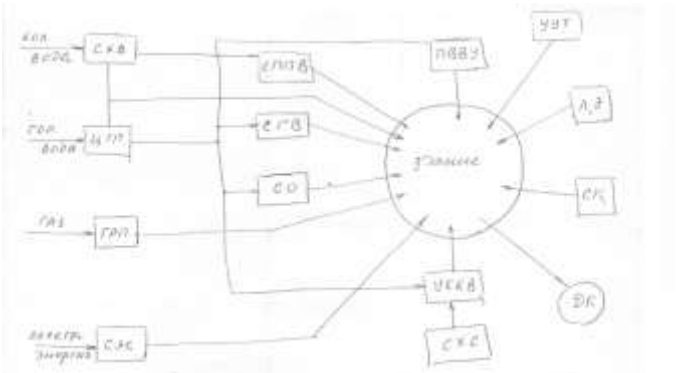
Под информацией будем понимать совокупность сведений об объекте управления (системе инженерного оборудования), управляющих устройствах и свойствах внешней среды (параметрах наружного климата).

Информация делиться на начальную (она необходима на стадии проектирования) и рабочую (необходимую на стадии эксплуатации спроектированной системы).

Начальная информация может быть полной (в распоряжении имеются все сведения) и неполной (не в полном объеме)

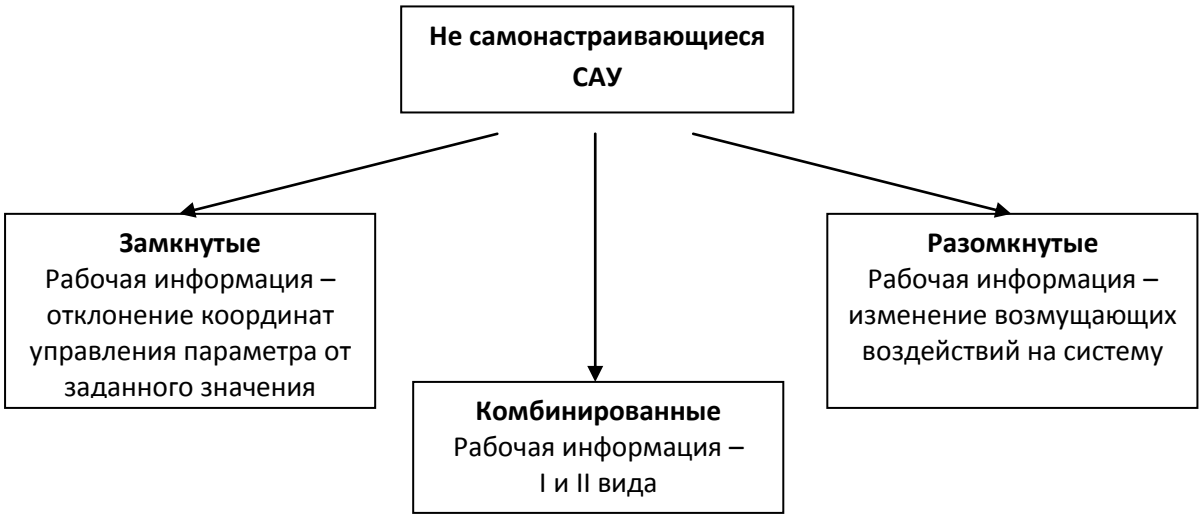
В большинстве случаев проектировщики систем инженерного оборудования располагают полной информацией. Поэтому системы автоматического управления – не самонастраивающиеся, т.е. не меняющие свои настройки в процессе работы при изменении параметров объектов или внешних условий. Только на уникальных объектах применяются самонастраивающиеся САУ (кибернетические) – их мы не будем рассматривать.

Общий вид системы инженерного оборудования жилого (общественного) здания(комплекса)



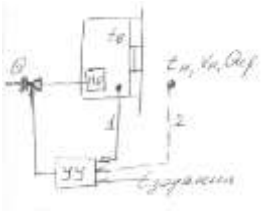
ЦТП – центральный тепловой пункт
ГПР – газорегуляторный пункт
СЭС – система электроснабжения
СХВ – система холодного водоснабжения
СГВ – система горячего водоснабжения
СППВ – система противопожарного водоснабжения
СО – система отопления
ПВВУ – приточно-вытяжные вентиляционные установки
УККВ – установки комфортного кондиционирования воздуха
СХС – система холодоснабжения
Л, Э – лифты, эскалаторы
СК – система канализации
ДК – диспетчерский контроль
УУТ – установки утилизации теплоты

Не самонастраивающиеся САУ делят на замкнутые и разомкнутые, отличающиеся характером рабочей информации.



Пример.

Помещение с окном, в котором надо поддерживать заданную температуру.



Н.П. – нагревательный прибор.

Для поддержания заданного режима температуры воздуха в помещении необходимо менять теплоотдачу Н.П. Q.

Есть два пути:

1) С помощью замкнутой САУ - измеряем t^0 внутри помещения (1)
2) С помощью разомкнутой САУ – по отклонению возмущающего воздействия ($t_н$) – датчик метео-условий – колебание температуры, давления, подвижной среды, радиации.

1 способ (замкнутая САУ) применяется, если в замкнутом помещении, ориентированном на разные стороны света, надо создать определенный режим.

2 способ (разомкнутая САУ) – группа помещений, в которых надо создать определенный режим и можно не учитывать подвижность среды (густая застройка), радиации (окна ориентированы на север), измеряем только $t_н$.

Замкнутая САУ – дорогое управление (для каждого помещения своя система).

Разомкнутая САУ – слишком грубое управление (группа помещений не учитывает условия работы в каждом помещении – свое теплопотребление, тепловыделение).

Комбинированные САУ позволяют осуществлять грубое управление режимом группы помещений с индивидуальным управлением теплоотдачей в отдельных, наиболее ответственных помещениях.

Схему системы теплогазо-холодоснабжения, вентиляции и кондиционирования можно представить состоящей из 6 групп элементов, соединенных различным образом:

1) Помещения как среда обитания, производственной деятельности человека и ведение технологического процесса
2) Тепломассобменные и смесительные аппараты (теплообменники, оросительные камеры и т.д.)

3) Трубопроводы и воздуховоды (в грунте, в канале, в атмосфере, в зависимости от этого меняются их свойства)
4) Насосные, компрессорные и вентиляционные установки.
5) Генераторы энергии (в том числе парогенераторы)
6) Узлы редуцирования и регулирования давления пара, воздуха и т.д. – заслонки, клапаны, шиберы и т.д.

Рациональное управление системами инженерного оборудования на современном уровне невозможно без знания нестационарных процессов, которые происходят в системе в целом и ее отдельных элементах.

Проектирование обычно ведется в стационарных решениях, а это крайний установившийся режимы. Трудно предсказать, как ведет себя система, допустим, через 1 час после включения при условии воздействия различных факторов.

Нестационарные режимы работы элементов систем описываются с помощью системы переменных уравнений (в том числе в частных производных).

Математический аппарат применяется для этих случаев редко, чаще пытаются рассмотреть физику процесса.

Вместо математического моделирования главным образом применяется метод натурных испытаний на существующем или подобном объекте.

Звенья системы автоматического регулирования

Всякое автоматическое устройство состоит из отдельных элементов, выполняющих самостоятельные функции. Для каждого такого элемента можно установить математическую зависимость между рядом физических величин, характеризующих протекание процесса регулирования в этом элементе. Чаще всего таких физических величин две – входная и выходная.

Внешнее воздействие называется входным воздействием или просто входом ($x_{вх}$).

Величины, характеризующие изменение состояния звена в результате воздействия, называются выходной, или выходом ($x_{вых}$). Например, звено-термопара. Внешнее воздействие – температура окружающей среды (вход); реакция-выход – $E_{ЭДС}$.

Звено – устройство любой физической природы, имеющее 1 вход, 1 выход и пропускающее сигнал только в одном направлении.

Направленность преобразований в элементах позволяют изображать звенья на функциональных схемах систем автоматического регулирования (четырехугольниками) и показывать стрелками направления происходящих в них преобразований.

Звено – резервуар с водой, x – приток воды, а y = H, внешнее воздействие - расход из резервуара.

Всякое автоматическое устройство по характеру происходящих в нем процессов можно представить состоящим из простейших составных частей-звеньев. Это позволяет составлять структурные схемы автоматических устройств.

Схема, отражающая состав звеньев (их число и след), характер связей между ними и их динамические свойства, называются структурной схемой.

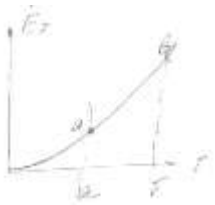
Статические характеристики звеньев

Статической характеристикой звена называется зависимость между входной и выходной величинами в различных установившихся состояниях данного звена

Математически записывается так:

$$y = f(x)$$

Обычно схематическая характеристика изображается графически.



Статическая характеристика термопары – нелинейная. Следовательно, термопара – нелинейное звено. Однако, можно выделить участок ab, на котором она линейна. Если при переходном процессе системы используется

только участок ab, тогда это звено можно считать линейным. Если вся характеристика – нелинейная.

Звено называется линейным, если его статическая характеристика выражается линейной функцией. Уравнение

$x_{вых} = a + Kx_{вх}$.

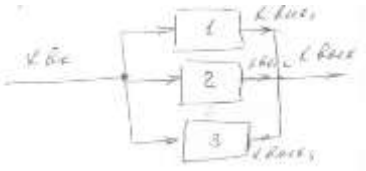
Пример: электрическая цепь с постоянным сопротивлением R.

$U = RI,$ $\quad I - x_{вх}$, $\quad U - x_{вых}$

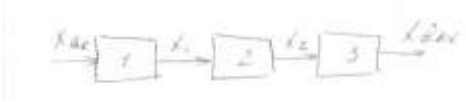
Нелинейные звенья

Релейная характеристика Гистерезисная характеристика

Звенья системы автоматического регулирования могут иметь как параллельные, так и последовательные соединения.



При параллельном соединении входная величина является общей для всех звеньев, а выходная равна алгебраической сумме выходных величин



При последовательно соединении выходная величина каждого предыдущего звена является входной каждого последующего.

Передаточные функции и частотные характеристики звеньев.

Широко используются в технике.

Понятие передаточных функций справедливо лишь для линейных звеньев и нелинейных, если их на определенном участке можно заменить линейными.

В основе лежит преобразование Лапласа-Карсона

Если имеется какая-то функция от действительной переменной t (которая называется оригиналом), то путем преобразования Лапласа-Карсона можно найти другую функцию от комплексного переменного p, которая называется изображением – F(p).

Что это дает: операции с дифференциальными уравнениями заменяются на операции с алгебраическими уравнениями.

$$f(t) \to F(p) = p\int_0^\infty c^{-pt} f(t)dt$$

Комплексное число $p = \alpha + \omega i$, где $i = \sqrt{-1}$.

Формальная комплексная переменная равна $\frac{d}{dt}$.

Пример: Имеем дифференциальное уравнение I порядка $T\frac{dy}{dt} + y = Kx,$

где y – выходная величина
x – выходная величина
K – коэффициент управления

Формально заменяем $\frac{d}{dt}$ на p.

Получаем:

$Tpy + y = Kx. \quad (Tp + 1)y = Kx$

$\frac{y}{x} = \frac{K}{Tp+1} = W(p)$ -> Эта величина – передаточная функция данного звена.
Передаточной функцией называется связь между выходом и входом данного звена в нестационарных условиях, но относительно некоторого комплексного переменного p, а не относительно переменной t.

Величина T – мера инерционности данного звена. Она называется постоянной времени, имеет размерность времени (секунды, минуты, часы), а само звено называется инерционным звеном.

Если K – коэффициент усиления в стационарном режиме, то $\frac{K}{Tp+1}$ – комплексный коэффициент усиления.

Рассмотрим частотные характеристики звена

$$p = \alpha + \omega i$$

$$W(\omega) = \frac{y}{x} = \frac{K}{T\omega i + 1}$$

Действительная часть этого выражения называется амплитудной характеристикой звена. Коэффициент при мнимой части – фазовой.

Динамические характеристики звена показывают связь между выходом и входом звена в неустановившемся нестационарном режиме.

Динамические характеристики звена можно получить тремя способами:

1. Из передаточной функции
2. Из дифференциального уравнения
3. Сняв экспериментально частотные характеристики.

Все они однозначно характеризуют частотные свойства звена.

В зависимости т вида входного воздействия можно получить так называемые временные динамические характеристики. Они представляют собой переходной процесс в звене, то есть реакцию звена на входное воздействие данного вида.

Наиболее распространенный вид входного воздействия – случайное изменение.

Все графики рассматриваются относительно условного «О» момента.

Реакция звена на это воздействие – переходный процесс.

Например – включение U на электродвигатель

$U_{вх}$ -> X -> изменяется мгновенно, скачком.

Такую характеристику для некоторых случаев получить нельзя.

Например – если рассматривать падение уровня в котле, при перекрытии вентиля поступающей воды. X = U (расход) поступающей воды практически не удается изменить скачком.

В таких случаях используются другие виды входных воздействий.

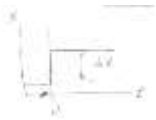
Импульсное входное воздействие

Гармоническое входное воздействие

В зависимости от переходных характеристик, все звенья делятся на 3 типа:

1. Позиционные
2. Дифференцирующие
3. Интегрирующие.

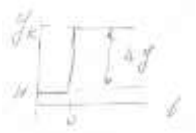
Позиционные звенья



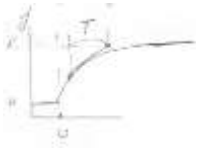
Скачкообразное входное воздействие

Все позиционные звенья имеют два состояния: начальная и конченая позиция, но переходной процесс протекает по разности.

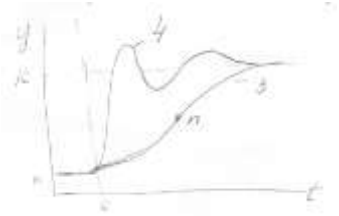
1) усилительные (безинерционные) звенья
   Выходной сигнал у без задержки повторяет входной



2) Апериодическое звено I порядка
   Переход с Н на К происходит не мгновенно, а по некоторой кривой (по экспоненте), описываемой уравнением



3) Апериодическое звено II порядка
   Скорость нарастания переменна. Сначала малая, нарастает, уменьшается (n – точка перегиба). Апериодическое звено II и более высоких порядков



4) Колебательное звено

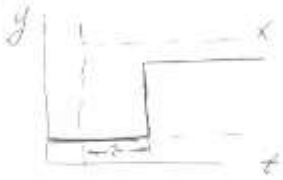
   В зависимости от соотношения $T_1 T_2(A)$ и $T_1 + T_2$(Б).

   Если А < Б – апериодическое звено

   Если А > Б – колебательное

   Чем больше А по сравнению с Б, тем больше I амплитуда

5) Звено с транспортным запаздыванием



   Выходная величина в точности повторяет входную, но смещена по времени на отрезок τ.

   Отрезок τ называется транспортным запаздыванием

   $W(p) = e^{-p\tau}$

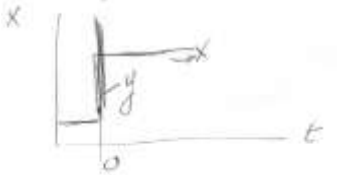
   Пример – транспортер – уголь - топка котла

6) Дифференцирующее звено

   Дифференцирующее звено выполняет операцию дифференцирования входного сигнала, то есть выходная величина y прямо пропорциональна скорости изменения входной величины $y = K\frac{dx}{dt}$ – уравнение безинерционного дифференциального звена.

   До t = 0 и после t = 0 $U_{вх}$ = const, следовательно, y = 0.

   В момент t = 0, y = ∞, y – импульс. W(p) = Kp



7) Инерционное дифференциальное звено.

   $T\frac{dy}{dt} + y = K\frac{dx}{dt}$

   $W(p) = \frac{Kp}{Tp+1}$

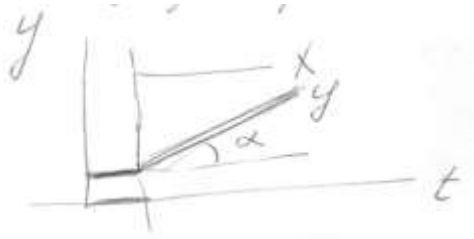
   Так как X реально меняется не скачком, имеем реальное дифференцирующее звено. Касательная в любой точке отсекает отрезок, равный T.

8) Интегрирующее звено

Выполняет операцию интегрирования или суммирования входного сигнала, то есть скорость изменения выходного сигнала пропорциональна входному сигналу

$\frac{dy}{dt} = Kx$. Уравнение интегрирующего звена: $W(p) = \frac{K}{p}$

Безинерционное интегрирующее звено.

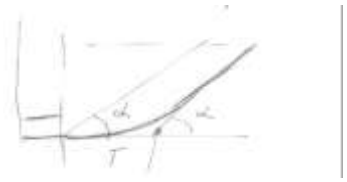


9) Инерционно интегрирующее звено

$$T\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{dy}{dt} = Kx$$

$$W(p) = \frac{K}{p(Tp+1)}$$

Графически – есть инерционная составляющая, выходной сигнал меняется с малой скоростью, потом скорость возрастает и достигает постоянного значения.



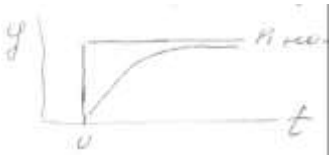
Теоретически графики звеньев 8 и 9 уходят в бесконечность.
Практически все изменения идут до предела, после которого наступает аварийная ситуация.
Например, в котел поступает вода с постоянной скоростью. Котел – интегрирующее звено. Уровень воды растет до момента, как сработает автоматическая защита.

Одно и то же техническое устройство может быть отнесено к звеньям разного типа, в зависимости от того, какая величина принимается за X и Y.
Например,

Реверсивный электродвигатель. Входной сигнал (электрическая мощность) практически изменяется скачкообразно.
Выходная величина может быть двух видов:

1. n – число оборотов
2. φ – угол поворота.

1. Двигатель приводит в действие насос. Производительность насоса определяется n об/мин. Поэтому y = n. После t=0, n изменяется 0 до $n_{ном}$ (1500 об/мин)
   Инерционное звено первого порядка. Инерционность его мала.
   Иногда считают безинерционным.



2. Двигатель открывает-закрывает ворота. y = φ (включается через редуктор)
   Выходная величина – интеграл по времени.
   Интегрирующее звено.

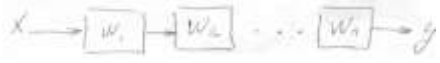
   1 – в первом приближении идеальное
   2 – реальное, учитывает инерционность

Способы соединения звеньев.

1. Последовательное
2. Параллельное
3. Встречное
4. Комбинированное (сочетание 3 видов)

Последовательное

Цепочные из n-количества звеньев, пропускающих сигнал в одном направлении



Например, измерение какого-либо параметра:

X – измеряемый параметр (температура.

W_1 – датчик Т (термопара)

W_2 - усилитель

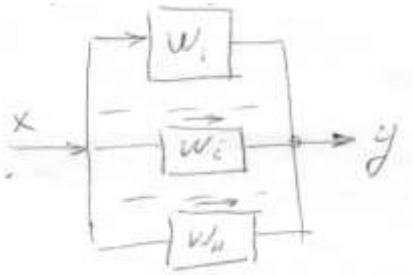
W_3 - преобразователь

W_4 - ампливольтметр

y – отклонение стрелки

Такую цепочку можно заменить одним звеном с передаточной функцией $W_{экв}$

Параллельное соединение

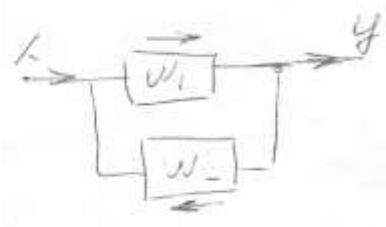


Встречное соединение
Имеется одно звено (или цепочка звеньев), пропускающая сигнал в одном направлении и имеется одно звено (или цепочка звеньев), пропускающая сигнал в обратном направлении

Условно принято:

W_1 – в прямом направлении

W_2 – в обратном направлении



По отношению к звену с передаточной функцией W_i звено с передаточной функцией W_2 называется обратной связью.

Обратная связь может быть как положительной, так и отрицательной

Если сигнал с W_2 суммируется со входным X, то обратная связь называется положительной, если вычитается, то обратная связь – отрицательная

Статические и динамические характеристики основных элементов ТГВ.

1. Помещения

По статическим характеристикам с достаточной для инженерной практики точностью их можно считать как линейные звенья. По динамическим свойствам помещения относятся к инерционным (апериодическим) звеньям с запаздыванием.

$a_{пирт}$ – теплота с приточным воздухом.

$t_в$ – температура воздуха в помещении

$$W_{пом} = \frac{K}{Tp+1} e^{-p\tau}$$

Если кривая переходного процесса получена методом натуральных испытаний, то находим точку перегиба (v_{max}), строим касательную до пересечения с новым и начальным значениями температуры и определяем τ и T. τ – емкостное запаздывание (транспортным можно пренебречь). Для небольших административных помещений (S = 15 ÷ 20м^2) температурным полем можно пренебречь и считать, что весь воздушный объем помещения сосредоточен в одной точке (так называемый объект с сосредоточенными параметрами).

В больших помещениях, промышленных зданиях, где предъявляются повышенные требования к точности поддержания температуры, необходимо учитывать температуры помещения, то есть неравномерность распределения t^0 по площади – это объекты с рассредоточенными параметрами.

Помещение является объектами с переменной инерционностью (или говорят – переменной структурой) – в другой точке касательная даст другой угол наклона – T.

Это происходит потому, что в I момент времени после изменения подачи тепла реагирует температура воздуха (как менее инерционная величина).

Далее начинается процесс теплоусваивания и теплопоглощения из воздуха конструкциями (T_2 больше T)

Для S = 20 м^2 T_1 = 10÷15 мин T_2 = 1 ÷ 2 часа !!!

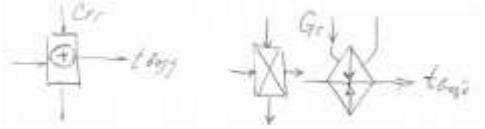
2. Тепломассообменные и смесительные аппараты

(калориметры, воздухоохладители, водяные теплообменники, оросительные камеры кондиционеров, смесительные водяные и воздушные заслонки)

Пример: статические и динамически свойства калориферов.

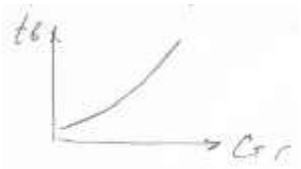
Существует два способа регулирования производительности К.

1. Качественный (по замкнутой схеме САУ) – уникальные объекты.
2. Количественные (наиболее распространенные)



По статическим характеристикам калориферы относятся к теплообменникам.

По динамическим свойствам - инерционные звенья с запаздыванием.



Особенностью калориферов и других теплообменных аппаратов: расход теплоносителя Ст изменяется во всем диапазоне 0 ÷ max. В промышленных теплообменниках Ст теплоносителя изменяется в узких пределах.

Поэтому К теплообмена в системах ТГВ является величиной переменной.

Для холодного времени – Ст max, для теплого – Ст min ($К_{разн}$)

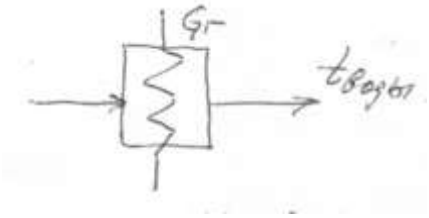
Для обычных калориферов постоянная времени T

T = 5 ÷ 10 мин

$\tau = 0.1T$ (время запаздывания)

$$W(p) = \frac{K}{Tp+1}e^{-p\tau}$$

Для водоводяных теплообменников горячего водоснабжения то же самое.



3. Емкости

(под давлением и без давления)

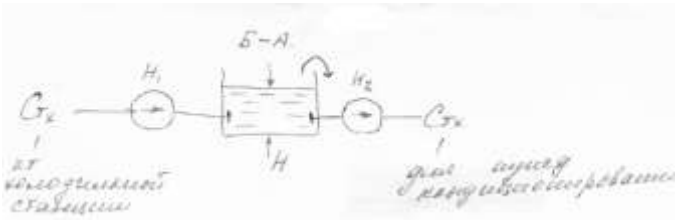
Барабаны паровых котлов

Баки – аккумуляторы холодной воды

Баки – аккумуляторы горячей воды

В отечественной практике баки в жилищном строительстве не применяются.

За рубежом, где 1-2-3-этажные здания широко применяются



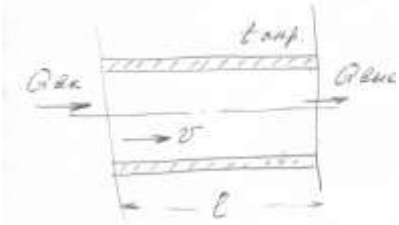
Нас интересует колебание уровня H в б. – а.

Переполнение бака – дорогостоящая вода будет входить в канализация.

Понижение меньше допустимого – H_2 остается без воды и выйдет из строя

По своим динамическим свойствам емкости являются инерционными интегрирующими звеньями.

4. <u>Трубопроводы и воздуховоды</u>



Необъемная часть системы теплоснабжения, отопления, вентиляции и предназначена для транспортирования воды, пара, воздуха.

Участок длиной l с теплоизоляцией.

Скорость движения воздуха – v

На входе количество тепла в транспортируемом потоке $Q_{вх}$.

$Q_{вых}$ – количество тепла на выходе.

Частичный расход на теплопотери через теплоизоляцию.

По динамическим свойствам трубопровода относятся к инерционным звеньям с запаздыванием (транспортным).

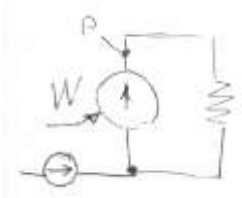
$$\tau_{тр} = \frac{l}{v}$$

Очень существенны теплоизоляционные свойства. Где лучше ставить калорифер с точки зрения управления – в т. a или в т. b?

Очевидно, в т. b, так как чем больше l, тем больше τ, тем больше $\frac{\tau}{T}$, что ухудшает качество регулирования.

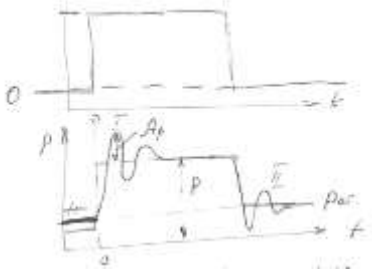
5. Система

   Рассматриваем замкнутую систему, состоящую из трубопровода и насоса.



   Как меняется давление P за насосом в зависимости от подаваемой энергии W?

   Динамические свойства системы отопления или теплоснабжения при пуске или останове сетевых (рециркуляционных) насосов.



   В установившемся режиме давление в сети определяется P статическим, которое обеспечивает подпитывающие устройства.

   В момент пуска давление меняется по закону колебательных звеньев (I закон).

   После выключения – по II закону.

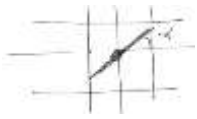
   В больших системах эта амплитуда изменения давление Ap может достигать 50% стационарного значения(Ap = 0.5Pст). Это может привести к аварии – разрыву трубопровода.

6. Узлы регулирования (регулирующие устройства, которые осуществляют операцию регулирования или дросселирования количества вещества или энергии)

   К ним относятся:

a. воздушные заслонки
b. Шиберы
c. Регулирующие клапаны и другие

   В отличие от других элементов, узлы регулирования имеют 2 статические характеристики: внутреннюю и внешнюю (рабочую)



Воздушная заслонка

α – угол поворота воздушной заслонки.

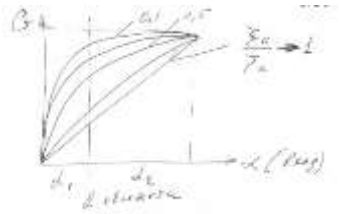
α = 0 – полностью открыта

α = 90 – полностью закрыта

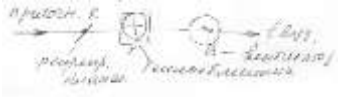
Внутренняя статическая характеристика показывает зависимость коэффициента местного сопротивления (ζ) данного регулирующего устройства от угла поворота α.

Обычно эта характеристика нелинейная. Она определяет свойства самого регулирующего устройства.

Внешняя (или рабочая) статическая характеристика показывает зависимость расхода жидкости или газа, приходящего через это устройство от угла поворота α (в данном случае) или от величины перемещения (для шибера)



Рабочая статическая характеристика определяется не только свойствами самого устройства, но и свойствами той системы, в которой это регулирующее устройство включается



Приточная вентиляционная установка

Внешняя статическая характеристика близка к линейной, если $\frac{\text{сопротивления клапана}}{\text{сопротивление всей системы}} \to 1$, то есть все падение давления сосредотачивается на клапане. С точки зрения управления линейная характеристика является идеальной. Но условие $\frac{\zeta n}{\zeta c} \to 1$ практически невыполнимо. Степень линейности зависит от $\frac{\zeta n}{\zeta c}$.

Практический вывод: при небольших α Ст меняется быстро, дальнейшее увеличение α немного меняет Ст.

Для расширения области регулирования используются 2 способа:

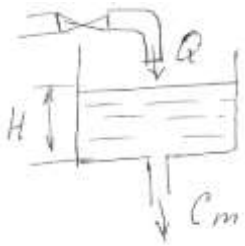
1. Внутреннюю характеристику изменяют таким образом, чтобы величина стала более линейной (это делают налаживанием).
2. В автоматической системе поворот α осуществляется с помощью электродвигателя. Для получения более линейной характеристики между

электродвигателем и регулировочным органом ставится «механизм сочленения», имеющий такую характеристику, которая необходима.

Наличие механизма сочленения усложняет конструкцию, но он позволяет линеаризировать внешнюю характеристику.
По динамическим свойствам регулирующие устройства относятся к безинерционным звеньям.

Основы автоматического регулирования.

Автоматическим регулированием называется поддержание постоянной некоторой заданной величины, характеризующей процесс или изменение ее по заданному закону, осуществляемое с помощью измерения состояния объекта или действующих на него возмущений и воздействия на регулирующий орган объекта. Системой автоматического регулирования называется динамическая система, состоящая из объекта регулирования и управляющего устройства (автоматического регулятора).
Например, САР уровня воды в резервуаре.

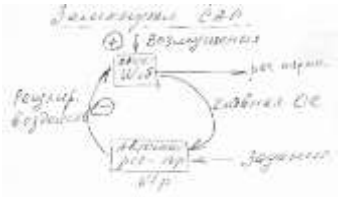


Выходная величина – y -> уровень воды в резервуаре H
Управляющее воздействие – x -> приток воды в резервуар Q
Внешнее воздействие – расход воды из резервуара $C_т$. Регулятор не указан.
В зависимости от получаемой АР информации САР делятся на замкнутые и разомкнутые.

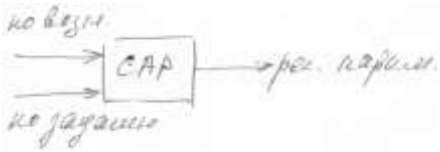
H – регулируемый уровень воды
H_0 – заданный уровень.

Регулирование уравнения производится изменением притока воды в резервуар Q.
Расход воды $C_т$ – внешнее возмущение.
Регулятор системы состоит из измерительного элемента (поплавковый измеритель уровня), преобразователя элемента (не указан), регулирующего устройства, вырабатывающего сигнал $X = H_0 – H$ и формирующего выходной сигнал, поступающего на усилительный и исполнительный механизм.
В качестве исполнительного механизма в системе используется электрический двигатель, который воздействует на регулирующий орган – клапан, изменяющий скорость притока воды в резервуар.
С точки зрения разбивки системы на типовые звенья:
Объект регулирования - интегрирующее звено
Измерительное устройство – безинерционное звено (усилитель).
Исполнительный элемент – интегрирующее звено

Системы автоматического регулирования замкнутые, разомкнутые и комбинированные.
Автоматическое регулирование осуществляется регулирующим воздействием на объект (прямая связь)



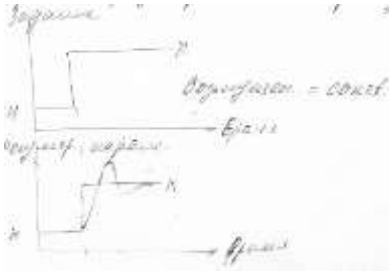
В замкнутой САР объект воздействует на регулятор (то есть осуществляется обратная связь между объектом и регулятором – главная обратная связь)
Для того, чтобы осуществлять регулирование, надо иметь задание на него. Если задание постоянно, то система стабилизации. Если переменно – САР программного регулирования. На объект действуют возмущения. Если они со знаком «+», то регулятор выдает сигнал со знаком «–», относительно объекта регулятор включается как отрицательная ОС.
Такую систему можно заменить 1 звеном с 1 выходом (регулируемый параметр) и 2 входами (по возмущению и по зданию).



Задание и возмущение приложены к различным частям системы, поэтому в одной и той же САР процессы регулирования при изменении задания и возмущения различны.

1) Процесс регулирования при изменении задания.

Каждое устройство имеет датчик – дали скачкообразное приращение.
Любая кривая может быть переходом от начального состояния к конечному

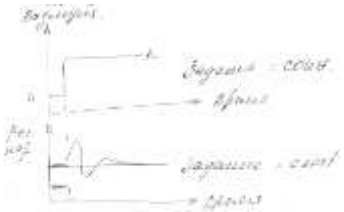


Если $\left.\begin{matrix} W_{об} \\ W_р \end{matrix}\right\}$ – передаточная функция, то при уменьшении задания

$$W_{САР} = \frac{W_р W_{об}}{1 + W_р W_{об}}$$

Вывод:
Если известны свойства объекта и имеется конкретный регулятор, то можно определить свойства системы (самая сложная задача)

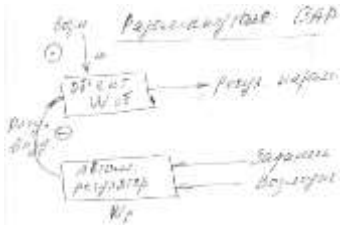
2) Процесс регулирования при изменении возмущения (при эксплуатации)



Самая сложная задача – скачкообразное изменение возмущения
Примерный вид процесса регулирования при изменении возмущений

$$W_{САР} = \frac{W_{об}}{1 + W_р W_{об}}$$

Разомкнутые САР



Для работы регулятор получает информацию не о состоянии объекта, а о возмущающих воздействиях
Например, ТЭЦ обслуживает группу зданий.
В разомкнутых САР отпуск тепла производится регулятором не по температуре в помещении, а по заданию оператора, исходя из погодных условий.
Принципиальное отличие замкнутых от разомкнутых САР в наличии или отсутствии главной ОС между объектом и регулятором.

3) Комбинированные САР.

Тот же пример с ТЭЦ:
Регулируемый параметр – температура горячей воды в системе отопления
Регулятор получает данные о t° воздуха в помещении и о t° наружного воздуха.

Требования к системе автоматического регулирования
Эти требования формулирует разработчик, согласовывая их с отделом автоматики.

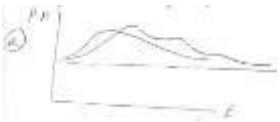
1) САР должна быть устойчивой.
   Под устойчивостью САР понимается способность системы возвращать регулируемый параметр к заданному значению при заранее известных изменениях возмущающих воздействий.
   Если возмущения окажутся больше заданных величин, то САР может оказаться неработоспособной (выйти за пределы устойчивости)
   Если открыть все окна в мороз, то температура в помещении все равно будет падать, несмотря на регулятор.
2) Статическая точность.
   Статическая точность работы САР определяется погрешностью регулирования в установившемся (стационарном) режиме и показывает степень соответствия текущего значения регулируемого параметра заданному.
   В помещении надо поддерживать $t°_{\text{воздуха}} = 20\ °C = 2\ °C$.
   ±2 °C – ошибка регулирования

3) Динамическая точность.
   Оценивается величиной динамической ошибки в нестационарном режиме.
   Это степень соответствия текущего значения заданному в неустановившемся режиме.
   В некоторых случаях это несоответствие не велико – повышения температуры в аудитории на несколько градусов, когда она наполняется утром студентами.

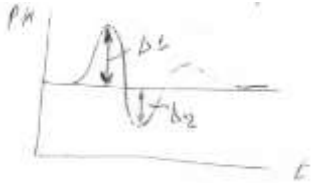
Но повышение давления газа в газовой горелке, даже кратковременное, может привести к аварии или срабатыванию защитной системы.
В таких случаях динамическую ошибку нужно оговаривать в задании.

4) Время регулирования.
Рассматриваем случай больших, но медленных возмущений.
Время регулирования – отрезок времени от момента подачи возмущения до момента, когда САР придет в новое установившееся состояние.
Время регулирования определяет проектировщик, исходя из технологических условий САР.
Например, система вентиляции в цехе – нет жестких требований. А в случае регулирования уровня в барабане котла нужна система с определенным быстродействием. Время регулирования определяется в [сек, мин]
5) Колебательные системы
Эта характеристика оценивается величиной перегруппирования. Процесс регулирования может быть апериодическим.
Р.п. – Регулирующий параметр.

а) Это «Нулевое перегруппирование »



б) С 20% перегруппированием



Δ_1 – максимальное отклонение (динамическая ошибка)

$$\frac{\Delta_2}{\Delta_1} * 100\% = \delta = 20\%$$

δ – показатель бесполезной работы приборы

в) с 45% перерегулированием

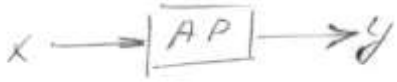
Колебательность процесса $\delta = \frac{\Delta_2}{\Delta_1} * 100\% = 45\%$

Дальнейшее увеличение δ не допускается, так как в условиях эксплуатации САР это может привести к потере устойчивости системы.

По возможности стараются избегать колебательности.

Законы регулирования автоматических регуляторов

Закон регулирования показывает связь между входом (x) и выходом (y) автоматического регулятора без учета инерционных свойств этого регулятора.



По характеру изменения управляющего сигнала АР делятся на непрерывные и прерывистые

1) Прерывистые делятся на
a. Релейные (2х и 3х позиционные)
b. Импульсные
c. Цифровые

Конструктивно наиболее просты релейные регуляторы, при непрерывном изменении x их выходная величина y принимает одно из фиксированных значений.

В импульсных и цифровых регуляторах входной сигнал представляют рядом дискретных значений. Полученная последовательность перерабатывается в управляющее воздействие того или иного вида.

2) Непрерывные:
a. Пропорциональные П-регуляторы
b. Интегральные И-регуляторы
c. Пропорционально-интегральные ПИ-регуляторы
d. Пропорционально-интегрально-дифференциальные ПИД-регуляторы

До рассмотрения законов регулирования ориентировочно об области применения регулятора. Это зависит от свойств объекта.

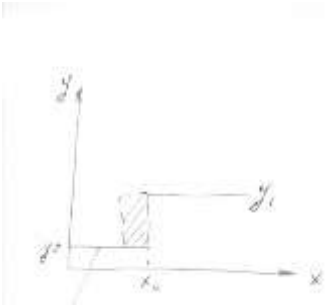
Например, динамические свойства помещения, в котором происходят тепловые процессы !!!

Если $\frac{\tau}{T} < 0.1$ (объект с малым запаздыванием) – целесообразно применение позиционных регуляторов

Если $\frac{\tau}{T} < 1$ – непрерывные регуляторы

Если $\frac{\tau}{T} > 1$ - импульсные регуляторы – в системах вентиляции, кондиционирования

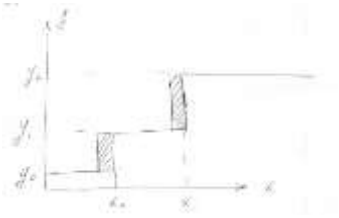
2х и 3х позиционные регуляторы



Выходная величина у занимает 2 позиции – y_0 и у, открыто-закрыто, 0-1. Работает как обычное релейное. Вместо «двухпозиционный регулятор» говорят «реле».

Идеальная статическая характеристика двухпозиционного регулятора. В реальном режиме каждое реле имеет зону возврата (зона неравномерности двухпозиционного реле). Чем она больше, тем хуже будет работать регулятора.

По аналогии можно представить трехпозиционный регулятор.



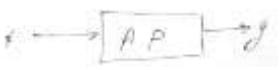
Для реальных реле на статической характеристике отметим зону неравномерности

Пример: работа электронагревателя (электронного калорифера) – полностью выключено – включено на 50% - включено на 100%.

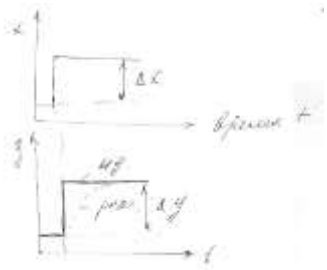
По аналогии можно представить работу 5-7 и так далее позиционного регулятора. При увеличении количество позиций регулятора придем к непрерывным регуляторам.

Законы регулирования непрерывных регуляторов.

Их удобно рассматривать на временных динамических характеристиках



1. П-регулятор, пропорциональный регулятор.



Позволяют устойчиво управлять работой значительного числа различных объектов. Уравнение также определяет закон регулирования.

$y = Kx$

Могут быть еще добавлены члены, устанавливающие инерционность.

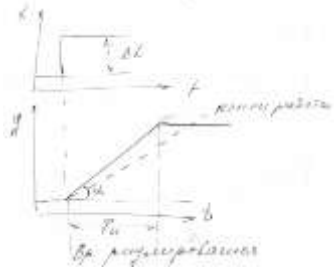
К – коэффициент усиления (коэффициент пропорциональности)

К – элемент настройки данного регулятора

$W(p) = K$ - передаточная функция.

Чем больше К, тем больше Δу. П-регулятор называется еще статическим. В установившемся режиме обязательно существует статическая ошибка регулирования (отношение разности установившегося значения регулируемой величины при минимальном и максимальном напряжении к среднему значению)

2. И-регулятор, интегральный регулятор, астатический.



$\frac{dy}{dt} = Kx$ - закон регулирования

$W(p) = \frac{K}{p} = \frac{1}{T_n p}$

$K = \frac{1}{T_n}$ – Элемент настройки T_n (вместо К)

$y = K\int x(t)dt = \frac{1}{T_n}\int x(t)dt$

$tg\,\alpha = K;\ T_n = \frac{1}{K}$

Реальная характеристика обозначена пунктиром

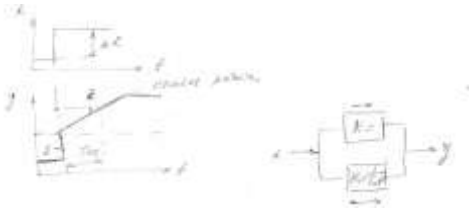
1) За счет собственных инерционных свойств.

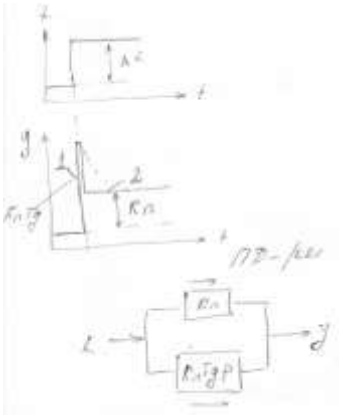
2) Выходной сигнал не идет в бесконечность (например – открыв полностью заслонку, остановив)

И-регулятор производит перемещение пропорционально интегралу от отклонения регулируемой величины со скоростью, пропорционально отклонению до тех пор, пока регулируемая величина не примет заданного значения.

И-регулятор не обладает статической ошибкой.

Не всегда устойчиво работает с объектами с большим самовыравниванием

3. ПИ-регулятор, пропорционально-интегральный регулятор, астатический
   Сочетает свойства пропорционального и интегрального регуляторов.
   $$y = K_{\text{п}}x + K_{\text{п}}\frac{1}{\text{T}_{\text{и}}}\int x(t)dt$$
   $$W(p) = K_{\text{п}} + K_{\text{п}}\frac{1}{T_{\text{и}}p}$$
   
   Состоит из двух элементов, параллельно соединенных: интегральное + пропорциональное.
   ПИ-регулятор имеет два элемента настройки: $К_{п}$ + $Т_{и}$
   1 – пропорциональная часть
   2 – интегральная
   ПИ-регулятор относится к астатическим, то есть в его составе есть интегрирующая составляющая. Иногда его называют изодромным регулятором.
   Время изодрома – отрезок времени, в течение которого его выходной сигнал удвоится
4. ПД-регулятор, пропорционально-дифференциальный



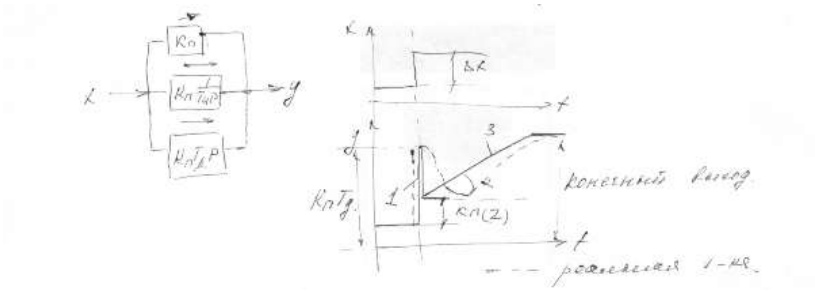
$y = К_п x + К_п Т_д \frac{dx}{dt}$

$W(p) = К_п + К_п Т_д p$

При инженерных расчетах подбирают
$К_п$ и $Т_д$.
1 – дифференциальная часть
2 – пропорциональная часть
ПД-регулятор – два параллельно соединенных звена

5. ПИД-регулятор, пропорционально-интегрально-дифференциальный

$y = К_п x + К_п \frac{1}{Т_и} \int x(t)dt + К_п Т_д \frac{dx}{dt}$



Три составляющие
1) Дифференциальная составляющая $К_п Т_д$
2) Пропорциональная составляющая $К_п$
3) Интегральная составляющая $К_п \frac{1}{Т_и}$ $(tg\,\alpha = К = \frac{1}{Т_н})$

Реальный регулятор имеет ограничение по времени

Импульсные регуляторы.

(наиболее применимые в стройиндустрии).

В общем случае можно представить состоящими из двух частей – непрерывной части и импульсного элемента.

y_1 – промежуточный сигнал

Представим, что x меняется по произвольному закону. Тогда y_1 тоже меняется по произвольному закону.

Задача ИЭ - непрерывный сигнал y_1 преобразовать в импульсный сигнал y, причем в зависимости от типа ИЭ, это может быть сигнал:

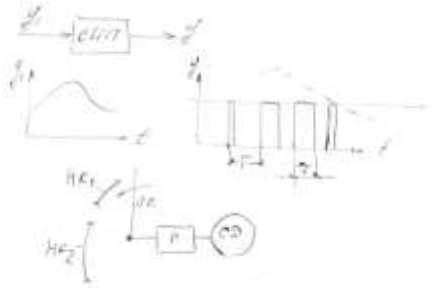
1. С переменной амплитудой
2. С переменным периодом
3. С переменной частотой.

На графике переменная A, const T.

СИП

В стройиндустрии большое распространение получили импульсные регуляторы, в которых в качестве ИЭ применяются СИП (ступенчатый импульсный прерыватель).

Он преобразует непрерывный сигнал y_1 в импульсный сигнал y с постоянной амплитудой, постоянным периодом и переменной длительностью импульсов.



A = const

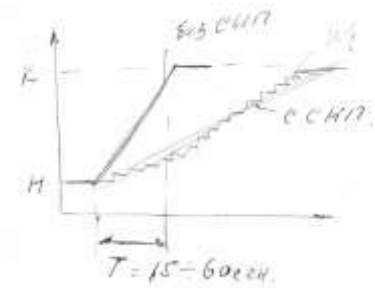
T = const

$\tau = v_{ar}$

Синхронный двигатель CD вращает подвижный контакт ПК через редуктор, проходя неподвижные контакты НК различной длины.

Длина НК пропорциональна τ.

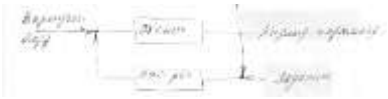
Задача регулятора – перевести регулирующий орган (заслонка) из одного начального положения во второе конечное.



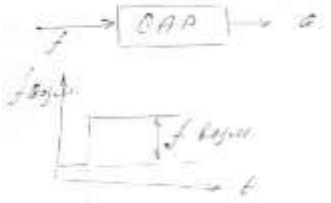
Если это выполнять без СИП, то операция осуществляется за очень малый отрезок времени (15÷60 секунд). Если так быстро закрыть заслонку, то качество регулирования невысокое, так как желательно растянуть во времени это регулирующее воздействие (≈до 600 секунд).
За СИП следует регулирующий орган, который перемещается скачками.
Длительность процесса можно растянуть в 100 раз.

Примерный вид процессов регулирования в САР с различными регуляторами.

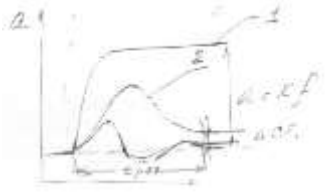
Рассмотрим систему:



будет считать, что объект устойчивый, то есть относится к позиционным или колебательным звеньям. САР имеет один вход и два выхода.
Рассмотрим систему при изменении возмущения, а задание остается постоянным.
Рассмотрим систему автоматического регулирования
Самый сложный, невыгодный случай – скачкообразное изменение f. f – предварительно определена в расчетах.



Допустим, объект без регулятора. f – тепловыделение. Включили нагреватель – задали скачок. a = kf. Объект сам установился, но a > нормы. (допустим, что надо a = 1°C, а в объекте a = 10°C).



1 кривая – без регулятора.

2 – включили П-регулятор

а – стремится к новому значению, имеется динамическая ошибка, в результате – установится Δст.

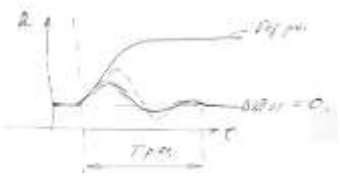
Применение П-регулятора дает минимальное время регулирования.

Динамическую и статическую ошибку можно уменьшить, увеличивая К усиления (при этом увеличивается колебательность).

При дальнейшем увеличении $К_{ус}$, САР может потерять устойчивость.

Область применения П-регулятора: Там, где требуется Т регулятор минимума и допускаются статическая и динамическая погрешность

К этому же объекту подключили И-регулятор. Настройка: $\frac{1}{Т_н}$



1) Большая динамическая ошибка
2) Большее Т регулирования
3) Статическая ошибка теоретически равна нулю.

Область применения И-регулятора:

Там, где $Δа_{ст}$ должна быть минимальной (теоретически = 0), допускается большая динамическая ошибка, не предъявляется высоких требований к $Т_{рег}$.

Увеличение $К_и$ ведет к колебательному режиму, большей $Δа_{ст}$. Уменьшение – к апериодическому процессу с большим $Т_{рег}$.

1. ПИ-регулятор . (на том графике)

   Сочетает достоинства П и И-регуляторов: минимальные $Т_{рег}$ и $Δа_{ст}$

   Область применения: там, где требуется min Т (больше, чем у П-регулятора) и min $Δа_{ст}$.

   Все 3 регулятора имеют большую динамическую ошибку, так как процесс начинается при наличии ошибки. С целью уменьшения динамической ошибки применяются ПД или ПИД-регуляторы.

2. ПД-регулятор.

   Достоинства:

   П – min $Т_{рег}$

   Д – дифференциальная составляющая, реагирует на скорость отклонения

На начальном участке в I момент наибольшая скорость изменения параметра.
Область применения ПД-регулятора: где требуется min $T_{рег}$ и уменьшение динамического отклонения.

3. ПИД-регулятор.
   Статическая ошибка, динамическая ошибка, $T_{рег}$ - минимальны.
   Применяется при наиболее жестких требованиях.
   Возможный процесс в системе с ПИД регулятором

Примерный вид процесса регулирования в системе с двухпозиционным регулятором.

Процесс регулирования с системе с 2 или 3 позициями регулирования характеризуется наличием автоколебаний (включен холодильник – температура понизилась, выключен – температура повысилась). Процесс характеризуется Т (периодом) и А (амплитудой).
Если заданные требования не обеспечиваются ни одним регулятором, то переходят к счетчикам каскадного регулирования.

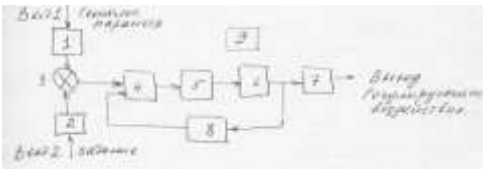
Функциональная схема каскадной САР.

Объект делим на две составляющие.
Схема управления состоит из двух регуляторов: регулятор 1 и регулятор 2.
Выходом регулятора 1 является меняющимся заданием регулятора 2.
Регулятор 1 обеспечивает ПИ (если нужно, ПИД) закон
Регулятор 2 – П-закон регулирования.
Качество регулирования на порядок выше, чем у одно-каскадной САР.

Конструктивные элементы автоматических регуляторов.

Автоматические регуляторы бывают электрические, пневматические, гидравлические, комбинированные.

Функциональная схема автоматического регулятора.



Промышленные регуляторы выпускаются в виде единого устройства, либо отдельно по элементам.

1 – датчик, воспринимающий фактическое значение технологического параметра. Он также преобразует его в какую-то величину, которая сравнивается с заданием.

2 – задающее устройство

3 – схема сравнения. Если сигналы не равны, их разность подается на блок 4.

4 – усилительно-преобразующий блок.

5 – промежуточный блок (реле различного типа, СИП в том числе).

6 – исполнительный механизм, то силовое устройство, которое приводит в действие блок 7.

7 – регулирующий орган (воздействие заслонки, шибер)

8 – блок обратной связи (или блок местной ОС). СЛ положительный и отрицательный (положительный – увеличение $К_{усил}$, отрицательный – улучшает характеристики, качество регулирования).

9 – блок питания

Данная схема предусматривает регулирование одного параметра, но может применяться и для нескольких параметров, или нескольких датчиков и нескольких задачтиков.

Регуляторы, не использующие посторонних, внешних источников питания, называются регуляторами прямого действия. Если требуется внешний источник – непрямого действия. Комбинированные регуляторы применяются в тех случаях, когда получить большое усиление (шибер в котельной – требует большой мощности двигателя, его можно заменить гидравлическим). Но всю систему неудобно делать гидравлической из-за малого быстродействия.

Датчик и регулирующий орган относят к объекту.

Закон регулирования формируется в блоках 4,5,6,8.

1, 2, 3 – измерительная часть схемы.

6,7 – исполнительная часть схемы.

Все остальное – регулирующая часть.

Датчики.

В качестве датчиков используются те же устройства, что рассматривались в разделе КИП.

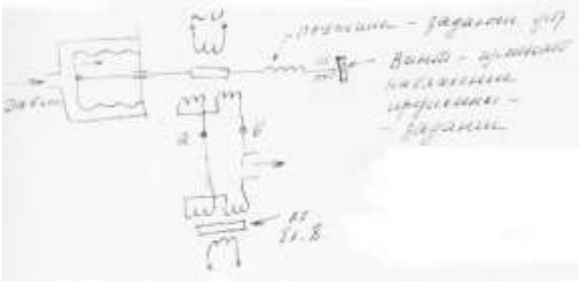
Задающее устройство.

Применятся либо стабилизирующие (заданные = const), либо программные (более сложные).

Стабилизаторы – резисторы (электрическое сопротивление), пружины.

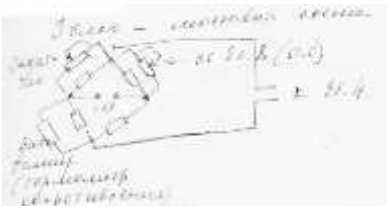
Сравнение – те же устройств, что рассматривали раньше.

Пример 1.



Измерительная часть – регулятора давления – сильфонный датчик давления, дифференциальный трансформатор.

Пример 2.



Измерительная часть электронного регулятора температуры.

В качестве задающего устройства: параллельно любому сопротивления еще 1.

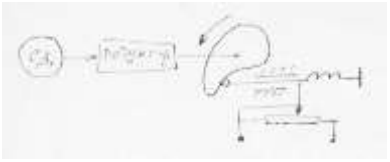
Программный датчик

Задает характер измерения параметра во времени. Чаще всего программы имеют суточный цикл (например, t отопляемого помещения: днем – выше, ночью – ниже).

Таким образом, необходимы часы. ИХ можно заменить синхронным двигателем.

Он соединен с редуктором: например, 1 оборот в сутки, затем профилированный диск, обеспечивающий программу.

По профилированному диску катится колесиков. С тягой связан ползунок реостата.

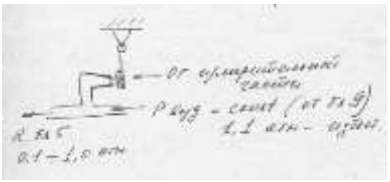


Блок 4. Усилитель-преобразователь.

В качестве усилителя-преобразователя используются:

1. Электронные усилители – ламповые, так называемый усилитель постоянного тока, переменного тока
2. Магнитные
3. В пневматическом – пневматический.
4. В гидравлическом – гидравлический.

Пример. Принцип работы пневматического усилителя (он же является и преобразователем).



Переменные сопротивления сопла за счет заслонки.

Количество воздуха, частично срасываемого в атмосферу, зависит от положения заслонки. Она перемещается от блока 3 (измерительная часть регулятора). Давление к блоку 5 уже переменное (0.1 ÷ 1.0 атмосферы).

Усилитель – так как небольшое усилие на перемещение заслонки приводит к большому усилению Р воздуха.

Преобразователь – так как механическое усилие от перемещения заслонки преобразуется в усилие сжатого воздуха

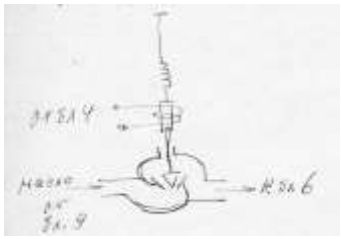
Блок 5.

Обычное электрическое реле.

Ступенчато-импульсный прерыватель.

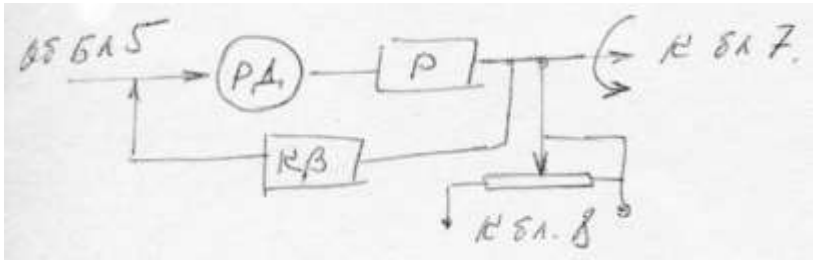
Электро-пневматическое или электро-гидравлическое реле.

Пример



Блок 6. Исполнительные механизмы.

Силовое устройство, приводит в действие регулирующий орган. Используются реверсивные электродвигатели постоянной или переменной скорости вращению (чаще всего переменной Т с постоянной $v_{вр}$).



РД и Р малой мощности, если управления клапаном. Большой мощности, если треубется управление объектом мощным (ворота, фримуса)

В схему обязательно должны входить концевые выключатели (заслонка открыта-закрыта).

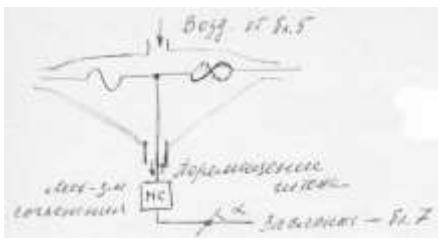
В схему может входить и элементы обратной связи – ползунка-реостата.

В + исполнительных элементах предусмотрена возможность перехода на ручное управление (при выходе из строя какой-либо части).

В гидравлических регуляторах применяются гидроцилиндр)

В пневматических – мембранные исполнительные элементы.

Мембранные исполнительные элементы.



Более мощное устройство, чем датчики.

Блоки обратной связи.

1. Чаще всего блок отрицательной обратной связи.
2. Блоки ООС могут быть жесткими и гибкими.

x – вход на БОС

y – выход на БОС

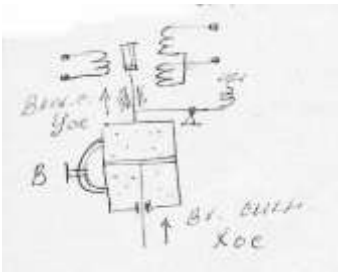
$y_{oc} = Kx_{oc}$

$y_{oc} = K\frac{dx_{oc}}{dt}$

Устройства ОС могут быть простейшими (элементы исполнительного механизма – реостат обратной связи).

Пример – устройство ОС – гидравлический регулятор. Устройство обеспечивает возможность перехода на жесткую и гибкую ОС.

Устройство механическое.



Цилиндр, заполненный рабочей жидкостью (маслом), практически несжимаемой.

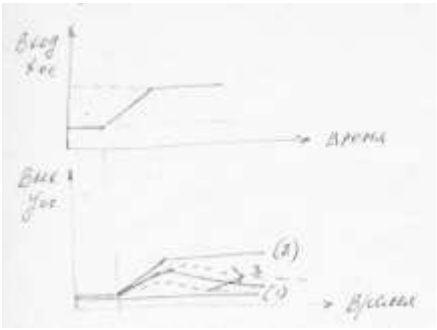
Цилиндр в опорах может перемещаться вверх, вниз.

Имеется элемент перелива жидкости из одной полости в другую (вентиль В).

2 штока – входной и выходной.

Входной связан с исполнительным механизмом, выходной – со входным усилителем.

Возможны три режима работы регулятора:

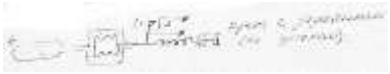


1) Вентиль В открыт, поршень начинает перемещаться. Масло перетекает из верхней полости в нижнюю. Цилиндр неподвижен. (ОС – выключена. $y_{ос} = 0$)
2) В полностью закрыт. – жесткая ОС. Масло практически несжимаемо. Цилиндр перемешается вверх. $y_{ос} = x_{ос}$.
3) В частично открыт. Гибкая ОС (исчезающая). Масло может перетекать, но через меняющееся гидравлическое сопротивление.

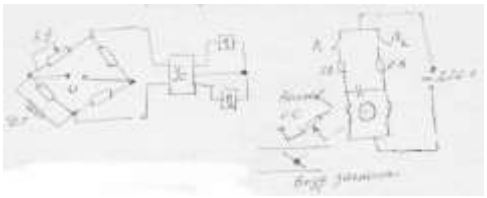
В первый момент вместе с поршнем начинает перемещаться цилиндр.
Затем начинает жидкость перетекать. По мере перетекания, гибкая пружина и выходной исток приходят в начальное положение.
Меняя открытие «В», переходим из 1 режима в другой (измененная величина и время процесса). «В» - элемент настройки регулятора.

<u>Два примера автоматических регуляторов.</u>

1) Реле температуры (2-позиционный регулятор t°C). Чувствительный элемент – термобаллон, импульсная трубка, сильфон – воспринимает изменения внутреннего давления.



2) Регулятор температуры типа ПТР



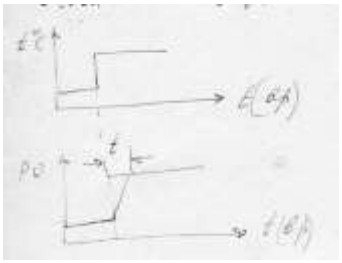
ДТ – датчик температуры
ЗУ – задающее устройство
УС – усилитель п/п. Нагружено два реле.
Если t поднимается ($t > t_{зад}$) -> P_1 срабатывает
Если t опускается ($t < t_{зад}$) -> P_2 срабатывает
Этот регулятор работает с конкретным ИМ:

ПР-1 – реверсивный двигатель, имеет две статорные обмотки (двухфазный) переменного тока, поступательная скорость вращения $\omega = const$.

ИМ имеет кольцевые выключатели (к.в.).

В цепь двигателя включают контакты реле Р1 и Р2.

Если t = $t_{зад}$, оба реле выключены, оба контакта раскрыты. t°C изменилась скачком.



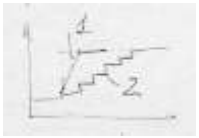
Трехпозиционный регулятор

Величина t = 15 ÷30 секунд.

Открыт полностью <->Закрыт полностью. Это очень мало.

Чтобы из этого регулятора сделать интегральный, надо в цепь ИМ поставить ступенчатый импульсный прерыватель СИП.

t повышается, Р1 – включено, замыкается контакт Р1, двигатель начинает работать, импульсный прерыватель прерывает цепь, двигатель останавливается.



1 характеристика – 3х позиционная

2 – интегральный

Осуществление П-закона.

СИП – выключено. Включен блок ОС.

Поворачивается вал ИМ, одновременно передвигается ползунок реостата ОС, который включен параллельно К в плече моста.

ОС – жесткая.

t повышается, Р повышается, двигатель поверхнулся, РО – повернулся, изменил положение движка таким образом, что сигнал снимается, двигатель остановится.

Наличие гибкой ОС в схеме регулятора позволяет осуществлять ПИ-закон регулирования.

Щиты и пульты управления.