

**департамент «Энергетика, металлургия и
информационные технологии»**

**Слайд-лекция по дисциплине:
«Автоматизация металлургического
производства»**

Лекция 7: Динамика линейных САУ.

Для студентов специальности 5В070900
«Металлургия»

Разработала: старший преподаватель, магистр
Шупеева Ш.М.

Лекция 7. Динамика линейных САУ.

План лекции:

1. Типовые входные воздействия.
 2. Динамические характеристики САУ.
-

1. Типовые входные воздействия

В реальных условиях любой объект регулирования подвержен воздействию случайных возмущений и поэтому всегда находится в неустановившемся состоянии. Следовательно, статическая характеристика объекта регулирования не может полностью характеризовать его поведение в реальных условиях. С помощью этой характеристики можно определить лишь статическую ошибку САУ. Поведение же объекта в неустановившемся состоянии (в динамике) зависит от его **динамических свойств**.

Динамические свойства объекта проявляются только при изменении его входных сигналов. При этом и выходной сигнал будет изменяться во времени. Причем в зависимости от характера изменения входных сигналов выходной сигнал одного и того же объекта может изменяться по-разному. Поэтому для характеристики динамических свойств объекта нельзя построить зависимость выходного параметра от входного, аналогичную статической характеристике.

1. Типовые входные воздействия

Для выявления динамических свойств объекта регулирования (ОР) необходимо узнать его реакцию на какой-либо определенный вид входного воздействия. Чтобы можно было сравнивать динамические свойства различных объектов, применяют **одинаковые стандартизованные входные воздействия.**

1. Типовые входные воздействия

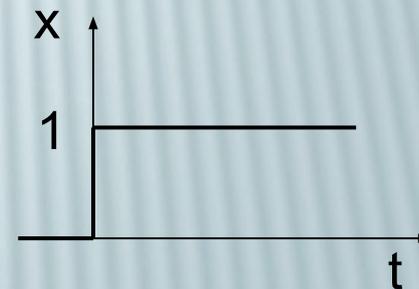
Наиболее распространены следующие два вида **стандартных (типовых) воздействий**:

а) **единичное ступенчатое воздействие** – воздействие, которое мгновенно возрастает от 0 до 1 и далее остается неизменным, или же наоборот.

Различают функцию типа «после»:

включение

$$x(t) = 1(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

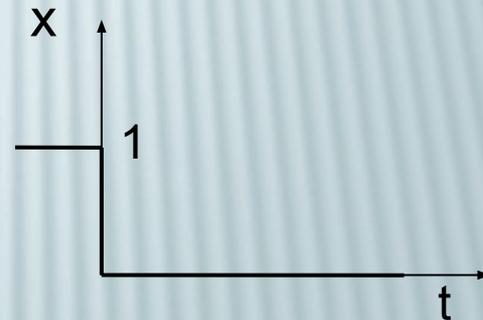


1. Типовые входные воздействия

И функцию типа «до»:

$$x(t) = 1(t) = \begin{cases} 0, & t \geq 0 \\ 1, & t < 0 \end{cases}$$

отключение



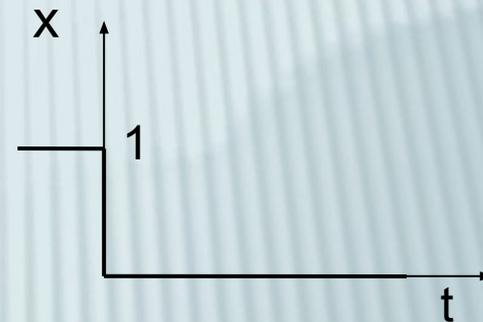
Примеры: подключение или отключение напряжения к системе, удар в механической системе.

1. Типовые входные воздействия

И функцию типа «до»:

$$x(t) = 1(t) = \begin{cases} 0, & t \geq 0 \\ 1, & t < 0 \end{cases}$$

отключение



Примеры: подключение или отключение напряжения к системе, удар в механической системе.

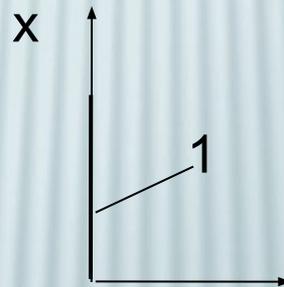
Реакцию системы на единичное ступенчатое воздействие называют **переходной характеристикой $h(t)$** .

Если ступенчатое воздействие отличается от единичного: $x(t) = A \cdot 1(t)$ и при $t \geq 0$ равно постоянной величине A , то реакция на такое воздействие называется **кривой разгона**.

1. Типовые входные воздействия

б) **единичное импульсное воздействие** – это импульс, бесконечно короткий (т.е. его длительность равна 0), но с бесконечно большой амплитудой, существующий в момент времени $t = 0$, площадь под графиком которого равна 1.

$$\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$$



1. Типовые входные воздействия

Единичный импульс – это математическая идеализация предельно короткого импульсного сигнала, а реально – это кратковременный удар нагрузки на вал двигателя, ток короткого замыкания. При этом, т.к. длительность импульса весьма мала по сравнению с длительностью переходного процесса, то с большой степенью точности реальный импульс можно представить в виде единичного импульса с некоторым масштабным коэффициентом, т.е. умноженного на некоторое число.

Реакцию системы на дельта-импульсное воздействие называют **импульсной переходной характеристикой $\omega(t)$** .

2. Динамические характеристики САУ

До подачи стандартного воздействия объект должен находиться в состоянии равновесия, т.е. его входной и выходной параметры должны быть постоянными во времени.

Зависимость выходного параметра объект от времени, начиная с момента подачи стандартного воздействия, называется **динамической характеристикой**.

Или иначе **динамической характеристикой** называется зависимость изменения выходной величины от входной во времени

$$y(t) = f [x(t)]$$

2. Динамические характеристики САУ

Динамические свойства могут быть представлены в виде:

- Дифференциальных уравнений;
 - Передаточных функций;
 - Кривых разгона;
 - Частотных характеристик.
-

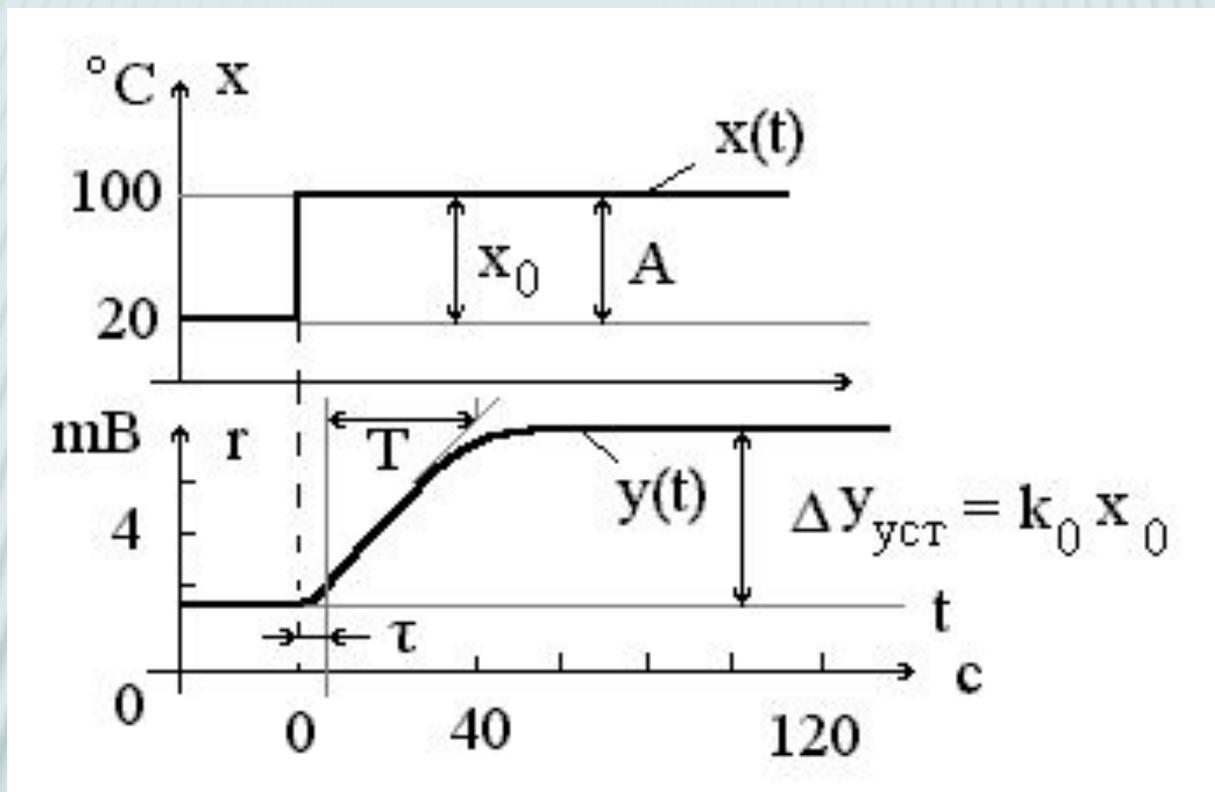
2. Динамические характеристики САУ

Одной из наиболее часто применяемых форм описания динамических свойств элементов САУ является кривая (характеристика) разгона.

Кривой разгона называют зависимость изменения выходной величины во времени $y(t)$ при нанесении на вход исследуемого объекта однократного воздействия ступенчатой формы $x_0(t) = A$ или $y(t) = f[x(t)]$ при $x(t) = A$.

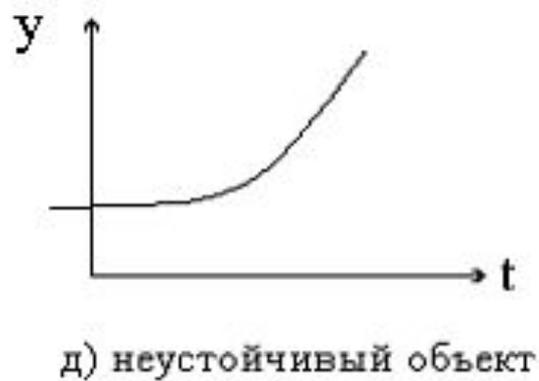
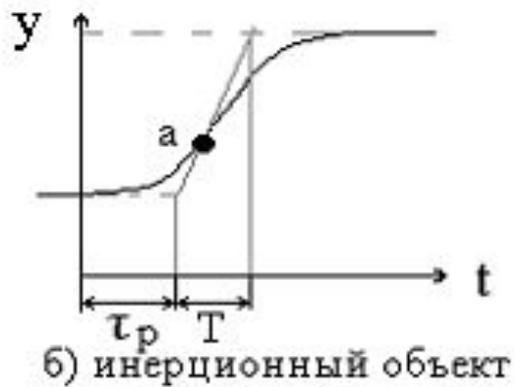
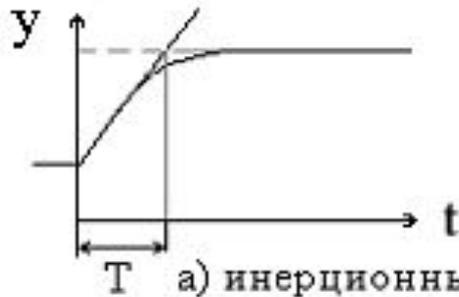
При построении кривой разгона по горизонтальной оси откладывается время, а по вертикальной оси – выходная величина.

2. Динамические характеристики САУ



На рисунке приведена кривая разгона термоэлектрического преобразователя, полученная путем погружения его из помещения с $t = 20^{\circ}\text{C}$ в горячую воду при $t = 100^{\circ}\text{C}$ – линия $x(t)$.

2. Динамические свойства САУ



2. Динамические свойства САУ

Переходные процессы являются универсальным средством изучения динамических свойств объектов. Но как же в переходном процессе проявляются динамические свойства объекта и как их можно установить по виду процесса? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим типичные динамические свойства объектов и соответствующие им переходные процессы.

1. Почти все промышленные объекты обладают **инерцией**. Инерция объекта регулирования в том, что при мгновенном изменении их входного сигнала выходной изменяется не мгновенно, а постепенно.

Инерция свойственна не только объектам регулирования, но и другим элементам САУ. Однако у некоторых объектов инерция может быть пренебрежимо малой в сравнении с остальными элементами САУ и не оказывать заметного влияния на процесс регулирования. Такие объекты называются **безинерционными (в)**.

Инерция реальных объектов регулирования вызвана наличием в них запаса вещества или энергии. Чем больше он, тем сильнее проявляется инерция. При переходных процессах в инерционных объектах запас вещества или энергии может изменяться как монотонно, так и колебательно. Объекты, обладающие таким свойством, называются **колебательными**. В отличие от них объекты с монотонным изменением выходных параметров называются **апериодическими** (не колебательными). Апериодические – рисунок а), б); колебательные – ж).

2. Динамические свойства САУ

Наиболее широко распространенное свойство **инерции** промышленных объектов как устойчивых, так и нейтральных и неустойчивых проявляются в переходном процессе в виде **плавного, без скачков** изменения выходного параметра (а, б, в, г, д). Следствием такого поведения инерционного объекта является **последствие**, т.е. изменение выходного параметра при уже не изменяющемся (после скачка) входном параметре.

Количественно инерцию объекта можно было бы охарактеризовать скоростью изменения выходного параметра в переходном процессе. Однако, как видно из графиков, скорость эта изменяется с течением времени, причем для одних объектов она максимальна в начальный момент времени (рисунок а), а для других – в некоторой точке 0 (рисунок б).

С помощью максимальной скорости переходного процесса вводят понятие **постоянной времени**, которая и служит оценкой инерции объекта.

Постоянной времени T объекта называется время, за которое выходной параметр y достиг бы установившегося значения в переходном процессе, если бы изменялся все время с максимальной скоростью. Как следует из определения постоянная времени T существует **только для устойчивых объектов**.

2. Динамические свойства САУ

Постоянную времени T можно найти по графику переходного процесса. Для этого следует провести касательную к этому графику в точке максимальной скорости (в месте наибольшей крутизны – точке перегиба). Тогда постоянную времени T находят, как показано на рисунке а), б). Такой способ обычно используется только для апериодических объектов.

С точки зрения управления **инерция** объектов имеет как положительную, так и отрицательную стороны. **Положительная** заключается в том, что благодаря инерции объект не успевает реагировать на кратковременные возмущающие воздействия, что облегчает стабилизацию его регулируемого параметра. **Отрицательная** - неизбежное при этом последствие затрудняет компенсацию возмущений в САУ по отклонению, что снижает качество стабилизации технологических параметров.

Свойство колебательности играет уже только **отрицательную** роль в процессе регулирования. Вследствие колебательности выходной параметр такого объекта изменяется в течение переходного процесса на большую величину, чем в апериодическом объекте. Это видно из сравнения графиков переходных процессов.

2. Динамические свойства САУ

2. Еще одним важным свойством объектов реальных является **запаздывание**. Оно проявляется в том, что реакция объекта на входное воздействие, т.е. изменение его выходного параметра, запаздывает по отношению к изменению входного параметра (τ). Пример безинерционного объекта с запаздыванием – транспортер для сыпучих материалов, длинный трубопровод.

Запаздывание в объекте регулирования проявляется в сдвиге по времени начала переходного процесса относительно входного воздействия. Величина этого временного сдвига называется **временем запаздывания**, а само запаздывание **ЧИСТЫМ** или **транспортным**.

При транспортном запаздывании выходной параметр y совсем не изменяется в течение всего времени транспортного запаздывания τ_T (τ). Однако эффект, похожий на запаздывание, наблюдается в некоторых объектах без транспортного запаздывания, когда выходной параметр y в переходном процессе сначала изменяется медленно (β). Такой эффект кажущегося запаздывания называется **переходным запаздыванием**. Время переходного запаздывания $\tau_{\text{п}}$ можно найти по графику (касательная пересекается с начальным значением выходной величины – одна точка – вторая - момент нанесения возмущения) (β).

2. Динамические свойства САУ

Запаздывание является неблагоприятным свойством объектов с точки зрения их регулирования. Действительно, в САУ с обратной связью рассогласование, вызываемое возмущением на объект с запаздыванием, проявляется лишь по истечении времени запаздывания. Поэтому и регулирующее воздействие в таких САУ запаздывает по отношению к возмущающим воздействиям. Получается, что регулятор в САУ реагирует не на текущее, а на прошлое возмущение, что затрудняет его компенсацию и приводит к ухудшению стабилизации регулируемого параметра. По этой причине объекты, имеющие переходные запаздывания, труднее поддаются регулированию.

Установлено, что для объектов с запаздыванием качество регулирования может быть лучше при меньшем отношении времени полного запаздывания $\tau = \tau_n + \tau_T$ к постоянной времени T объекта. Это отношение минимально ($= 0$) для всех объектов без запаздывания и максимально (∞ большое) для безинерционных с запаздыванием, когда $T = 0$.

2. Динамические свойства САУ

Мы рассматривали объекты регулирования, в которых переходные процессы заканчиваются установившемся значением выходного параметра (пунктирная линия). Такие объекты под влиянием входного воздействия переходят из одного состояния равновесия в другое (отсюда и название – переходной). Эти объекты регулирования получили название **устойчивых**.

3. Устойчивые объекты регулирования обладают одним общим свойством – **самовыравниванием**, т.е. способностью переходить из одного установившегося состояния в другое по окончании переходного процесса при скачкообразном входном воздействии. Чем меньше изменяется выходной параметр в переходном процессе при одном и том же скачкообразном входном воздействии, тем больше степень самовыравнивания объекта.

Устойчивость – распространенное, но не обязательное свойство объектов: существуют и **неустойчивые объекты регулирования**. У таких объектов состояние равновесия существует, но оно не устойчиво: сколь угодно малое воздействие выводит такой объект из состояния равновесия, и с течением времени он все больше отклоняется от этого состояния (д).

2. Динамические свойства САУ

Такие объекты довольно редки, значительно чаще встречаются **нейтральные объекты**. Нейтральный объект можно получить на примере емкости, если расход на потреблении сделать независимым от уровня в емкости. Для этого установить нужно на линии потребления насос с постоянной производительностью. У такого объекта существует состояние равновесия: когда приток равен потреблению, уровень не изменяется. Однако в отличие от устойчивого объекта (емкости с клапаном на линии потребления) равенство притока и потребления может соблюдаться при любом значении уровня. Иначе говоря, в состоянии равновесия объекта его выходной параметр – уровень – может быть любым независимо от расхода на притоке и потреблении, т.е. статической характеристики у такого объекта нет. Поэтому нейтральные объекты называют еще **астатическими**.

Окажем теперь скачкообразное воздействие на расход на притоке, повышая его. Так как потребление не зависит от уровня в емкости, то разность между притоком и потреблением будет оставаться постоянной, и, следовательно, уровень в емкости будет повышаться с постоянной скоростью, не стремясь ни к какому установившемуся значению. Такой процесс приведен на рисунке е). Нейтральные объекты не имеют самовыравнивания.

2. Динамические свойства САУ

Устойчивые объекты легче поддаются управлению, чем неустойчивые. В любом неустойчивом объекте отклонение выходного регулируемого параметра под действием возмущения имеет вполне определенную, не бесконечную величину (рисунки а – г, ж). Поэтому при достаточно большом самовыравнивании, когда возмущающее воздействие вызывает малые колебания регулируемого параметра, можно обойтись без системы управления. В нейтральных же объектах, в особенности неустойчивых, отклонение регулируемого параметра под действием возмущений с течением времени может стать сколь угодно большим. Поэтому управлять такими объектами, безусловно, необходимо.

Таким образом, самовыравнивание объекта способствует управлению и поэтому иногда называется **саморегулированием**.

2. Динамические свойства САУ

Степень самовыравнивания, как отмечалось, характеризует запас устойчивости объекта регулирования. Объекты с большим самовыравниванием имеют большой запас устойчивости и легко поддаются управлению.

Объекты с нулевым самовыравниванием, т.е. нейтральные, не имеют запаса устойчивости (говорят, что они находятся на границе устойчивости). Неустойчивые же объекты обладают отрицательным самовыравниванием и им приписывают отрицательный запас устойчивости.

Следует иметь в виду, что степень самовыравнивания не полностью характеризует объект с точки зрения регулирования. Имеют значение и другие показатели, в частности отношение σ . Так, для объекта с большим отношением σ качество стабилизации его регулируемого параметра в САУ может быть плохим даже при значительном самовыравнивании.

Вопросы для самопроверки:

- 1) Что такое типовое входное воздействие?
- 2) Какие бывают типовые входные воздействия?
- 3) Что называется переходной характеристикой?
- 4) Что называется импульсной переходной характеристикой?
- 5) Что такое динамическая характеристика САУ?
- 6) Как могут быть представлены динамические свойства САУ?
- 7) Дайте определение кривой разгона.

Проверим себя ?

1. Единичная ступенчатая функция типа «до» описывается следующим образом:

$$\begin{array}{ll} \text{A)} & 1(t) = \begin{cases} 0, t \geq 0 \\ 1, t < 0 \end{cases} & \text{C)} & x(t) = \begin{cases} 1, t > 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} & \text{E)} & 1(t) = \begin{cases} 1, t > 0 \\ 0, t \leq 0 \end{cases} \\ \text{B)} & 1(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} & \text{D)} & x(t) = \begin{cases} 0, t > 0 \\ 1, t < 0 \end{cases} \end{array}$$

2. Единичная ступенчатая функция типа «после» описывается следующим образом:

$$\begin{array}{ll} \text{A)} & x(t) = \begin{cases} 1, t > 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} & \text{C)} & \text{E)} & 1(t) = \begin{cases} 1, t > 0 \\ 0, t \leq 0 \end{cases} \\ \text{B)} & 1(t) = \begin{cases} 1, t \geq 0 \\ 0, t < 0 \end{cases} & \text{D)} & x(t) = \begin{cases} 0, t > 0 \\ 1, t < 0 \end{cases} \end{array}$$

Проверим себя ?

3. Реакция системы на единичное ступенчатое воздействие называется ...

- A) импульсной переходной характеристикой $\omega(t)$;
- B) временной характеристикой $x(t)$;
- C) переходной характеристикой $h(t)$;
- D) амплитудно-частотной характеристикой $A(\omega)$;
- E) логарифмической амплитудно-частотной характеристикой $L(\omega)$.

4. Реакция системы на δ - импульсное воздействие называется ...

- A) импульсной переходной характеристикой $\omega(t)$;
- B) переходной характеристикой $h(t)$;
- C) временной характеристикой $x(t)$;
- D) амплитудно-частотной характеристикой $A(\omega)$;
- E) логарифмической амплитудно-частотной характеристикой $L(\omega)$.