

Введение в предмет

«Идентификация систем управления»

Современные нефтегазодобывающие предприятия представляют собой **сложные комплексы технологических объектов**.

Для управления этими объектами необходимо:

- изучить технологические процессы, протекающие при работе объекта;
- определить степень влияния характеризующих его параметров на выходные качественные и количественные показатели процесса.

Один из методов изучения – это познание процесса через модели, представляющие собой упрощенные системы, отражающие отдельные, интересующие исследователя стороны явлений.



Процесс моделирования заключается в установлении зависимостей между входными и выходными параметрами системы.

Наиболее удобным методом исследования сложных технологических процессов является метод математического моделирования.

Для построения математической модели могут быть использованы как **теоретические**, так и **экспериментальные** методы построения моделей промышленных объектов.

Методы определения математических моделей по результатам экспериментальных исследований являются предметом теории идентификации.



Тема 1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

СОДЕРЖАНИЕ ТЕМЫ 1:

1. Классификация методов идентификации, принятая в зависимости от изученности объекта.
2. Классификация динамических объектов.
3. Методы идентификации объектов.
4. Сравнительная характеристика методов идентификации.
5. Типы идентифицируемых объектов.
6. Типы сигналов, применяемых при идентификации объектов активными методами.
7. Рекомендации по применению пробных воздействий.

Выводы.



ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ, ПРИНЯТАЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗУЧЕННОСТИ ОБЪЕКТА

Объект – это динамическая система, характеристики которой изменяются под воздействием возмущающих и управляющих воздействий.

Поэтому под термином **«объект»** будем понимать как непосредственно объект управления, так и **систему управления в целом**.

Знание динамических характеристик промышленного объекта дает возможность решить **два типа задач автоматического управления**.



1. Задача синтеза системы управления стандартного типа.

Для решения этой задачи необходимо предварительное исследование объекта в условиях, которые, вообще говоря, могут существенно отличаться от режима нормального функционирования.

2. Задача синтеза адаптивной системы управления.

В этом случае для достижения цели управления система изменяет свои управляющие сигналы, приспособляясь к изменению входных сигналов, внешних воздействий, характеристик объектов и т. д.

Построение систем такого рода требует определения динамических характеристик объекта в режиме его нормального функционирования.



При исследовании динамических объектов принято следующее **определение**:

Идентификацией называется «определение параметров и структуры математической модели, обеспечивающих наилучшее совпадение выходных координат модели и процесса при одинаковых входных воздействиях».



Процедура идентификации распадается на три этапа:

1. Выбор структуры модели на основании *имеющейся априорной информации* об исследуемом процессе и некоторых *эвристических соображений*.
2. Выбор *критерия близости объекта и модели*, основанный на специфике задачи.
3. Определение параметров модели, *оптимальных с точки зрения выбранного критерия близости*.



Выбор структуры модели определяется:

- априорной информацией об исследуемом процессе;
- требованиями к точности моделирования;
- реализуемостью вычислений;
- ограниченной размерностью задачи.

Чтобы получить математическое описание физической системы, необходимо:

- во-первых, построить идеализированную физическую модель процесса;
- во-вторых, аппроксимировать эту идеализированную модель.



Выбор вида математической модели – важнейшая задача при идентификации динамических объектов.

Рассмотрим совокупность всех **характеристик объекта.**

К ним относятся:

- статические характеристики;
- динамические характеристики;
- статические и динамические нелинейности объекта;
- чувствительность характеристик объекта к вариациям технологических параметров.



Для получения математического описания динамического объекта возможны два принципиально различных подхода:

- **теоретические** методы получения математического описания;
- **экспериментальные** методы идентификации.

Так как задача идентификации сводится к определению структуры модели объекта и определению ее параметров, то в качестве основы для классификации задач и методов идентификации **целесообразно выбрать степень предварительной изученности объекта.**



2. Классификация динамических объектов

По наличию **априорной информации** все объекты могут быть разделены на следующие группы:

1. Объекты, для которых описывающие их уравнения известны вплоть до приблизительных значений коэффициентов, т. е. когда выражение для функции

$$f(\dot{X}) = f(\dot{X}, \dot{B})$$

известно, а требуется уточнить приближенные значения параметров b_i ($i = 1, 2, \dots, m$) вектора $B = \| b_1, b_2, \dots, b_m \|$.

2. Объекты, для которых описывающие их уравнения известны, а численные значения коэффициентов неизвестны.

При идентификации таких объектов определяют вектор параметров B .



3. Объекты, для которых конкретный вид уравнения и численные значения параметров неизвестны, но имеется некоторая априорная информация, например:

- объект линеен и переходные процессы в нем носят монотонный характер;
- объект содержит гладкие нелинейности и т.д.

Такой объект может быть описан функцией

$$f_j(\overset{\mathbf{r}}{X}) = f(\overset{\mathbf{r}}{X}, \overset{\mathbf{r}}{B}_j),$$

которая приблизительно совпадает с одной из функций:



$$f(\overset{r}{X}) = \overset{r}{\Pi} \left(\overset{r}{f_1}(\overset{r}{X}, \overset{r}{B_1}); \overset{r}{f_2}(\overset{r}{X}, \overset{r}{B_2}); \dots; \overset{r}{f_k}(\overset{r}{X}, \overset{r}{B_k}) \right),$$

где размерность $\overset{r}{B_1}, \overset{r}{B_2}, \dots, \overset{r}{B_k}$ может быть различной.

Следовательно, для нахождения модели объекта требуется

определить, какая из функций $\overset{r}{f_j}(\overset{r}{X}) = \overset{r}{f}(\overset{r}{X}, \overset{r}{B_j}) ; j = 1, 2, \dots, k$
 - является **ИСТИННОЙ** и найти **неизвестные ее параметры**.



4. Объекты, относительно которых отсутствуют какие-либо априорные сведения (объекты типа «**Черный ящик**»).

Провести четкую границу между любой парой смежных групп довольно затруднительно.

На практике последняя из описанных ситуаций распространена чаще всего.

Для объектов типа «**Черный ящик**» целесообразно применение прямых методов идентификации, то есть с помощью пробных воздействий.

Для этих объектов возможно и функциональное описание на основе принятия какой-либо гипотезы, проверяемой в процессе эксперимента или некоторых эвристических соображений.



3. Методы идентификации объектов

В зависимости от степени изученности объекта методы идентификации могут различаться по следующим признакам:

1) по способу представления характеристик объекта:

- во временной области;
- в частотной области;

2) по методу проведения эксперимента на объекте:

- активные (эти методы, как правило, неприменимы в режиме нормальной эксплуатации объекта);
 - пассивные;
 - смешанные методы, при которых на объект подаются специальные пробные сигналы малой интенсивности, не нарушающие его нормальной работы;
-



3) по принятому критерию подобия объекта и модели;

4) по методам восстановления неизвестных параметров объекта:

- неитерационные методы наименьших квадратов;
- методы корреляционного анализа;
- итерационные методы теории статистических решений;
- методы стохастической аппроксимации и другие;

5) по наличию сравнения полученного математического описания с объектом:

- разомкнутые;
- замкнутые.



4. Сравнительная характеристика методов идентификации

Теоретические методы получения математического описания по сравнению с экспериментальными методами позволяют оценить влияние конструктивных параметров объекта на его динамические свойства, что имеет большое значение при проектировании новых промышленных объектов и оборудования.

Но эта группа методов требует наличия *априорной информации* (знания физических закономерностей) о процессе.

По мере усложнения объектов автоматизации применение этих методов все более ограничивается, а экспериментальный путь становится единственной возможностью пополнить информацию об объекте.



Наиболее эффективным методом является сочетание теоретического и экспериментального подходов.

Результаты эксперимента позволяют упростить математическое описание объекта, а предварительная теоретическая оценка характеристик облегчает процесс их измерения.

При этом, на основе теоретических исследований объекта выбирается структура модели, а ее параметры определяются экспериментально.

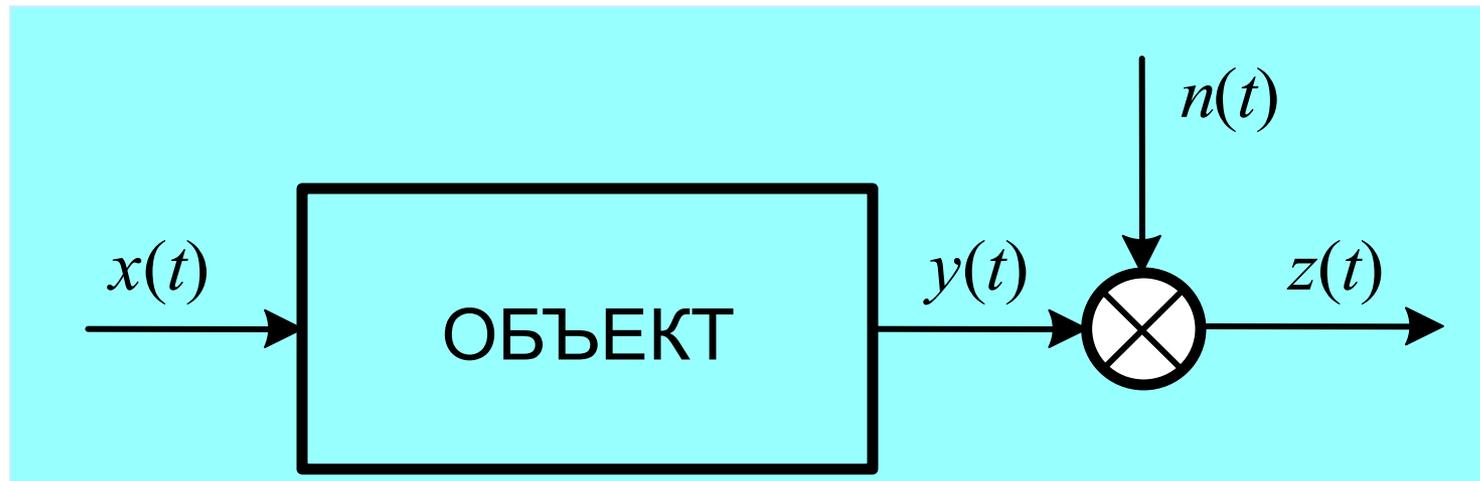
Обработка результатов эксперимента в большинстве случаев связана с применением **средств вычислительной техники.**



5. Типы идентифицируемых объектов

При идентификации динамических объектов источниками информации являются **входные** и **выходные сигналы объекта**.

Объект рассматривается как система, преобразующая входные сигналы $x(t)$ в выходные $y(t)$.



При этом данные о помехе $n(t)$, как правило, отсутствуют.

Специфика типов объектов:

- Замкнутые и разомкнутые объекты.

Методы идентификации должны быть применимы как к разомкнутому, так и замкнутому объектам (САР).

- Одномерные и многомерные объекты.

Под одномерным объектом понимается объект, имеющий *одну входную и одну выходную координату*.

Многомерный объект имеет *n* входных и *m* выходных координат, то для его полного описания требуется *nm* операторов связи для матрицы связи **W**, элементы которой w_{ij} представляют собой операторы связи *i*-го выхода объекта с *j*-м входом:



$$W = \begin{pmatrix} w_1 & \cdot & \cdot & \cdot & w_{1n} \\ w_2 & \cdot & \cdot & \cdot & w_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ w_{m1} & \cdot & \cdot & \cdot & w_m \end{pmatrix} \quad (1.1)$$

Так как выходные координаты объекта **независимы** друг от друга (при отсутствии внутренних перекрестных обратных связей), достаточно рассмотреть объект с ***n*** входными координатами и одной выходной.

*Процедура идентификации многомерного объекта сводится к последовательной (***m*** раз) идентификации объекта с ***n*** входами и одним выходом.*



- **Линейные и нелинейные объекты.**

Исследование промышленных объектов чаще выполняют в линейном приближении являющейся идеализацией, которая в большей или меньшей степени соответствует действительности в зависимости от амплитуд входных сигналов.

Практически каждый реальный объект имеет:

- насыщение;
- зону нечувствительности;
- трение;
- гистерезис и ряд других нелинейностей.

Все линеаризованные процессы могут быть описаны дифференциальными уравнениями вида:



$$\sum_{j=1}^m a_j y^{(j)} = \sum_{i=1}^n b_i x^{(i)}. \quad (1.2)$$

При $a_j, b_i = \text{const}$ уравнение описывает *стационарную линейную систему*.

При $a_j = a_j(x, x', \dots, x(n))$ и $b_i = b_i(y, y', \dots, y(m))$ – *стационарную нелинейную систему*.



- Стационарные и нестационарные объекты.

Для стационарных систем коэффициенты $a_j, b_i = \text{const}$.

Для описания нестационарных систем могут быть применены дифференциальные уравнения:

- коэффициенты которых являются функциями времени $a_j = a_j(t)$ и $b_i = b_i(t)$ - **линейные нестационарные объекты**;
- коэффициенты которых являются функциями времени и координат системы $a_j = a_j(x, x', \dots, x(n), t)$ и $b_i = b_i(y, y', \dots, y(m), t)$ - **нелинейные нестационарные объекты**.



-
- Объекты с сосредоточенными и с распределенными параметрами.

Подавляющее большинство технологических объектов представляют собой объекты с распределенными параметрами и описываются дифференциальными уравнениями в частных производных, а также дифференциально-разностными или интегральными уравнениями.

Однако многие промышленные объекты таковы, что распределенностью их параметров **можно пренебречь**, рассматривая их как объекты с сосредоточенными параметрами.

При этом, например, уравнения в частных производных, образующие модель, вырождаются в обыкновенные дифференциальные уравнения.



6. Типы сигналов, применяемых при идентификации объектов активными методами

Все экспериментальные методы исследования динамики процесса основаны на обработке информации, содержащейся в его ВХОДНЫХ и ВЫХОДНЫХ координатах.

Применяются:

- активные;
- пассивные;
- и смешанные методы идентификации.

Активные методы идентификации характерны тем, что на входы исследуемого объекта подают заранее заданные пробные воздействия и затем исследуют выходной сигнал.



Пробные воздействия могут быть:

- ступенчатыми;
- импульсными;
- периодическими;
- или случайными функциями времени.

Пробные сигналы можно разделить на:

- стохастические;
- детерминированные.

Последние могут быть:

- единичными;
- периодическими (регулярными).



Ступенчатый входной сигнал

Такой сигнал можно довольно просто сформировать в **реальных условиях**.

Ступенчатому воздействию соответствуют, например:

- сброс или увеличение нагрузки в системах регулирования угловой скорости электродвигателя;
- открытие или закрытие клапана;
- просто мгновенное изменение напряжения постоянного тока на некоторую величину на входе схемы управления.



Аналитическое выражение $x(t)=A1(t)$ соответствует ступенчатому входному воздействию с амплитудой A , где $1(t)$ - единичное ступенчатое воздействие.

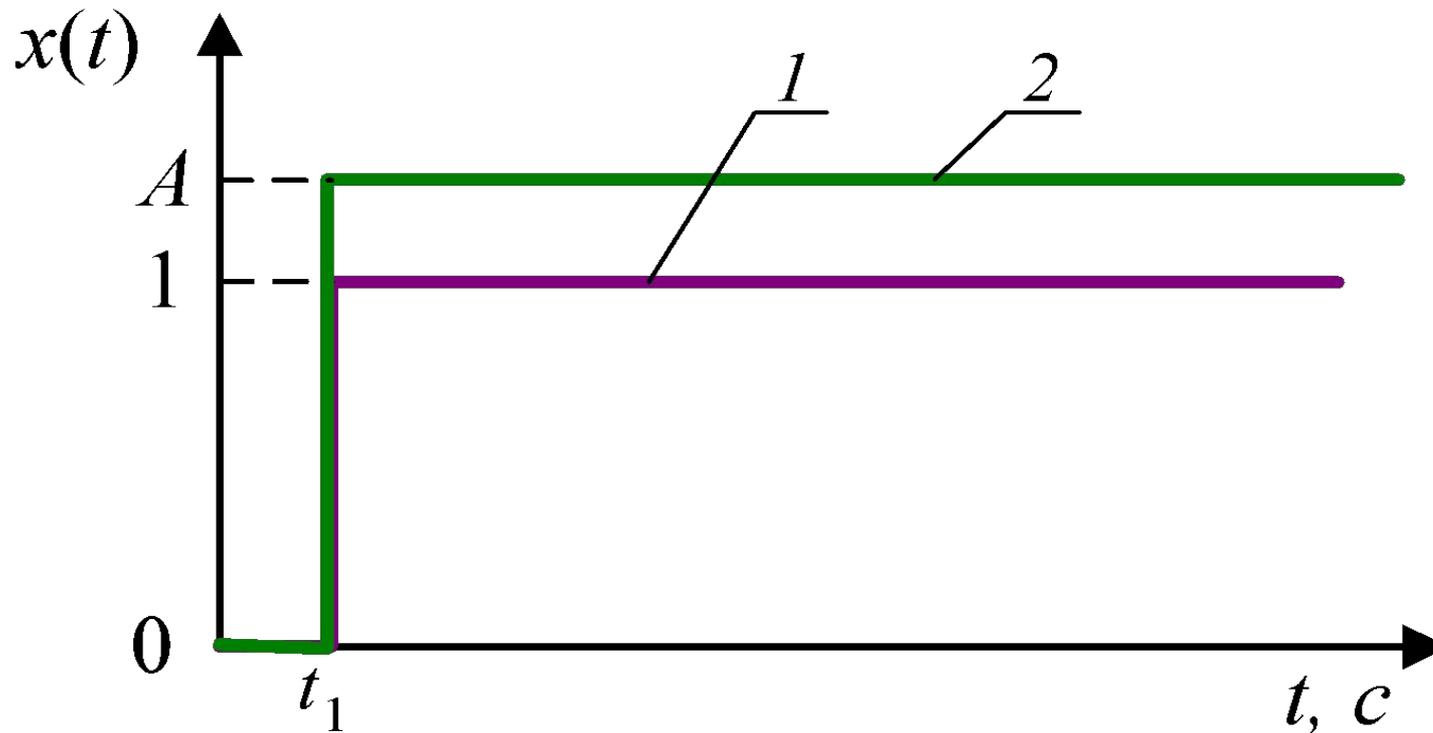
Единичное ступенчатое воздействие описывается следующей функцией

$$1(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < t_1; \\ 1, & \text{при } t \geq t_1. \end{cases} \quad (1.3)$$

И



Графики ступенчатых воздействий



1 – единичное ступенчатое $x(t) = 1(t)$;

2 – ступенчатое воздействие $x(t) = A1(t)$



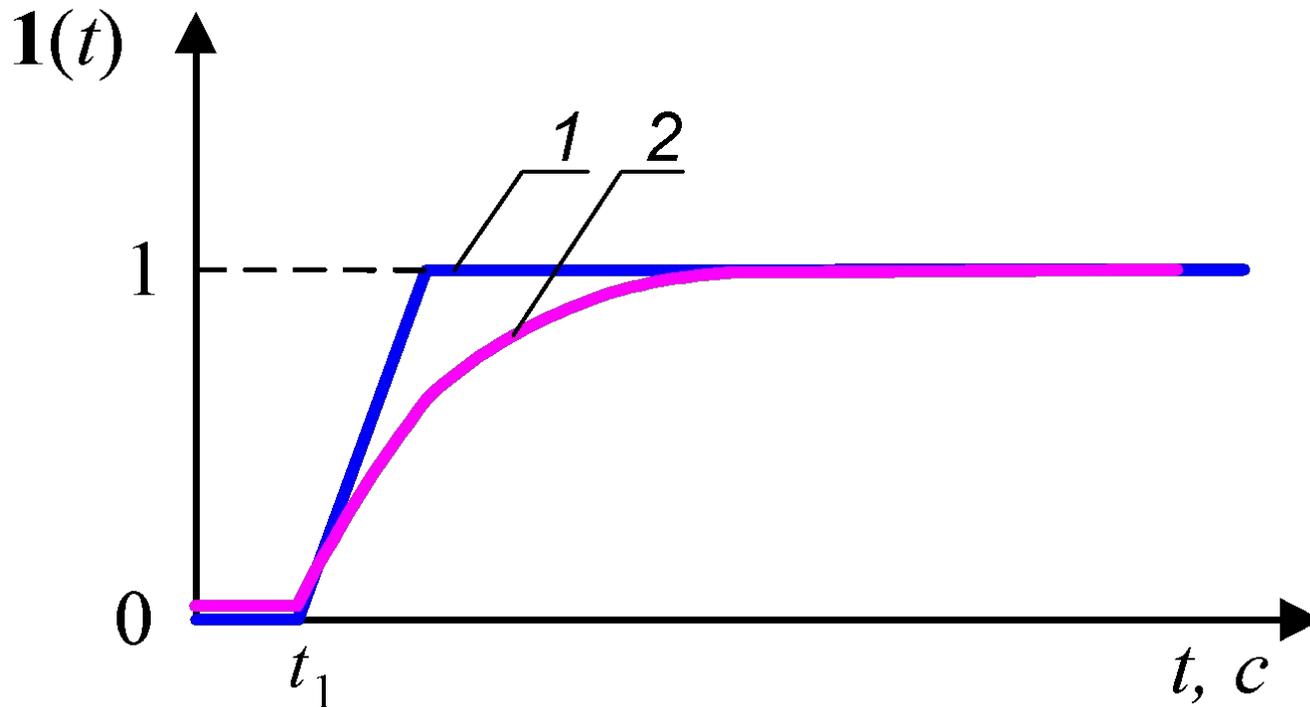
При идентификации с помощью ступенчатого воздействия сигнал на входе объекта изменяется в момент времени t_1 скачком от **0** до **1** (или до значения A), а на отрезке времени от t_1 до бесконечности, остается постоянным. **График**

При использовании **теоретических методов идентификации** динамических объектов отсчет времени с момента подачи входных воздействий принимают равным нулю, т.е. $t_1 = 0$. **График**

В реальных условиях проведения процесса идентификации из-за **динамических свойств отдельных элементов объекта**, в частности – исполнительных устройств в силу их инерционности, происходит **искажение** ступенчатого воздействия. **График**



Графики реальных ступенчатых воздействий



Графики 1 и 2 реальных единичных ступенчатых воздействий с различными характеристиками на начальном участке



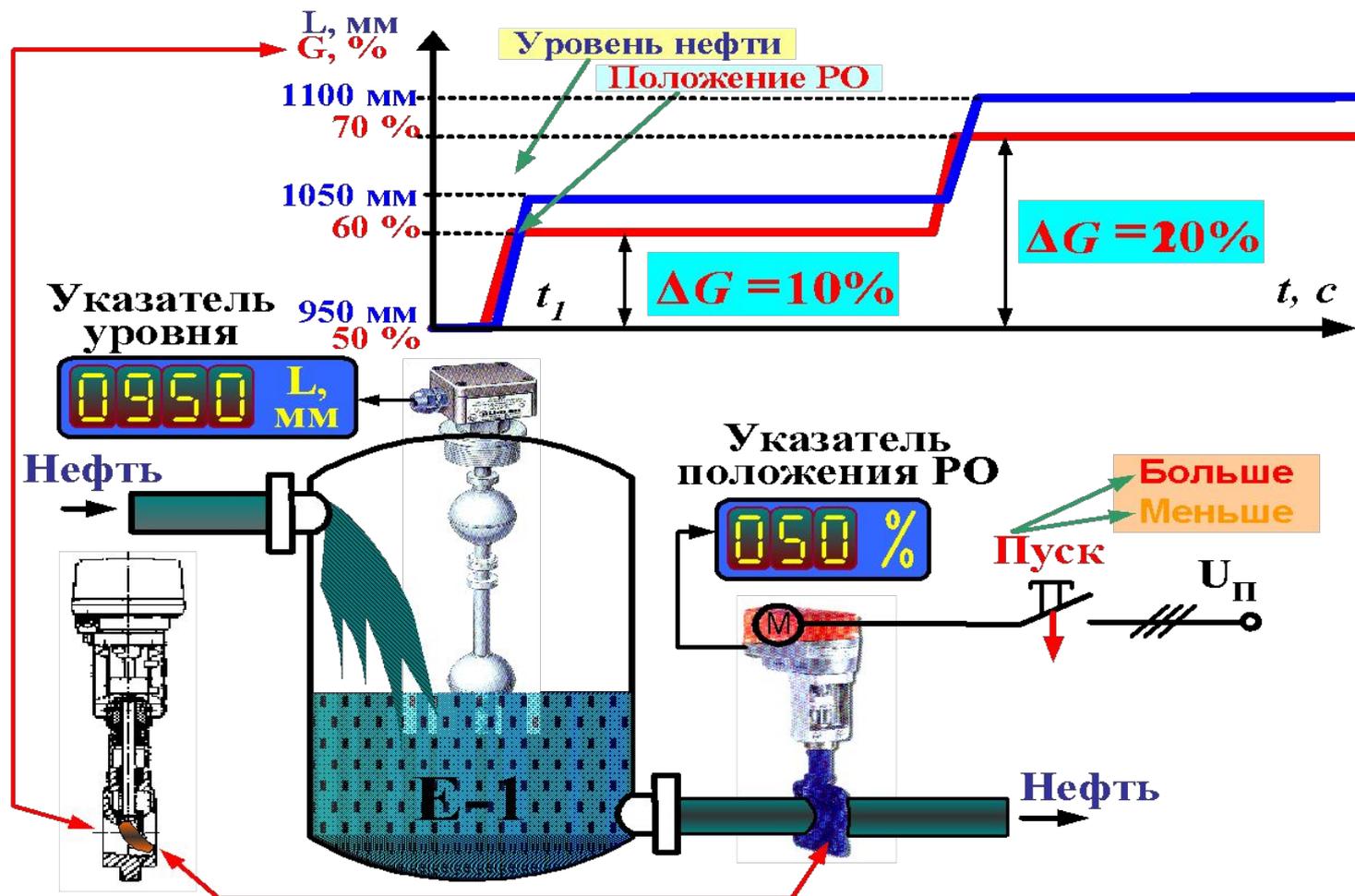
Ступенчатый сигнал может иметь значение амплитуды от **0** до **1** в *относительных единицах* или *любое другое значение* в *единицах измерения физической величины*, изменяющейся скачком.

Оно может измеряться в:

- **%** открытия или закрытия (положения) регулирующего клапана;
- **м³/с** – при ступенчатом изменении расхода топливного газа, нефти, воды или другого продукта;
- **кПа** (или **МПа**) – в случае скачкообразного изменения давления и т.д.,
а так же
- **относительных единицах** - для упрощения исследований систем аналитическими методами.



Схема проведения исследований объекта при использовании ступенчатого входного сигнала



Импульсное пробное воздействие

При идентификации часто используют входное воздействие типа **«дельта-функции»**, т.е. импульса $\delta(t)$ бесконечной амплитуды единичной площади.

Такой импульс называют **«единичным импульсом»**.

Импульсное воздействие описывается аналитическим выражением следующего вида:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t \neq t_1; \\ \infty, & \text{при } t = t_1. \end{cases} \quad (1.4)$$

График



В реальных условиях такое воздействие нельзя получить!!!

Поэтому оно заменяется **приближенным** сигналом, который имеет форму импульса конечной амплитуды малой длительности, но площадь его также равна единице. **График**

Свойство импульсного сигнала:

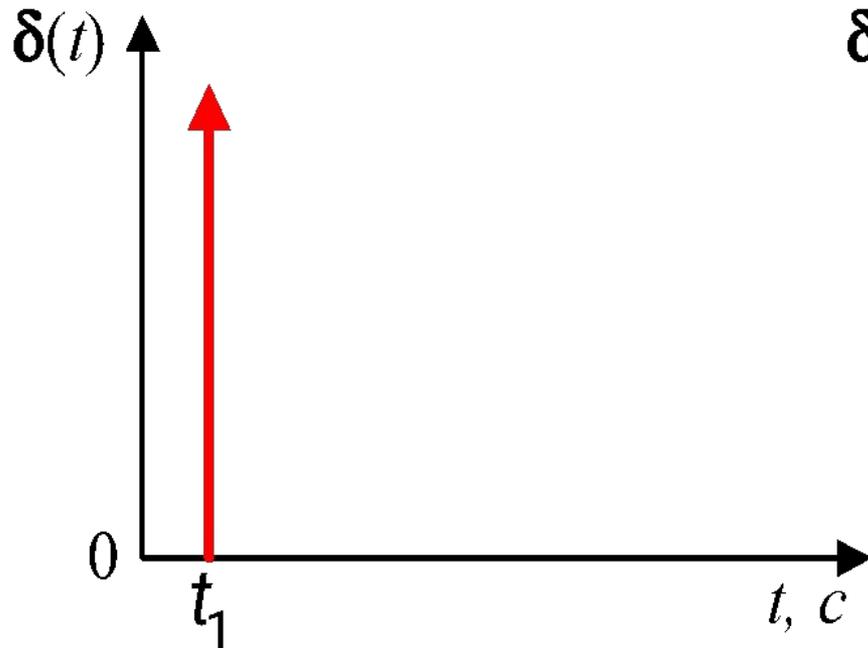
Воздействие типа **δ -функция** имеет связь с **единичной функцией**, которая определяется следующим выражением

$$\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt} \cdot (1.5)$$

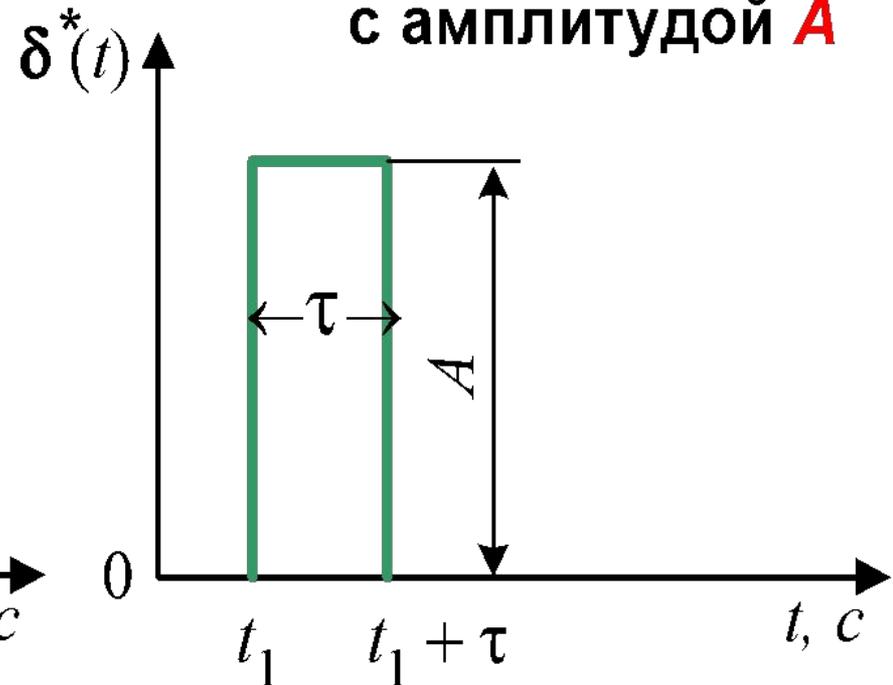


Графики импульсных воздействий

идеальное импульсное
воздействие



реальное импульсное
воздействие длительностью τ
с амплитудой A



Основным требованием к пробным импульсным воздействиям является соотношение

$$A\tau \approx 1 \text{ при } \tau \rightarrow 0 \text{ и } A \rightarrow \infty.$$

Для многих реальных промышленных объектов формирование импульсного воздействия бывает *затруднительно* в связи физической природой протекающих процессов или сложностью технологических режимов их работы.

Однако, необходимо отметить, что **δ -функция**, несмотря на ее абстрактное существование, используется в аналитических исследованиях систем управления и занимает важное место при получении математических моделей в реальных условиях различными методами идентификации.



Использование периодических воздействий

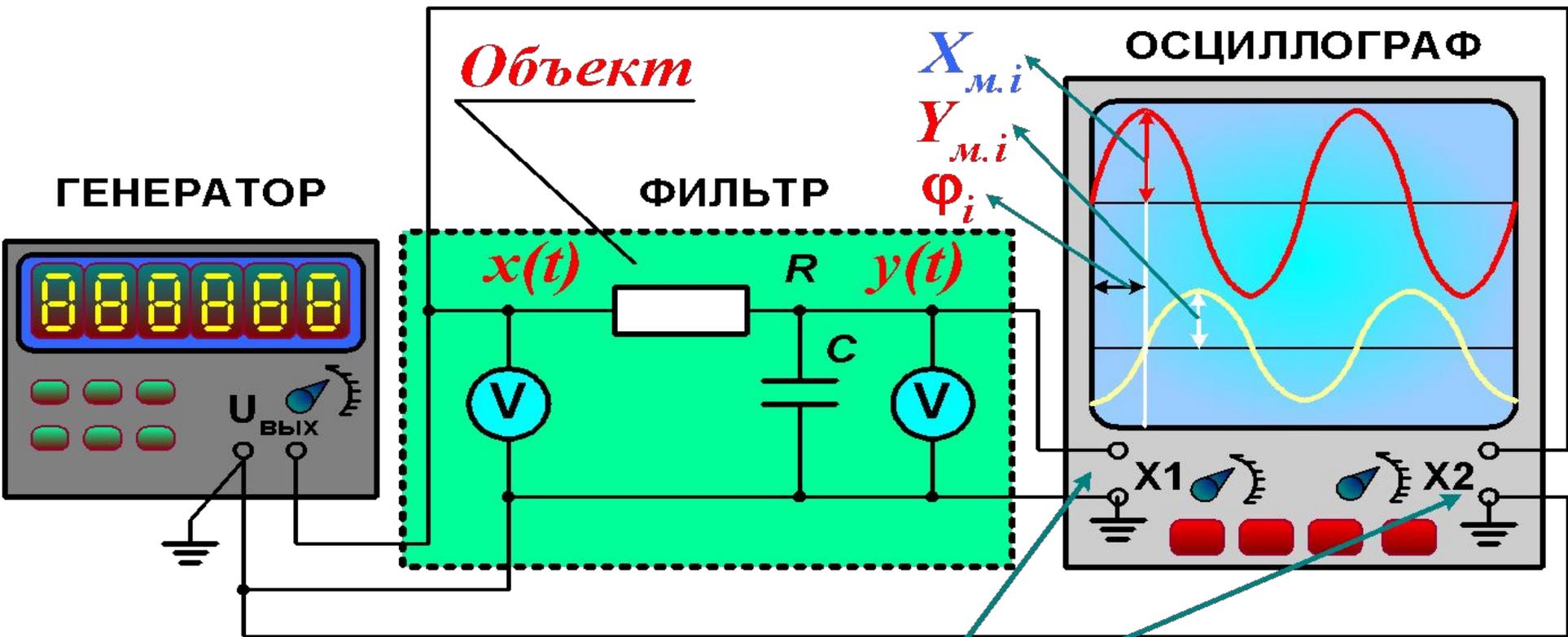
При исследовании объектов для получения их динамических характеристик используются **периодические сигналы**, в частности – **гармонические синусоидальные**.

Будем рассматривать объект, у которого, например, входной и выходной сигналы являются изменениями напряжения и одновременно регистрируются наблюдателем на экране двухлучевого осциллографа, экране дисплея компьютера или диаграммном бланке регистрирующего прибора.

Схема



Схема проведения исследований



$$x_i(t) = X_{m.i} \sin \omega_i t$$
$$y_i(t) = Y_{m.i} \sin (\omega_i t + \varphi_i)$$



Чтобы экспериментально получить частотные характеристики на вход объекта подают синусоидальные воздействия $x_i(t)$ с различными частотами ω_i в диапазоне (теоретически) $0 \leq \omega \leq \infty$ и амплитудой $X_m = \text{const}$, которые изменяются по закону

$$x_i(t) = X_{m.i} \sin \omega_i t. \quad (1.6)$$

График

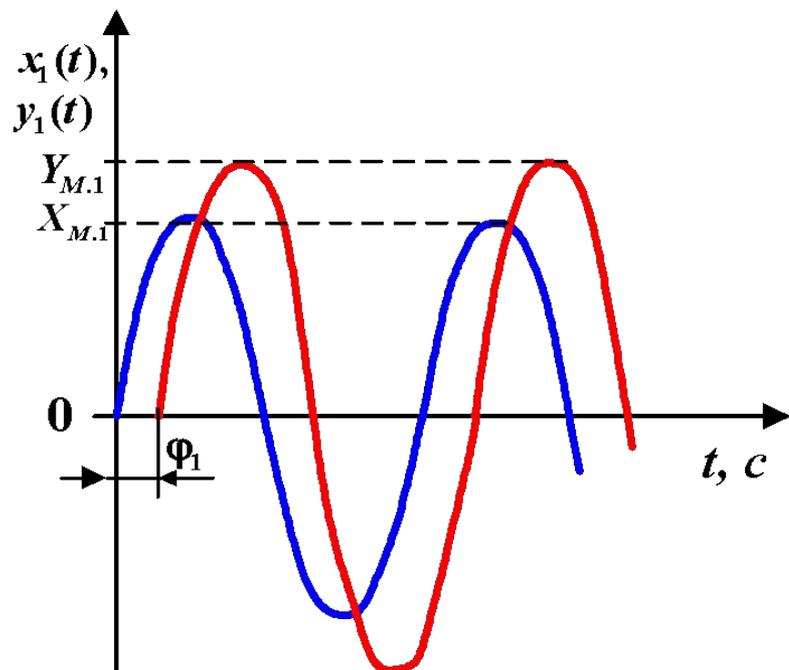
Тогда на выходе **Линейного объекта** имеют место также синусоидальные выходные сигналы $y_i(t)$ той же частоты ω_i , но с измененной амплитудой $Y_{m.i}$ и сдвинутые по фазе на угол ϕ_i относительно $x_i(t)$, т.е.

$$y_i(t) = Y_{m.i} \sin (\omega_i t + \phi_i). \quad (1.7)$$

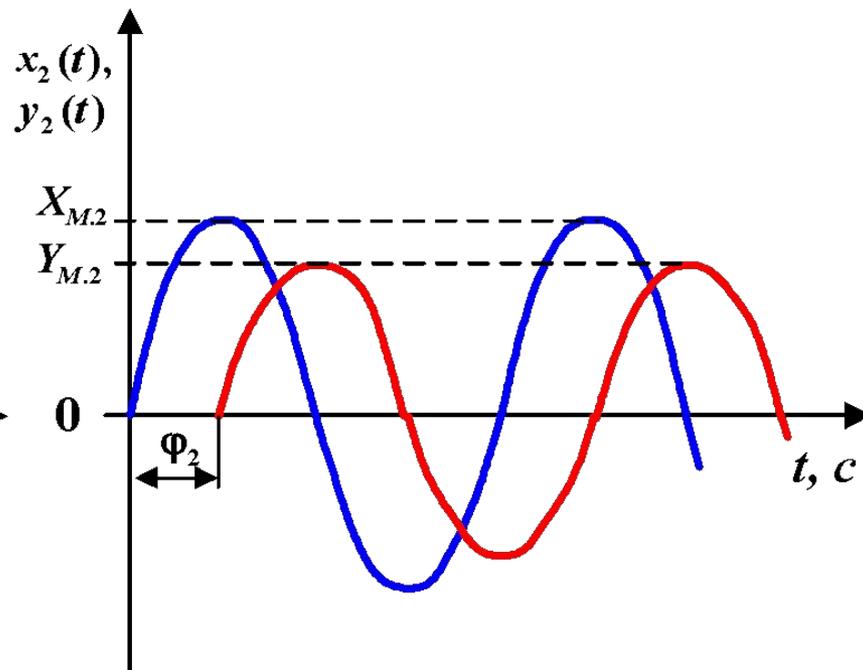
График



Графики реакции объекта на синусоидальный входной сигнал



а)



б)

Показаны сигналы $x_1(t)$, $y_1(t)$ и $x_2(t)$, $y_2(t)$ при различных значениях частоты входного сигнала.

а - при частоте ω_1 ; б - при частоте ω_2



Фазовый сдвиг входных сигналов $x_1(t)$ и $x_2(t)$ равен нулю, тогда как фазовый сдвиг выходных сигналов относительно входных составляет ϕ_1 и ϕ_2 соответственно, причем $\phi_1 \neq \phi_2$.

График

Кроме того, при изменении частоты изменяется амплитуда выходного сигнала, так как из графиков видно, что $Y_{m.1} > Y_{m.2}$.

График

Использование периодических сигналов позволяет получить **важные динамические характеристики технологических объектов**, а именно – **частотные**, на основании которых определяют как структуру, так и параметры исследуемой системы.



7. Рекомендации по применению пробных воздействий

Во многих случаях нарушение нормального функционирования объекта искусственными пробными воздействиями совершенно недопустимо!!!

В этих случаях применяются **пассивные методы идентификации**, как правило, статистические (например, корреляционные), в которых используются **случайные естественные колебания входных сигналов**.

Для эффективного использования этих методов необходим **большой интервал наблюдения**, что требует применения вычислительной техники.

Отсутствие пробного воздействия **устраняет** нежелательные влияния аппаратуры идентификации на процесс управления, но **точность идентификации уменьшается**, особенно при малом уровне управляющей величины.



Многочисленные исследования показывают, что при пассивном эксперименте возникает **много трудностей**, связанных с:

- нестационарностью рабочих случайных сигналов;
- неадекватностью их спектра.

Это обстоятельство делает особенно важным применение **активных методов**, которые в последнее время также в значительной степени **принимают статистический характер**.

Вычисления статистических характеристик существенно упрощаются при некоторых видах пробного сигнала, например, представляющих собой модель **«белого шума»**.



Выводы:

1. Технологические объекты нефтяной и газовой промышленности представляют собой **сложные комплексы**, поэтому для нормального функционирования систем управления этими объектами и создания новых САУ требуется на первом этапе проектирования:

- **досконально** изучить процессы, протекающие в объекте;
- построить на основании этой информации математическую модель объекта, **адекватную** этим процессам.

2. При **исследованиях** необходимо выбрать **более приемлемые методы идентификации**.



3. Использование рассмотренных пробных входных сигналов при **активной идентификации** динамических объектов позволяет:

- сократить время проведения эксперимента;
- количество измерений входных и выходных координат объекта;
- использовать более простое и дешевое контрольно-измерительное оборудование.

4. Активные методы идентификации имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что при их использовании эксперименты проводятся вне процесса управления, т.е. регулирующие и управляющие устройства системы **ОТКЛЮЧЕНЫ** (система управления находится в разомкнутом состоянии).



End

