



Дисциплина  
«*Основы компьютерного проектирования и моделирования радиотехнических систем*»

## Лекция №1

### ОБЩИЕ ВОПРОСЫ О МЕТОДАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

#### Цель:

1. Формирование теоретических основ по основным задачам дисциплины, понятийному аппарату, используемому при ее изучении
2. Изучить характер проблемы моделирования систем, классификацию видов моделирования систем.

#### Учебные вопросы:

1. Цели и задачи проектирования и моделирования технических систем .
2. Общая характеристика проблемы моделирования систем
3. Классификация видов моделирования систем

#### Задание на самостоятельную работу:

Проработать материал лекции по [1] с.25-38 , дополнить конспект лекций перспективами развития методов моделирования в сфере развития информационных технологий



# Лекция №1

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ О МЕТОДАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

### Литература:

**[1]** Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для бакалавров. – 7-е изд. Рекомендовано министерством образования РФ, М.: Издательство Юрайт, 2013 г.

**[2]** О.И. Шелухин. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Рекомендовано УМО, М.: Горячая линия – Телеком, 2014 г.

**[3]** С. Н. Воробьев. Цифровая обработка сигналов, учебник для бакалавров. Рекомендовано министерством образования РФ, М.: Издательский центр Академия, 2013 г.

**[4]** Сергиенко А.Б., Цифровая обработка сигналов. (3 - издание), СПб: БХВ-Петербург, 2011 г.

**[5]** Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И., LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Рекомендовано УМО в качестве учебного пособия, М.: ДМК Пресс, 2007 г.



## 1. Цели и задачи проектирования и моделирования технических систем

**Основной целью** изучения учебной дисциплины является:

формирование у обучаемых систематизированные знания по технологиям компьютерного моделирования функционирования электрических схем радиотехнических устройств, оценки их состоятельности и способах их проектной разработки.

**Задачами** учебной дисциплины являются:

- ознакомление обучаемых с общими положениями методологии моделирования РТС;
- ознакомление обучаемых с технологией проектирования и моделирования РТС .

**В результате изучения дисциплины обучающийся должен:**

**Знать:**

основы моделирования и компьютерного проектирования радиоэлектронных устройств, стандартные пакеты прикладных программ, ориентированных на решение научных и проектных задач радиотехники .

**Уметь:**

применять компьютерные системы и пакеты прикладных программ для проектирования исследования радиотехнических устройств;  
проектировать электронные устройства специальных радиотехнических систем.

**Владеть:**

методами исследования и проектирования радиотехнических устройств.



# 1. Цели и задачи проектирования и моделирования технических систем

**Всего по дисциплине предусмотрено:**

- лекции – 12 занятий (24 часа),
  - практические занятия – 22 часа,
    - лабораторные работы – нет,
- Отчетность – зачет с оценкой.**

**К основной литературе относятся:**

- [1] Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем: учебник для бакалавров. – 7-е изд. Рекомендовано министерством образования РФ, М.: Издательство Юрайт, 2013 г.
- [2] О.И. Шелухин. Моделирование информационных систем. Учебное пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. Рекомендовано УМО, М.: Горячая линия – Телеком, 2014 г.
- [3] С. Н. Воробьев. Цифровая обработка сигналов, учебник для бакалавров. Рекомендовано министерством образования РФ, М.: Издательский центр Академия, 2013 г.
- [4] Сергиенко А.Б., Цифровая обработка сигналов. (3 - издание), СПб: БХВ-Петербург, 2011 г.
- [5] Евдокимов Ю.К., Линдваль В.Р., Щербаков Г.И., LabVIEW для радиоинженера: от виртуальной модели до реального прибора. Рекомендовано УМО в качестве учебного пособия, М.: ДМК Пресс, 2007г.



# 1. Цели и задачи проектирования и моделирования технических систем

## К дополнительной литературе относятся:

- [6] А.И. Солонина, С.М. Арбузов. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в Matlab, учебное пособие, СПб: БХВ-Петербург, 2008 г.
- [7] Ковальков Д.А., Шиманов С.Н., Харитонов В.И. Имитационное моделирование систем в среде MATLAB, Серпухов: МАМИ, 2008 г.
- [8] Дьяконов В., Круглов В., Matlab. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник, СПб: Питер, 2002 г.
- [9] Дьяконов В., Matlab. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник., СПб: Питер, 2002 г.
- [10] Лагутенко О.И., Современные модемы., М.: Эко-Тренз, 2002 г.
- [11] ГОСТ 2.102-68. Виды и комплектность конструкторских документов, М.: Издательство стандартов, 2002 г

## К научной литературе относятся:

- [12] Журнал «Компьютерные исследования и моделирование». Институт компьютерных исследований. Электронный адрес: [csm.ics.org.ru](http://csm.ics.org.ru). (6 раз в год)

## Электронные ресурсы:

- [13] ЭБС «Руконт», ЭБС «Руконт»
- [14] Консультационный центр MatLab компании SoftLine, [www.matlab.ru](http://www.matlab.ru)

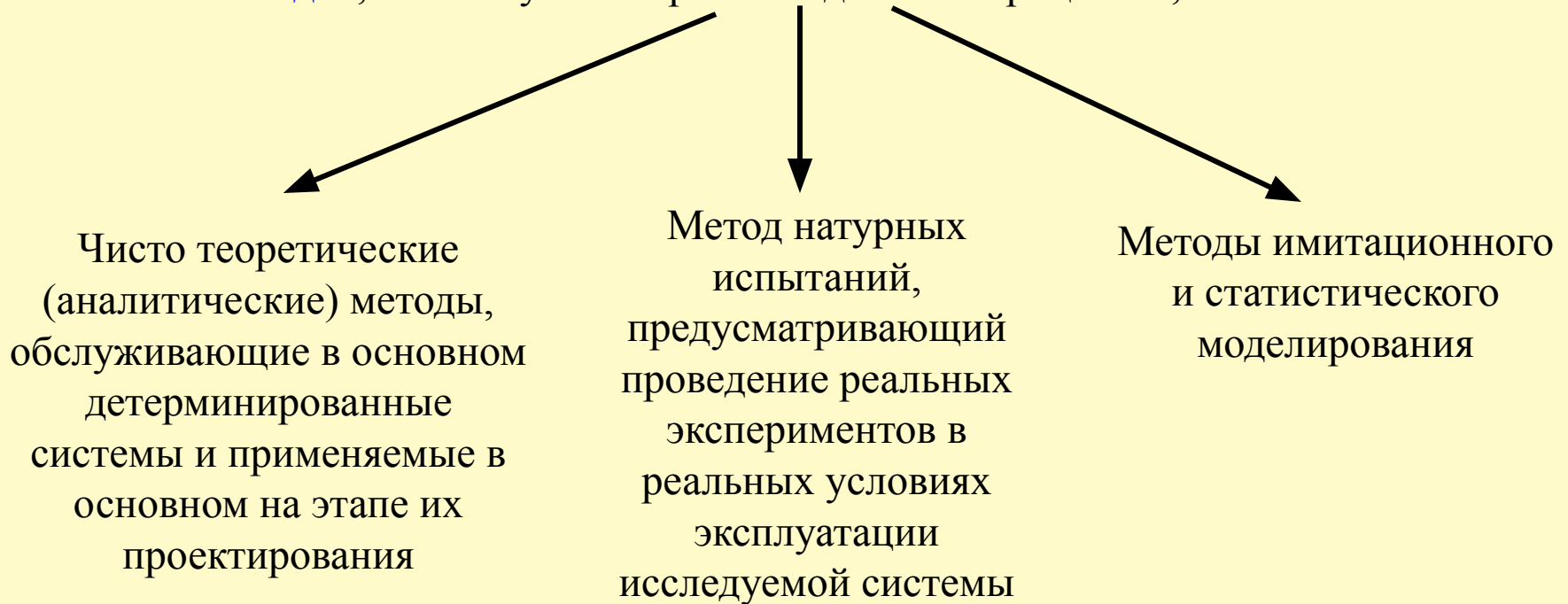


## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

**Моделирование** – это исследование каких-либо систем, явлений, процессов на основе построения и последующего изучения их моделей.

**Моделирование** - процесс замещения объекта-оригинала аналогом (объектом-моделью) с целью получения информации о важнейших свойствах объекта-оригинала.

Классы методов, используемых при исследовании процессов, объектов и явлений





## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

Главная цель построения модели – при заданных входных и выходных наблюдениях добиться понимания исследуемого процесса (явления)

### Проблемы моделирования

← проблемы разработки (построения) моделей

↓ проблемы идентификации моделей

↘ проблемы их верификации, проверки адекватности и последующего применения

Таким образом, сущность проблем, возникающих при построении математических моделей почти всегда проявляется через противоречия между желанием исследователя как можно точнее описать происходящее в системе, а следовательно усложнить модель, и реализацией построенной модели.

Тенденция здесь такова: чем сложнее модель, тем труднее ее реализовать в процессе исследования

Сущность проблемы идентификации моделей заключается в определении структуры и параметров модели по экспериментальной или другого характера информации.

Проблема верификации моделей - выявление свойства моделей, выражающегося в их адекватности реальным системам.



## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

**Случайный эксперимент** (случайное испытание, случайный опыт) - математическая модель соответствующего реального эксперимента, результат которого невозможно точно предсказать.

### **Математическая модель должна удовлетворять требованиям**

- она должна быть адекватна и адекватно описывать эксперимент;
- должна быть определена совокупность множества наблюдаемых результатов в рамках рассматриваемой математической модели при строго определенных фиксированных начальных данных, описываемых в рамках математической модели;
- должна существовать принципиальная возможность осуществления эксперимента со случайным исходом сколь угодно количество раз при неизменных входных данных;
- должно быть доказано требование или априори принята гипотеза о стохастической устойчивости относительной частоты для любого наблюдаемого результата, определённого в рамках математической модели





## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

**Стохастическая модель**- математическая модель процесса, учитывающая факторы случайной природы. Также носит название «**вероятностная**» модель.

Объект, на котором проводятся испытания называют **объектом экспериментального исследования**. Эксперимент заключается в наблюдении исследуемого явления в конкретных условиях.

Под **фактором** понимается переменная, значения которой исследователь с той или иной степенью точности может контролировать в ходе эксперимента.

В качестве входных переменных на вход ОЭИ действует  $k$  контролируемых переменных  $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ . Исследователь имеет возможность проводить эксперимент при определенных фиксированных значениях входных переменных. Совокупность значений переменных, при которых проводятся испытания, составляет **комплекс условий эксперимента**.

На выходе ОЭИ в каждом испытании при фиксированных значениях входных переменных измеряется значение **выходной переменной**  $Y$ . В общем случае выходных переменных может быть несколько.



## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

Если значения переменной  $Y$  в каждом эксперименте при реализации одного и того же комплекса условий (при одних и тех же значениях множества  $\{x_1, x_2, \dots, x_k\}$ ) не меняются, то говорят, что эксперимент обладает **идеальной воспроизводимостью**. В этом случае в качестве математической модели эксперимента используют различные функциональные зависимости:

$$y = \eta(x_1, \dots, x_k)$$

Кроме входных переменных на ОЭИ воздействует группа **неконтролируемых факторов** (вектор помех  $W$ ), действие которых носит случайный характер. К неконтролируемым факторам относятся факторы, которые невозможно учесть и проконтролировать в ходе эксперимента (ошибки установки значений входных переменных, ошибки измерения выходных переменных и т.д.). В силу этого выходная переменная  $Y$  в каждом эксперименте при реализации одного и того же комплекса условий будет принимать различные значения, то есть будет носить случайный характер:

$$y = \eta(x_1, \dots, x_k)$$

**Модель эксперимента** в таком случае будет иметь вид:

$$Y = \eta(x_1, \dots, x_k) + \varepsilon(x_1, \dots, x_k), \text{ где}$$

$\eta(x_1, \dots, x_k)$  - регулярная составляющая, которую называют функцией отклика, а  $\varepsilon(x_1, \dots, x_k)$  - случайная ошибка результата наблюдения (эксперимента).

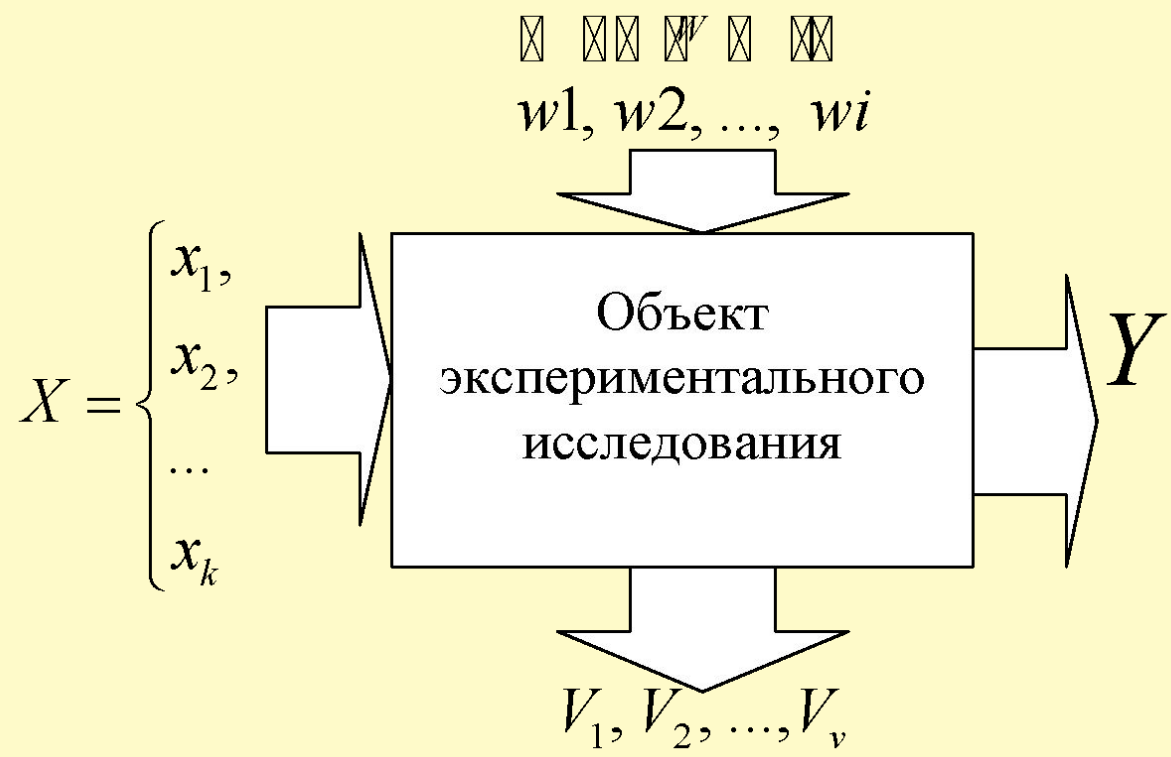


## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

На выходе ОЭИ наряду с основной переменной  $Y$  часто приходится контролировать группу неосновных переменных :  $\{V_1, \dots, V_v\}$ . На неосновные переменные налагаются различные **ограничения**.

$K$ -мерное пространство, координаты которого есть контролируемые переменные, называют **факторным пространством**.

Система ограничений, на неосновные выходные переменные выделяет в факторном пространстве область эксперимента  $G$





## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

Оператор отображения зависимости выходных переменных от входных может быть задан с учетом временного фактора:

$$Y = \eta(X_{-\infty}^t),$$

где через  $X_{-\infty}^t$  обозначен отрезок входного сигнала на интервале времени от  $-\infty$  до текущего времени  $t$ .

Семейство функционалов  $\eta$  характеризует так называемую модель «вход-выход». Такая модель описывает только соотношения между сигналами на входе и выходе рассматриваемой системы и не отражает внутренне состояние системы. По этой причине такую модель называют **моделью «черного ящика»**.

Если входной сигнал известен только на конечном промежутке (интервале наблюдения)  $t \in [t_0, t]$ , то мгновенные значения выходного сигнала  $y(t)$  зависят не только от заданного отрезка  $X_{t_0}^t$ , но и от состояния  $z(t_0)$  описываемой системы, в котором она находилась в момент  $t_0$ .

**Состоянием системы называют** набор сведений о прошлом системы, которой в совокупности с входным сигналом, заданным на промежутке  $t \in [t_0, t]$  необходим и достаточен для описания поведения выходного (наблюдаемого) параметра системы.



## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

Простейший случай такой модели – **статичная система**, т.е. такая, в которой *мгновенное значения выходной переменной* однозначно определяется *только мгновенными значениями входной переменной  $x$* . Такой тип систем называется «**безинерционными системами**» или системами **без памяти**.

Если значения выходной переменной определяются не только действующими в текущий момент времени значениями входных переменных, но и предыдущими значениями, то такие системы называются «**инерционными**» или системы с **памятью**. Все подобные системы обладают **динамическими характеристиками**.

Система называется **стационарной** или инвариантной во времени, если уравнение выхода не зависит от временного сдвига, т.е. от начала момента наблюдения. Характеристики таких ОЭИ постоянны во времени. Выходной сигнал при этом зависит только от входного воздействия и состояния системы.



## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

### Модели стохастических ОЭИ

характеристика системы детерминирована, но входной сигнал, а следовательно и выходной – стохастические

характеристика системы меняется случайным образом, сигнал на входе – детерминированный, а на выходе – стохастический

и сигнал на входе и характеристика ОЭИ – изменяются случайным образом.

$$y(t) = \sum_{i=0}^{\infty} (a_i \cdot \cos(i \cdot \omega_0 \cdot t) + b_i \cdot \sin(i \cdot \omega_0 \cdot t)) = \frac{a_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} (A_i \cdot \cos(i \cdot \omega_0 \cdot t + \varphi_i))$$

$$a_i = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} y(t) \times \cos(i \times \omega_0 \times t) dt$$

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$$

$$A_i = \sqrt{a_i^2 + b_i^2}$$

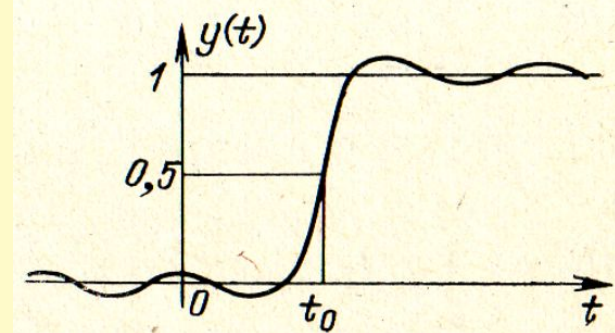
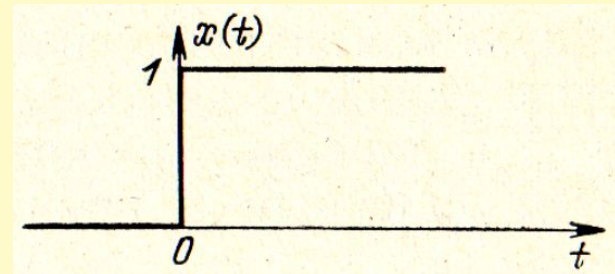
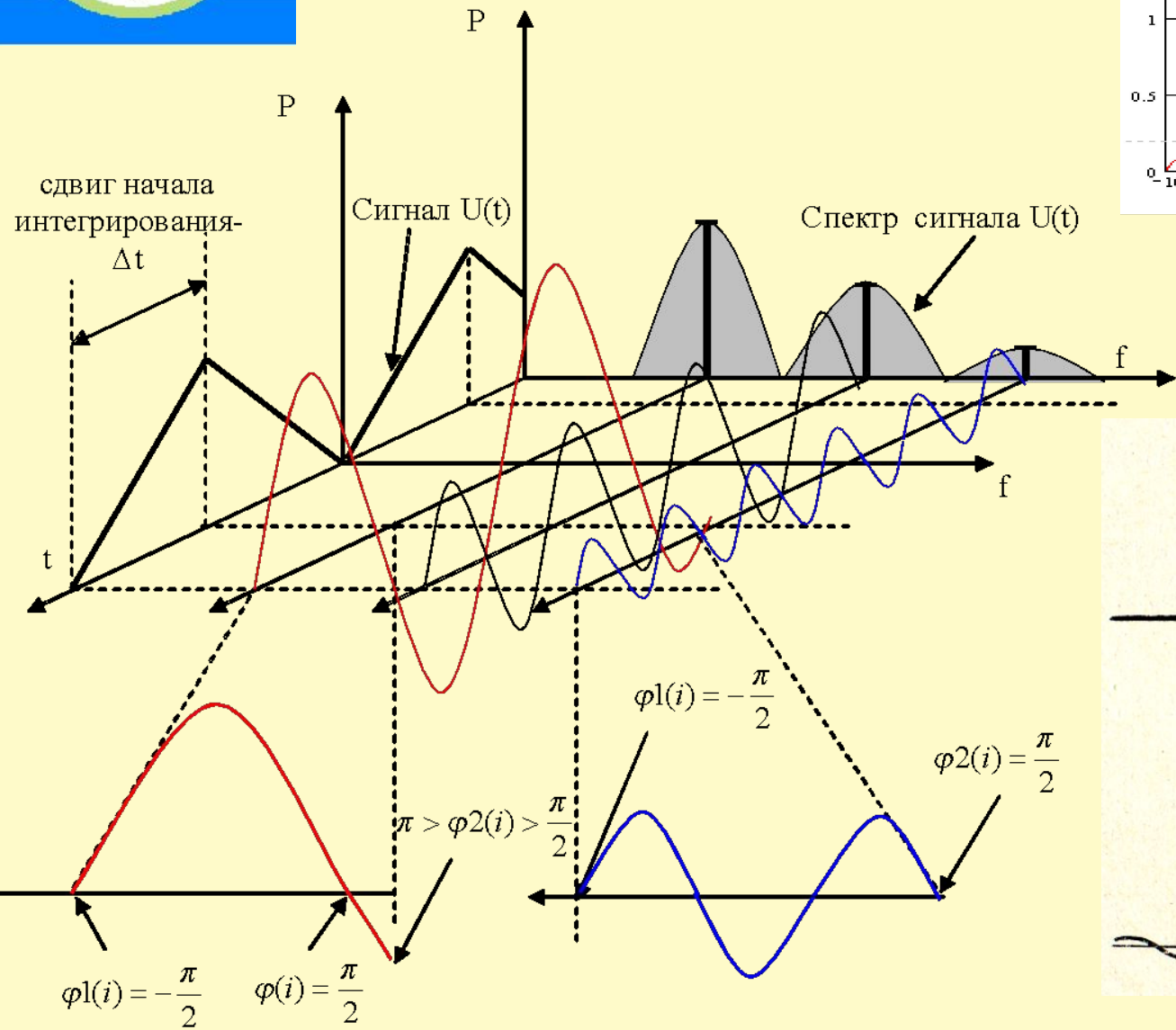
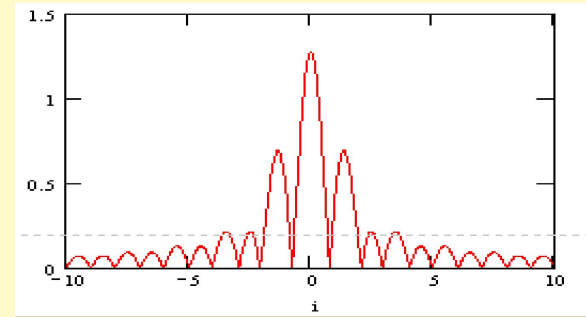
$$b_i = \frac{2}{T} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} y(t) \times \sin(i \times \omega_0 \times t) dt$$

$$\varphi_i = \arctan \frac{b_i}{a_i}$$



## 2. Общая характеристика проблемы моделирования систем

### Спектральное представление любого сигнала





### 3. Классификация видов моделирования систем





### 3. Классификация видов моделирования систем

**Аналитическая модель может быть исследована следующими методами:**

- 1) аналитическим, когда стремятся получить в общем виде явные зависимости для характеристик систем;
- 2) численным, когда не удается найти решение уравнений в общем виде и их решают для конкретных начальных данных;
- 3) качественным, когда при отсутствии решения находят некоторые его свойства.

**При аналитическом моделировании его результаты представляются в виде аналитических выражений.**

#### Пример

Подключив  $RC$  -цепь к источнику постоянного напряжения  $E$  ( $R, C$  - компоненты данной модели), мы можем составить аналитическое выражение для временной зависимости напряжения  $u(t)$  на конденсаторе  $C$ :

$$R \cdot C \frac{du(t)}{dt} + u(t) = E$$

Его решение:

$$u(t) = E \left( 1 - e^{-t/RC} \right)$$

### 3. Классификация видов моделирования систем

Одной из разновидностей моделирования является **численное моделирование**, которое заключается в получении необходимых количественных данных о поведении систем или устройств каким-либо подходящим численным методом, таким как методы Эйлера или Рунге-Кутты.

При **имитационном моделировании** реализующий модель алгоритм воспроизводит процесс функционирования системы во времени. Имитируются элементарные явления, составляющие процесс, с сохранением их логической структуры и последовательности протекания во времени.

**Компьютерное моделирование** - это математическое моделирование с использованием средств вычислительной техники. Соответственно, технология компьютерного моделирования предполагает выполнение следующих действий:

- 1) определение цели моделирования;
- 2) разработка концептуальной модели;
- 3) формализация модели;
- 4) программная реализация модели;
- 5) планирование модельных экспериментов;
- 6) реализация плана эксперимента;
- 7) анализ и интерпретация результатов моделирования.

### 3. Классификация видов моделирования систем

**Для адекватного отображения** процесса функционирования исследуемой системы **имитационная модель должна быть:**

- 1** - связана с функционированием системы. Функционирование системы представляет собой совокупность взаимосвязанных действий, необходимых для выполнения поставленной перед системой задачи. Поэтому имитационная модель должна быть ориентирована, прежде всего, на цели и задачи, решаемые реальной системой, и отражать логику функционирования исследуемой системы во времени;
- 2** - ориентирована на решение стоящих перед исследователем проблем. Прежде всего, исследователь должен быть уверен, что конечные результаты моделирования адекватно отражают поведение реальной системы и поэтому модель, которая может дать ложные результаты, должна быть исключена из дальнейшего рассмотрения. Кроме того, модель должна помочь ответить на все вопросы согласно цели моделирования;
- 3** - построена так, чтобы информация, получаемая с использованием модели, должна находить практическое применение. В противном случае создание модели ради самой модели не имеет смысла;  
обеспечивать возможность многократного воспроизведения модели, т.е. проведения статистического эксперимента.

### 3. Классификация видов моделирования систем

Основные требования, которым должна удовлетворять имитационная модель:  
*полнота* с точки зрения возможностей получения оценок всех характеристик системы с требуемой точностью и достоверностью;

*адаптивность*, позволяющая варьировать структурой, алгоритмами и параметрами модели;

*простота в разработке*, чтобы время ее создания было минимальным при учете ограничений на выделенные ресурсы;

*блочность*, допускающая возможность замены, добавления и исключения отдельных частей без переделки всей модели;

*ориентированность на программные и технические средства автоматизации моделирования*, что позволяет значительно повышать эффективность исследований;

*удобство в обращении и управлении* и понятность пользователю;

*надежность* в смысле гарантии от ложных результатов;

*возможность усложнения*, допускающая в ходе накопления информации изменения в том смысле, что, будучи вначале простой, она может во взаимодействии с пользователем становиться все более сложной.

### 3. Классификация видов моделирования систем

#### Классификация имитационных моделей

