

**Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций**

**Имитационное
моделирование
в проектировании и
технологии изготовления
электронных средств**

**Профессор кафедры КПРС
доктор технических наук, профессор
Савищенко Николай Васильевич**

Темы лекций

- 1. Введение. Понятие модели и моделирования**
- 2. Концепция дискретных систем для имитационного моделирования.**
- 3. Основы имитационного моделирования.**
- 4. Планирование имитационных экспериментов.**
- 5. Обработка имитационных экспериментов**

Темы практических занятий

3

- 1. Модель обработки запросов сервером.**
- 2. Модель процесса изготовления в цехе деталей.**
- 3. Модель функционирования направления связи.**
- 4. Модель функционирования сети связи.**
- 5. Модель функционирования системы связи.**

Темы лабораторных работ 4

- 1. Исследование обработки запросов сервером на имитационной модели.**
- 2. Исследование процесса изготовления в цехе деталей на имитационной модели.**
- 3. Исследование функционирования направления связи на имитационной модели.**
- 4. Исследование качества обслуживания сети связи на имитационной модели.**
- 5. Исследование функционирования системы связи на имитационной модели.**

Темы курсовых проектов

- 1. Имитационная модель функционирования предприятия.**
- 2. Имитационная модель функционирования транспортного терминала.**
- 3. Имитационная модель функционирования системы воздушных перевозок.**
- 4. Имитационная модель функционирования системы оказания ремонтных услуг.**

Система моделирования

6

Практические занятия, лабораторные работы и курсовые проекты выполняются в компьютерной системе моделирования дискретных и непрерывных процессов **AnyLogic 7.**

Литература

- 1. Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики: Учеб. пособие. — СПб.: ВАС, 2009. — 436 с.**
- 2. Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики: Курс лекций. — ИНТУИТ.ru, 2010.**
- 3. Боев В. Д. Концептуальное проектирование систем: Учеб. пособие. — ИНТУИТ.ru, 2014.**

**Санкт-Петербургский государственный
университет телекоммуникаций**

ЛЕКЦИЯ

**Введение. Понятие модели
и моделирования**

**Профессор кафедры КПРС
доктор технических наук, профессор
Савищенко Николай Васильевич**

Учебные цели занятия

Изучить:

- понятие системы как объекта моделирования;
- основные понятия моделирования;
- этапы моделирования;
- требования, предъявляемые к моделям.

Учебные вопросы

- 1. Система и модель.**
- 2. Классификация моделей и моделирования.**
- 3. Этапы моделирования.**
- 4. Адекватность модели.**
- 5. Требования, предъявляемые к моделям.**

- Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики: Учеб. пособие. — СПб.: ВАС, 2009. — 436 с.
- Боев В. Д., Сыпченко Р. П. Компьютерное моделирование. Элементы теории и практики: Курс лекций. — ИНТУИТ.ru, 2010.
- Боев В. Д. Концептуальное проектирование систем в AnyLogic 7 и GPSS World: Курс лекций. — ИНТУИТ.ru, 2014.

В лекции раскрываются понятие системы как объекта моделирования, понятия модели и моделирования, их назначение как основного, а подчас, и единственного метода анализа и синтеза сложных систем и процессов.

Дается обзор классификации моделей и моделирования, приводятся этапы моделирования и требования, предъявляемые к создаваемым моделям.

Система (от греч. systema – целое, составленное из частей; соединение) – совокупность взаимосвязанных элементов, объединенных в одно целое для достижения некоторой цели, определяемой назначением системы.

Элемент – минимальный неделимый объект, рассматриваемый как единое целое.

Сложная (большая) система характеризуется большим числом входящих в её состав элементов и связей между ними.

Комплекс – совокупность взаимосвязанных систем.

1. Система как объект моделирования

Структура системы задается перечнем элементов, входящих в состав системы, и связей между ними.

Способы описания структуры системы:

- **графический** – в форме: **графа**, в котором вершины соответствуют элементам системы, а дуги – связям между ними; **схем**, в которых элементы обозначаются в виде специальных символов;
- **аналитический** – путем задания количества типов элементов, числа элементов каждого типа и матрицы связей (инцидентности), определяющей взаимосвязь элементов.

1. Система как объект моделирования

15

Функция системы – правило достижения поставленной цели, описывающее поведение системы и направленное на получение результатов согласно назначению системы.

Способы описания функции системы:

- **алгоритмический** – словесное описание в виде последовательностей шагов, которые должна выполнять система для достижения поставленной цели;
- **аналитический** – в виде математических зависимостей в терминах некоторого математического аппарата;
- **графический** – в виде временных диаграмм или графических зависимостей;
- **табличный** – в виде различных таблиц, отражающих основные функциональные зависимости.

1. Система как объект моделирования

Организация системы – способ достижения поставленной цели за счет выбора определенной структуры и функции системы. В соответствии с этим различают структурную и функциональную организацию системы.

Функциональная организация определяется способом порождения функций системы, достаточных для достижения поставленной цели.

Структурная организация определяется набором элементов и способом их соединения в структуру, обеспечивающую возможность реализации возлагаемых на систему функций. Структурная организация определяется функцией, возлагаемой на систему.

Фундаментальные свойства системы, требующие применения системного подхода при их исследовании методами математического моделирования:

- **целостность** – система рассматривается как единое целое, состоящее из **взаимодействующих** элементов, возможно неоднородных, но **совместимых**;
- **связность** – наличие существенных устойчивых связей между элементами и/или их свойствами, причем с системных позиций значение имеют не любые, а лишь **существенные** связи, которые определяют **интегративные** свойства системы;

1. Система как объект моделирования

- **организованность** – наличие определенной структурной и функциональной организации, обеспечивающей снижение энтропии (степени неопределенности) системы по сравнению с энтропией системообразующих факторов, определяющих возможность создания системы, к которым относятся: число элементов системы, число существенных связей, которыми может обладать каждый элемент, и т.п.;
- **интегративность** – наличие качеств, присущих системе в целом, но не свойственных ни одному из ее элементов в отдельности; другими словами, интегративность означает, что *свойства системы хотя и зависят от свойств элементов, но не определяются ими полностью.*

1. Система как объект моделирования

В общем случае моделирование направлено на решение задач:

- **анализа**, связанных с оценкой эффективности систем, задаваемой в виде совокупности **показателей эффективности**;
- **синтеза**, направленных на построение **оптимальных систем** в соответствии с выбранным **критерием эффективности**.

Эффективность – степень соответствия системы своему назначению.

1. Система как объект моделирования

С понятием «эффективность» системы связаны следующие понятия.

Показатель эффективности (качества) – мера одного свойства системы. Показатель эффективности всегда имеет *количественный* смысл.

Критерий эффективности – мера эффективности системы, обобщающая все свойства системы в одной оценке – значении критерия эффективности.

Оптимальная система – система, которой соответствует максимальное (минимальное) значение критерия эффективности из всех возможных вариантов построения системы, удовлетворяющих заданным требованиям.

Анализ (от греч. *análysis* — разложение, расчленение) — процесс определения свойств, присущих системе. В процессе анализа на основе сведений о функциях и параметрах элементов, входящих в состав системы, и сведений о структуре системы определяются характеристики, описывающие свойства, присущие системе в целом.

Синтез (от греч. *synthesis* - соединение, сочетание, составление) — процесс порождения функций и структур, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к эффективности системы.

Количественно любая система описывается множеством величин, которые могут быть разбиты на два класса:

- **параметры**, описывающие *первичные* свойства системы и являющиеся исходными данными при решении задач анализа;
- **Характеристики (показатели)**, описывающие *вторичные* свойства системы и определяемые в процессе решения задач анализа как функция параметров, то есть эти величины являются вторичными по отношению к параметрам.

Параметры могут быть:

- *детерминированными* или *случайными*;
- *управляемыми* или *неуправляемыми*.

Изучение систем удобно проводить в терминах процессов.

Процесс (от лат. processus – продвижение) – последовательная смена состояний системы во времени.

Состояние системы задается совокупностью значений переменных, описывающих это состояние. Система находится в некотором состоянии, если она полностью описывается значениями переменных, которые задают это состояние.

Система совершает **переход** из одного состояния в другое, если описывающие ее переменные изменяются от значений, задающих одно состояние, на значения, которые определяют другое состояние.

Причина, вызывающая переход из состояния в состояние, называется **событием**.

Понятия **«система»** и **«процесс»** тесно взаимосвязаны и часто рассматриваются как эквивалентные понятия, к которым одинаково применимы термины «состояние» и «переход».

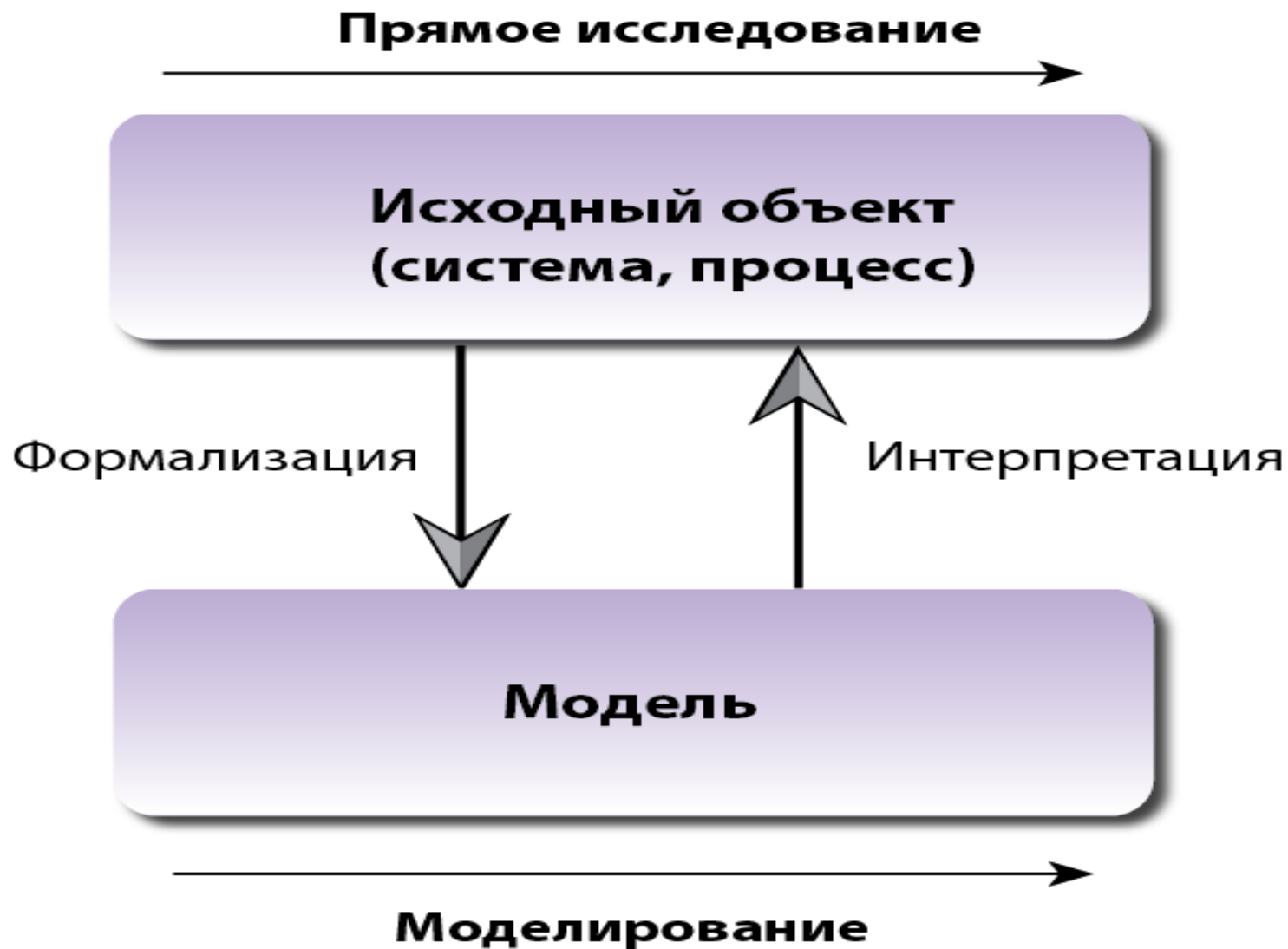
Процессы и соответственно системы, в которых они протекают, могут быть квалифицированы. Вариант классификации мы рассмотрим в следующем вопросе лекции.

2. Классификация моделей и моделирования

Моделирование – замещение одного **исходного объекта** (**системы, процесса**) другим объектом, называемым **моделью**, и проведение экспериментов с моделью с целью получения информации об исходном объекте путем исследования свойств модели.

Моделирование – сложный многоэтапный процесс исследования систем, направленный на выявление **свойств** и **закономерностей**, присущих исследуемым системам, с целью их **создания** или **модернизации**.

К понятию «моделирование»



Модель – физический или абстрактный объект, адекватно отображающий исследуемую систему.

Моделирование - возможность исследования таких объектов, прямой эксперимент с которыми:

- опасен;
- экономически невыгоден;
- долговременен;
- кратковременен;
- протяжён в пространстве;
- невозможен;
- неповторим;
- ненагляден.

Моделирование является инженерной наукой, технологией решения задач.

Так как технология есть способ достижения результата с известным заранее качеством и гарантированными затратами и сроками, то моделирование, как дисциплина:

- изучает способы решения задач, то есть является инженерной наукой;
- **является универсальным инструментом, гарантирующим решение любых задач, независимо от предметной области.**

Каждая модель создается для конкретной цели и, следовательно, уникальна.

Однако наличие общих черт позволяет сгруппировать все их многообразие в отдельные классы. Наиболее актуальны следующие

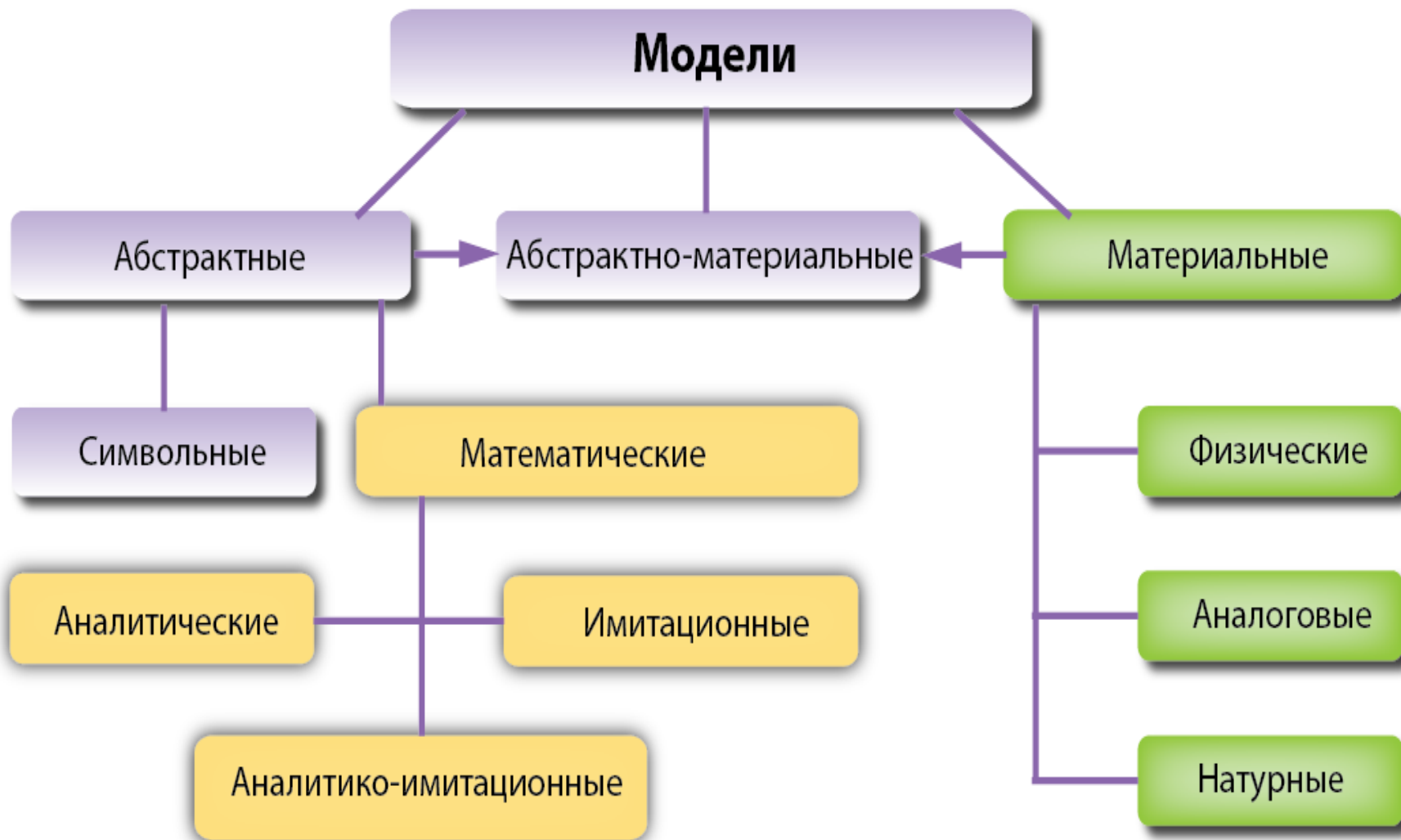
признаки классификации:

- **характер моделируемой стороны объекта;**
- **характер процессов, протекающих в объекте;**
- **способ реализации модели.**

Классификация моделей по признаку «характер процессов, протекающих в объекте»



Классификация моделей по признаку «способ реализации модели объекта»



Математические модели

Математическое моделирование — это процесс установления соответствия моделируемому объекту некоторой математической конструкции, называемой ***математической моделью***, и исследование этой модели для получения характеристик моделируемого объекта.

Аналитические модели — это функциональные соотношения:

- **системы:**

- алгебраических,
- дифференциальных,
- интегро - дифференциальных уравнений,

- **логических условий.**

Закон Ома, законы Кирхгофа — аналитические модели электрической цепи. Также аналитическими моделями являются первый и второй законы Ньютона.

Математические модели

Имитационная модель — универсальное средство исследования сложных систем, представляющее собой логико-алгоритмическое описание поведения отдельных элементов системы и правил их взаимодействия, отображающих последовательность событий, возникающих в моделируемой системе.

Статистическое моделирование – метод исследования сложных систем, основанный на описании процессов функционирования отдельных элементов в их взаимосвязи с целью получения множества частных результатов, подлежащих обработке методами математической статистики для получения конечных результатов.

В основе статистического моделирования лежит метод статистических испытаний – метод Монте-Карло.

Понятия **«статистическое»** и **«имитационное моделирование»** часто рассматривают как синонимы. Однако следует иметь в виду, что статистическое моделирование не обязательно является имитационным. Например, вычисление определённого интеграла методом Монте-Карло путём определения подынтегральной площади на основе множества статистических испытаний, относится к статистическому моделированию, но не может называться имитационным.

3. Этапы моделирования

Процесс моделирования есть процесс перехода из реальной области в виртуальную область (модельную) посредством формализации, далее происходит изучение модели (собственно моделирование) и, наконец, интерпретация результатов как обратный переход из виртуальной области в реальную. В самом **простом случае** технология моделирования, как мы видели подразумевает 3 этапа: *формализация*, собственно *моделирование*, *интерпретация*.

Схема процесса моделирования (вариант)

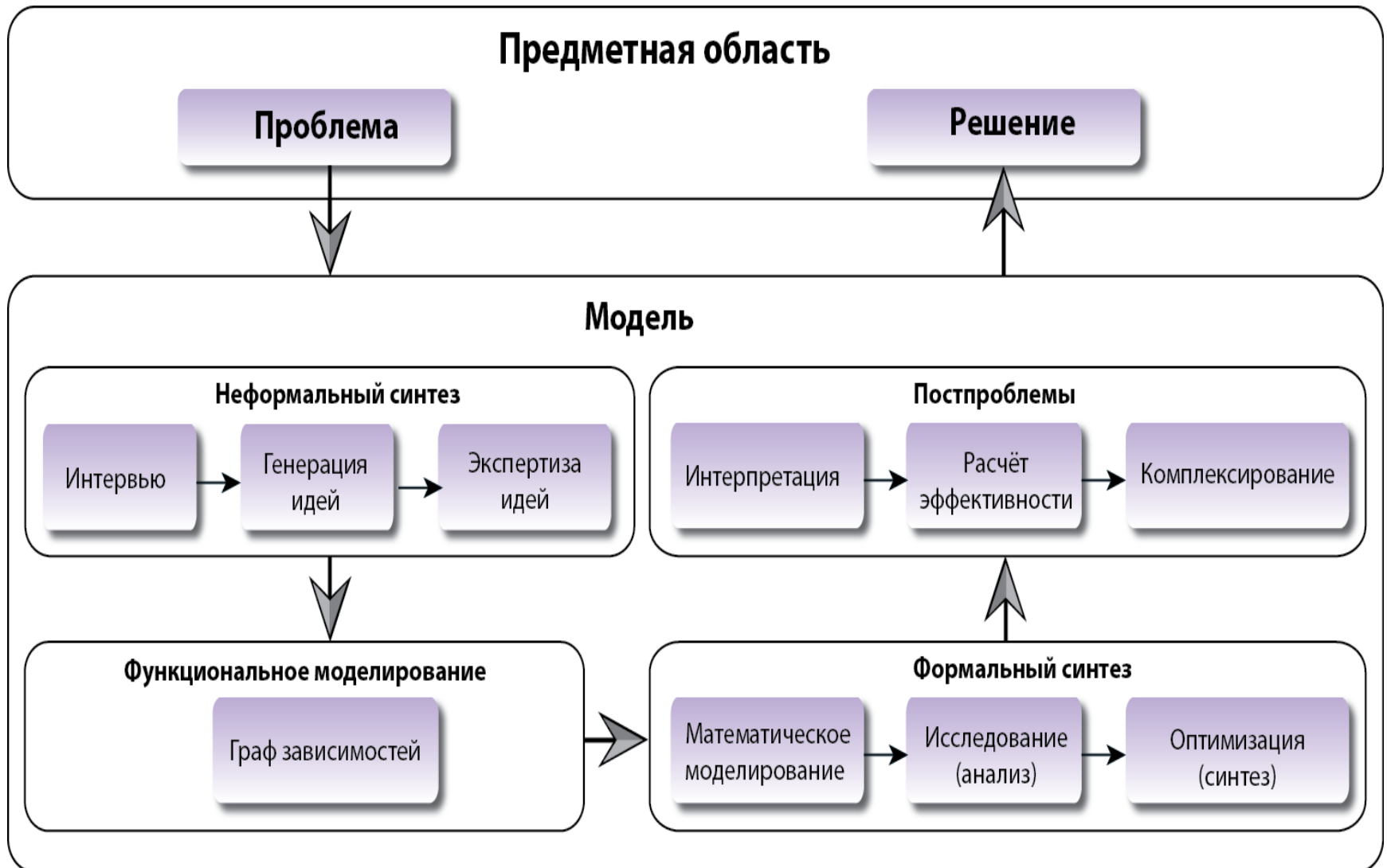
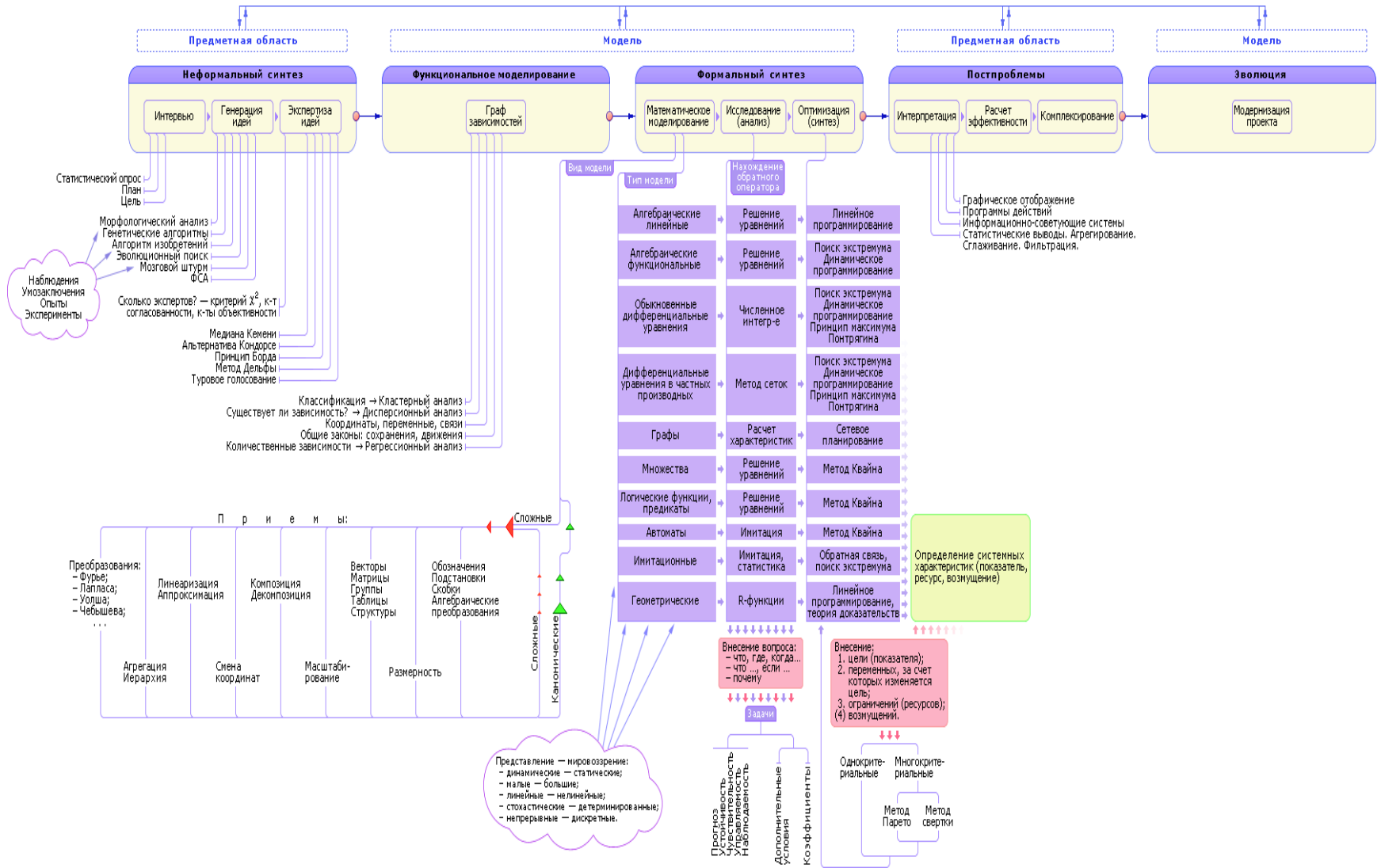


Схема процесса моделирования (вариант)



3. Этапы моделирования

Математическое моделирование считается искусством и наукой. В инженерной практике **нет формализованной инструкции, как создавать модели.**

И, тем не менее, анализ схем процессов моделирования, приёмов и методов, которые используют разработчики моделей, позволяет рекомендовать следующие этапы процесса моделирования.

Этапы процесса моделирования



1. Определение объекта моделирования, задач анализа и синтеза, требований к качеству функционирования, критерия эффективности.

2. Выявление наиболее существенных аспектов структурно-функционально-информационной организации, учёт которых необходим для получения требуемых результатов.

3. Формализованное описание структуры, процесса функционирования и информационного процесса системы для однозначности их понимания.

4. Установление соответствия между значениями системных и модельных параметров и показателей.

5. Зависит от целей моделирования, сложности исследуемой системы, требований к исследуемым параметрам и показателям, требований к точности получаемых результатов и т.д.

6. Выбираются технические и программные средства моделирования с учётом достаточности, их возможностей для реализации концептуальной и математической моделей, разрабатывается программа модели, проверяется её адекватность.

7. Производится с использованием теории планирования экспериментов с целью максимальной информативности эксперимента, получения данных с необходимыми точностью и достоверностью.

8. Направлен на выявление свойств, присущих исследуемой системе.

4. Адекватность модели

Адекватность означает, достаточно ли хорошо с точки зрения целей исследования результаты, полученные в ходе моделирования, отражают истинное положение дел. Термин происходит от латинского слова *adaequatus* — приравненный. Говорят, что модель адекватна оригиналу, если при ее интерпретации возникает «портрет», в высокой степени сходный с оригиналом.

4. Адекватность модели

Отличие модели от исследуемой системы связано со следующим:

- обычно модель является упрощенным и идеализированным отображением системы;
- идеализацией внешних условий и режимов функционирования, не учитывающей в модели несущественных, по мнению исследователя, факторов и параметров;
- отсутствием точных сведений о внешних воздействиях и о некоторых конкретных нюансах организации системы;
- введением ряда упрощающих ограничений и допущений.

4. Адекватность модели

Проверка адекватности модели

исследуемой системе (верификация модели) заключается в анализе ее соответствия исследуемой системе, проявляющегося в близости значений модельных и системных характеристик.

На практике верификация модели обычно проводится путем экспертного анализа разумности результатов моделирования.

4. Адекватность модели

Предварительно исходный вариант модели подвергается следующим проверкам:

- все ли существенные параметры включены в модель;
- нет ли в модели несущественных параметров;
- правильно ли отражены функциональные связи между параметрами;
- правильно ли определены ограничения на значения параметров;
- не дает ли модель абсурдные ответы, если ее параметры принимают предельные значения.

4. Адекватность модели

Но все эти **рекомендации носят неформальный, рекомендательный характер. Формальных методов оценки адекватности не существует!**

Поэтому, в основном, качество модели (и в первую очередь степень ее адекватности системе) зависит от опыта разработчика модели и других субъективных факторов.

Окончательное суждение об адекватности модели может дать лишь практика, то есть сравнение модели с оригиналом на основе экспериментов с объектом и моделью.

4. Адекватность модели

Для оценки степени подобия структур объектов (физических или математических) существует понятие **изоморфизма** (изо — одинаковый, равный, морфе — форма, греч.).

Две системы **изоморфны**, если существует взаимно однозначное соответствие между элементами и отношениями (связями) этих систем.

4. Адекватность модели

Для оценки подобия в поведении (функционировании) систем существует понятие **изофункционализма**.

Две системы произвольной, а подчас неизвестной структуры **изофункциональны**, если при одинаковых воздействиях они проявляют одинаковые реакции. Такое моделирование называется функциональным или кибернетическим.

5. Требования, предъявляемые к моделям

Общие требования к моделям.

1. Модель должна быть **актуальной**.
2. Модель должна быть **результативной**.
3. Модель должна быть **достоверной**.
4. Модель должна быть **экономичной**.

Эти требования (обычно их называют внешними) выполнимы при условии обладания моделью следующими внутренними свойствами.

5. Требования, предъявляемые к моделям

Модель должна быть:

- 1. Существенной**, т. е. позволяющей вскрыть сущность поведения системы, вскрыть неочевидные, нетривиальные детали.
- 2. Мощной**, т. е. позволяющей получить широкий набор существенных сведений.
- 3. Простой** в изучении и использовании.
- 4. Открытой**, т.е. позволяющей ее модификацию.

Заключение

Тема следующей лекции:

Концепция дискретных систем для имитационного моделирования.