

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ\ЗАДАЧИ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Компьютерная  
технология  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ**

Моделирование

Управление

Наблюдение

Фильтрация

Идентификация

Диагностика

Адаптация

Оптимизация

Визуализация

# ***КОМПЬЮТЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ - МОДЕЛИРОВАНИЕ***

***Моделирование*** основано на наличии у многообразия естественных и искусственных систем, сходства или подобия некоторых свойств: геометрических, структурных, функциональных, поведенческих.

***Модель*** - абстрактное описание системы (объекта, процесса, проблемы, понятия) в некоторой форме, отличной от формы их реального существования.

***Моделирование*** представляет собой один из основных методов познания, является формой отражения действительности и заключается в выяснении или воспроизведении тех или иных свойств реальных объектов, с помощью абстрактного описания в виде изображения, плана, совокупности уравнений, алгоритмов и программ.

Исследование современных сложных технических систем предполагает различные классы моделей.

***Компьютерные\информационные технологии*** позволяют реализовать модели различных видов в рамках информационных систем различного назначения, например, информационно-управляющие системы, системы распознавания образов, системы искусственного интеллекта, системы поддержки принятия решений.

В основе этих систем лежат модели различных типов: семантические, логические, математические и т.п.

Общая классификация основных видов моделирования:

- **концептуальное моделирование** – представление системы с помощью специальных знаков, символов, операций над ними или с помощью естественных или искусственных языков;
- **физическое моделирование** – моделируемый объект или процесс воспроизводится исходя из соотношения подобия, вытекающего из схожести физических процессов и явлений;
- **структурно – функциональное моделирование** – моделями являются схемы (графы, блок-схемы), графики, диаграммы, таблицы, рисунки со специальными правилами их объединения и преобразования;
- **математическое (логико-математическое) моделирование** – построение модели осуществляется средствами математики и логики;
- **имитационное (программное) моделирование** – в этом случае логико-математическая модель исследуемой системы представляет собой алгоритм функционирования системы, программно-реализуемый на компьютере.

Указанные виды моделирования могут применяться *самостоятельно* или *одновременно*, в *некоторой комбинации* (например, в имитационном моделировании используются практически все перечисленные виды моделирования или отдельные приемы).

**Компьютерное моделирование** – это метод решения задач анализа или синтеза сложной системы на основе использования ее компьютерной модели.

Компьютерное моделирование можно рассматривать как:

- математическое моделирование;
- имитационное моделирование;
- стохастическое моделирование.

**Компьютерная модель** - условный образ объекта или некоторой системы объектов (или процессов), описанный с помощью уравнений, неравенств, логических соотношений, взаимосвязанных компьютерных таблиц, графов, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и т.д. и отображающих структуру и взаимосвязи между элементами объекта.

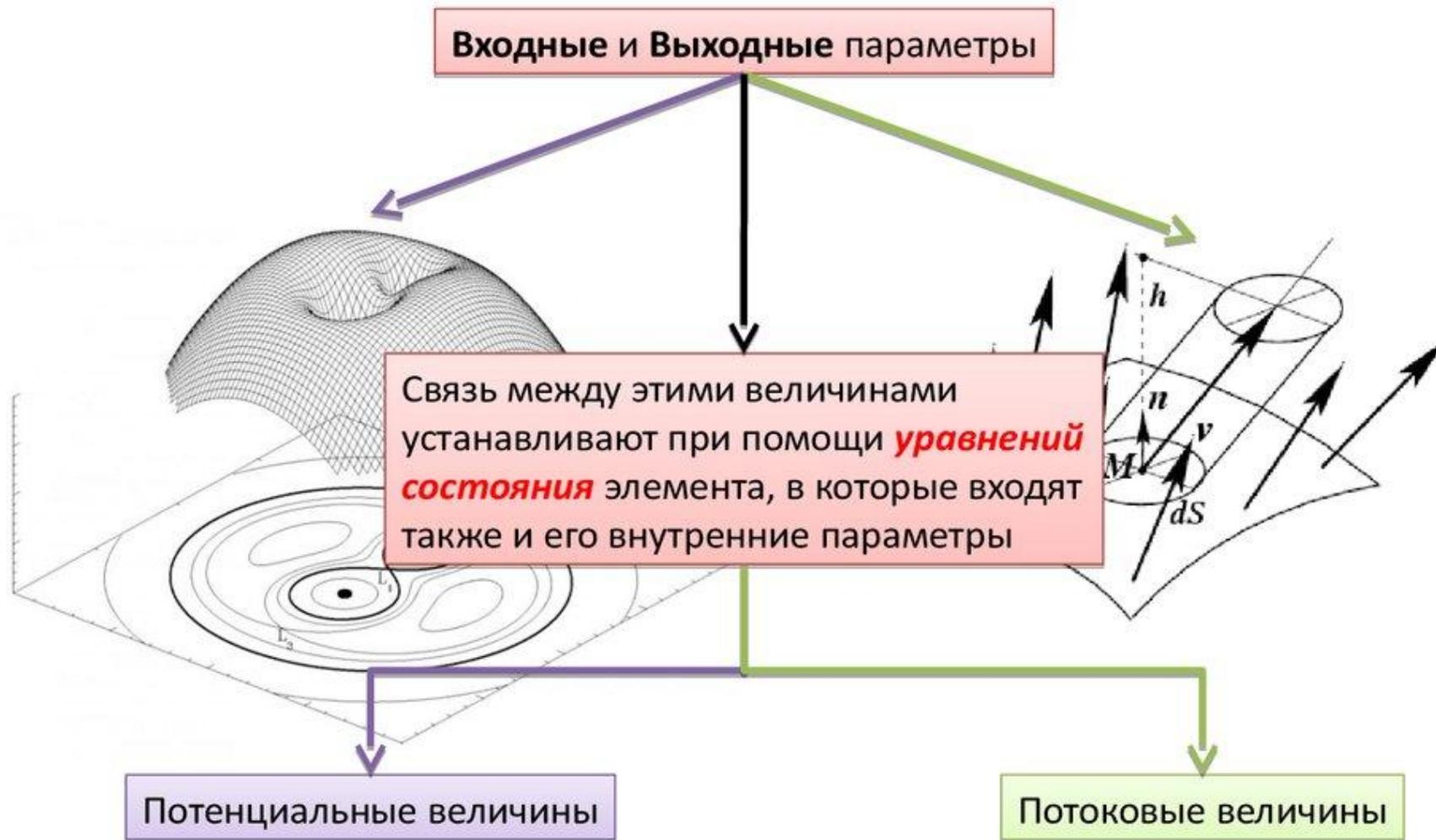
Т.о., понятие компьютерного моделирования трактуется шире традиционного понятия - моделирование на ЭВМ.

**Компьютерные модели**, описанные с помощью уравнений, неравенств, логических соотношений, взаимосвязанных компьютерных таблиц, графов, диаграмм, графиков, можно называть **математическими**.

**Компьютерные модели**, описанные с помощью взаимосвязанных компьютерных таблиц, графов, диаграмм, графиков, рисунков, анимационных фрагментов, гипертекстов и т.д. и отображающих структуру и взаимосвязи между элементами объекта, можно называть **структурно-функциональными**.

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МАКРОУРОВНЯ

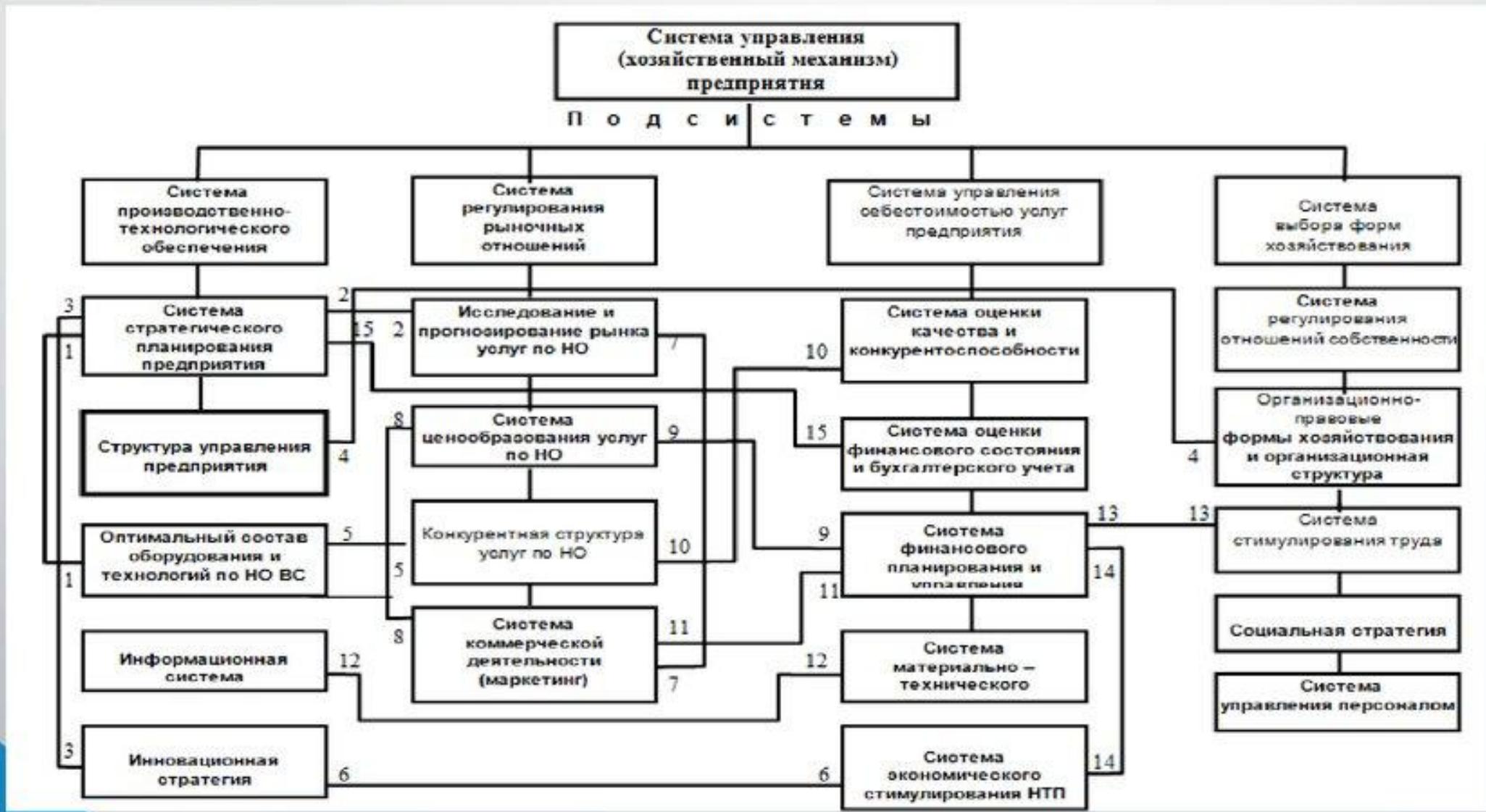
фазовые переменные зависят только от времени



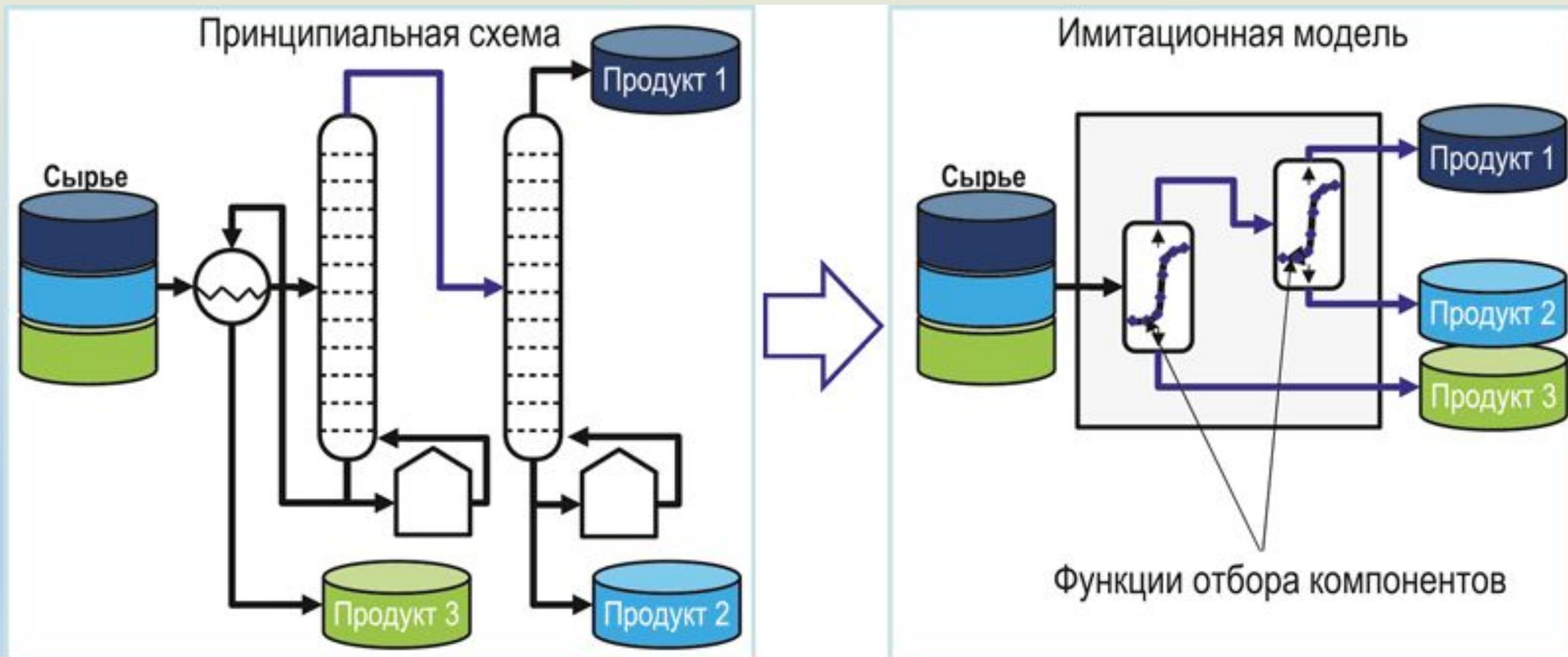
# ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ВУЗОВСКОГО ОБУЧЕНИЯ



# Структурно-функциональная модель системы управления компании по наземному обслуживанию ВС в аэропортах РФ



Компьютерные модели (отдельную программу, совокупность программ, программный комплекс), позволяющие, с помощью последовательности вычислений и графического отображения результатов ее работы, воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта (системы объектов) при условии воздействия на объект различных, как правило, случайных факторов, будем называть **имитационными**.



**12.09.2010 16:03:01**  
 Model time elapsed: 2 min 13 sec  
 Model time elapsed: 39 sec  
 Average performance: 3.36

Reset stats

Show flow speed on map  
 Show congestion at speed 40 km/h



**1 car selected**  
 00067  
 Speed 3.581E-17  
 Pref. speed 47.7  
 Acceleration -0  
 Priority 0.313  
 Add. info 1 23.45  
 Add. info 2 23.45  
 Add. info 3 23.45  
 Add. info 4 23.45

Indication  
 Car-following info  
 Gap acceptance info  
 Way ahead



***Суть компьютерного моделирования*** заключается в получении количественных и качественных результатов на имеющейся модели.

***Качественные результаты*** анализа обнаруживают неизвестные ранее свойства сложной системы: ее структуру, динамику развития, устойчивость, целостность и др.

***Количественные выводы*** в основном носят характер анализа существующей СС или прогноза будущих значений некоторых переменных.

Возможность получения не только качественных, но и количественных результатов составляет существенное отличие имитационного моделирования от структурно-функционального.

## ***Общие тезисы о моделировании***

***Методологией*** компьютерного моделирования является ***системный анализ*** (направление кибернетики, общая теория систем).

В математическом моделировании на ЭВМ методологической основой являются: исследование операций, теория математических моделей, теория принятия решений, теория игр и др.

Центральной процедурой системного анализа является построение ***обобщенной модели***, отражающей все факторы и взаимосвязи ***реальной системы*** (технической системы).

Предметом компьютерного моделирования может быть любая сложная система, любой объект или процесс.

Категории целей при этом могут быть самыми различными.

Компьютерная модель должна отражать все свойства, основные факторы и взаимосвязи реальной сложной системы, критерии, ограничения.

Компьютерное моделирование предлагает совокупность методологических подходов и технологических средств, используемых для подготовки и принятия решений в различных областях исследования.

Выбор метода моделирования для решения поставленной задачи или исследования системы является прерогативой и всегда актуальной задачей исследователя.

Уточним место имитационных моделей и их специфику среди моделей других классов.

Процедурно-технологическая схема построения и исследования моделей включает следующие этапы определения, характерные для любого метода моделирования:

1. Системы (предметная, проблемная область);
2. Объекта моделирования;
3. Целевого назначения моделей;
4. Требований к моделям;
5. Формы представления;
6. Вида описания модели;
7. Характера реализации модели;
8. Метода исследования модели.

Этапы 1-3 характеризуют объект и цель исследования и практически определяют следующие этапы моделирования.

*При этом большое значение приобретает корректное описание объекта и формулировка цели моделирования из предметной области исследования.*



**Предметная (проблемная) область.** Исследование различных систем: математических, экономических, производственных, социальных, систем массового обслуживания, вычислительных, информационных и многих других.

Модель должна строиться целенаправленно.

Целенаправленная модель представляет собой замену действительности с той степенью абстракции, которая необходима для поставленной цели,

*то есть, модель, прежде всего, должна отражать те существенные свойства и те стороны моделируемого объекта, которые определены задачей.*

При этом важно правильно обозначить и сформулировать проблему, четко определить цель исследования, проводимого с помощью моделирования.

**Требования к моделям.** Моделирование связано с решением реальных задач и необходимо быть уверенным, что результаты моделирования с достаточной степенью точности отражают истинное положение вещей, т.е. модель адекватна реальной действительности.

Хорошая модель должна удовлетворять некоторым общепринятым требованиям.

*Такая модель должна быть:*

- адекватной; – надежной; – простой и понятной пользователю;*
- целенаправленной; – удобной в управлении и обращении;*
- функционально полной с точки зрения возможностей решения главных задач;*
- адаптивной, позволяющей легко переходить к другим модификациям или обновлять данные;*
- допускающей изменения (в процессе эксплуатации она может усложняться).*

В зависимости от целевой направленности модели, для нее задаются специальные требования.

Наиболее характерными являются:

- целостность,
- отражение информационных свойств,
- многоуровневость,
- множественность (многомодельность),
- расширяемость,
- универсальность,
- осуществимость (реальная возможность построения самой модели и ее исследования),
- реализуемость (например, на ЭВМ),
- возможность материализации модели в виде реальной системы в задачах проектирования,
- эффективность (затраты временных, трудовых, материальных и других видов ресурсов на построение моделей и проведение экспериментов находятся в допустимых пределах или оправданы).

Значимость или приоритетность требований к модели непосредственно вытекают из назначения модели.

Например, в исследовательских задачах, задачах управления, планирования и описания важным требованием является *адекватность* модели объективной реальности.

В задачах проектирования и синтеза, уникальных систем важным требованием является реализуемость модели.

Цель моделирования и задание требований к модели определяют *форму представления модели*.

Можно выделить три формы представления моделей:

- мысленные (образы);
- знаковые (структурные схемы, описания в виде устного и письменного изложения, логические, математические, логико-математические конструкции);
- материальные (лабораторные и действующие макеты, опытные образцы).

Знаковые модели используются для моделирования разнообразных систем.

Это направление связано с развитием вычислительных систем.

Следующий этап процедурной схемы – это выбор вида описания и построения модели.

Для знаковых форм такими описаниями могут быть:

- отношение и исчисление предикатов, семантические сети, фреймы, методы искусственного интеллекта и др. - для *логических* форм.
- алгебраические, дифференциальные, интегральные, интегрально-дифференциальные уравнения и др. – для *математических* форм.

Характер реализации знаковых моделей бывает:

- аналитический (например, система дифф. уравнений может быть решена математиком на листе бумаги);
- машинный (аналоговый или цифровой);
- физический (автоматный).

# Имитационное моделирование

*Имитационное моделирование*, в общем случае, можно рассматривать как экспериментальный метод исследования реальной системы по ее имитационной модели, который сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники.

Имитационное моделирование является *машинным методом моделирования* благодаря развитию информационных технологий, что и привело к появлению этого вида компьютерного моделирования.

Но при этом применяется *имитационный метод исследования* (осуществляется эксперимент с моделью).

В процессе имитационного моделирования исследователь имеет дело с четырьмя основными элементами:

- реальная система;
- логико-математическая модель моделируемого объекта;
- имитационная (машинная) модель;
- ЭВМ, на которой осуществляется имитация – направленный вычислительный эксперимент.



**Особенностью имитационного моделирования** является то, что имитационная модель позволяет воспроизводить моделируемые объекты:

- *с сохранением их логической структуры;*
- *с сохранением поведенческих свойств* (последовательности чередования во времени событий, происходящих в системе), т.е. динамики взаимодействий.

При имитационном моделировании *структура* моделируемой системы *адекватно отображается* в модели, а процессы ее функционирования проигрываются (имитируются) на построенной модели.

Поэтому построение имитационной модели заключается в описании структуры и процессов функционирования моделируемого объекта или системы.

В описании имитационной модели выделяют две составляющие:

- статическое описание системы, которое по-существу является описанием ее структуры.  
*При разработке имитационной модели необходимо применять структурный анализ моделируемых процессов.*
- динамическое описание системы, или описание динамики взаимодействий ее элементов.  
*При его составлении фактически требуется построение функциональной модели моделируемых динамических процессов.*

**Идея метода:** *(с точки зрения программной реализации)*

- всем элементам системы поставить в соответствие некоторые программные компоненты,
- состояния этих элементов описывать с помощью переменных состояния,
- элементы взаимодействуют между собой (или обмениваются информацией) - значит, может быть реализован алгоритм функционирования отдельных элементов, т.е., моделирующий алгоритм,
- элементы существуют во времени - значит надо задать алгоритм изменения переменных состояний.

Динамика в имитационных моделях реализуется с помощью механизма продвижения модельного времени.

Отличительной особенностью метода имитационного моделирования является возможность описания и воспроизведения взаимодействия между различными элементами системы.

Таким образом, чтобы составить имитационную модель, надо:

- представить реальную систему (процесс), как совокупность взаимодействующих элементов;
- алгоритмически описать функционирование отдельных элементов;
- описать процесс взаимодействия различных элементов между собой и с внешней средой.

Ключевым моментом в имитационном моделировании является выделение и описание состояний системы.

Система характеризуется набором переменных состояний, каждая комбинация которых описывает конкретное состояние.

Следовательно, путем изменения значений этих переменных можно имитировать переход системы из одного состояния в другое.

Таким образом, имитационное моделирование – это представление динамического поведения системы посредством продвижения ее от одного состояния к другому в соответствии с определенными правилами.

Эти изменения состояний могут происходить либо непрерывно, либо в дискретные моменты времени.

Имитационное моделирование есть динамическое отражение изменений состояния системы с течением времени.

При имитационном моделировании логическая структура реальной системы отображается в модели, а также имитируется динамика взаимодействий подсистем в моделируемой системе.

Для описания динамики моделируемых процессов в имитационном моделировании реализован *механизм задания модельного времени*. Этот механизм встроен в управляющие программы системы моделирования.

Чтобы обеспечить имитацию параллельных событий реальной системы вводят некоторую глобальную переменную (обеспечивающую синхронизацию всех событий в системе)  $t_0$ , которую называют *модельным (или системным) временем*.

Существуют два основных способа изменения  $t_0$ :

- **пошаговый** (применяются фиксированные интервалы изменения модельного времени);
- **по-событийный** (применяются переменные интервалы изменения модельного времени, при этом величина шага измеряется интервалом до следующего события).

В случае *пошагового метода* продвижение времени происходит с минимально возможной постоянной длиной шага (*принцип  $t$* ).

Эти алгоритмы не очень эффективны с точки зрения использования машинного времени на их реализацию.

Способ фиксированного шага применяется в случаях:

- если закон изменения от времени описывается интегро-дифференциальными уравнениями.  
*Характерный пример: решение интегро-дифференциальных уравнений численным методом. В подобных методах шаг моделирования равен шагу интегрирования. Динамика модели является дискретным приближением реальных непрерывных процессов;*
- когда события распределены равномерно и можно подобрать шаг изменения временной координаты;
- когда сложно предсказать появление определенных событий;
- когда событий очень много, и они появляются группами.

В остальных случаях применяется по-событийный метод, например, когда события распределены неравномерно на временной оси и появляются через значительные временные интервалы.

*По-событийный метод (принцип “особых состояний”).*

В этом методе координаты времени меняются тогда, когда изменяется состояние системы.

В по-событийных методах длина шага временного сдвига максимально возможная.

Модельное время с текущего момента изменяется до ближайшего момента наступления следующего события.

Применение по-событийного метода предпочтительнее в том случае, если частота наступления событий невелика. Тогда большая длина шага позволит ускорить ход модельного времени.

Таким образом, вследствие последовательного характера обработки информации в ЭВМ, параллельные процессы, происходящие в модели, преобразуются с помощью рассмотренного механизма в последовательные. Такой способ представления носит название квазипараллельного процесса.

Простейшая классификация на основные виды имитационных моделей связана с применением двух этих способов продвижения модельного времени.

Различают имитационные модели:

- *непрерывные;*
- *дискретные;*
- *непрерывно-дискретные.*

В *непрерывных имитационных моделях* переменные изменяются непрерывно, состояние моделируемой системы меняется как непрерывная функция времени, и, как правило, это изменение описывается системами *дифференциальных уравнений*.

Соответственно продвижение модельного времени зависит от численных методов решения дифференциальных уравнений.

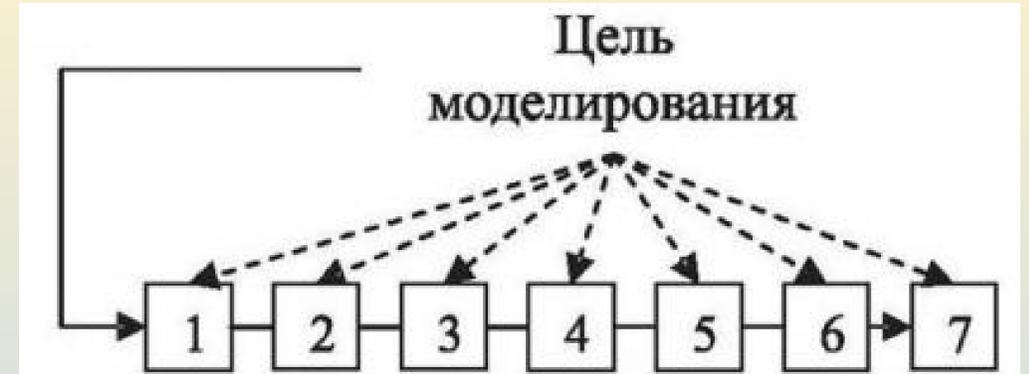
В *дискретных имитационных моделях* переменные изменяются дискретно в определенные моменты имитационного времени (наступления событий).

Динамика дискретных моделей представляет собой процесс перехода от момента наступления очередного события к моменту наступления следующего события.

Поскольку в реальных системах непрерывные и дискретные процессы часто невозможно разделить, были разработаны *непрерывно-дискретные модели*, в которых совмещаются механизмы продвижения времени, характерные для этих двух процессов.

## Общая технологическая схема имитационного моделирования

- 1 – реальная система;
- 2 – построение логико-математической модели;
- 3 – разработка моделирующего алгоритма;
- 4 – построение имитационной (машинной) модели;
- 5 – планирование и проведение имитационных экспериментов;
- 6 – обработка и анализ результатов;
- 7 – выводы о поведении реальной системы (принятие решений).



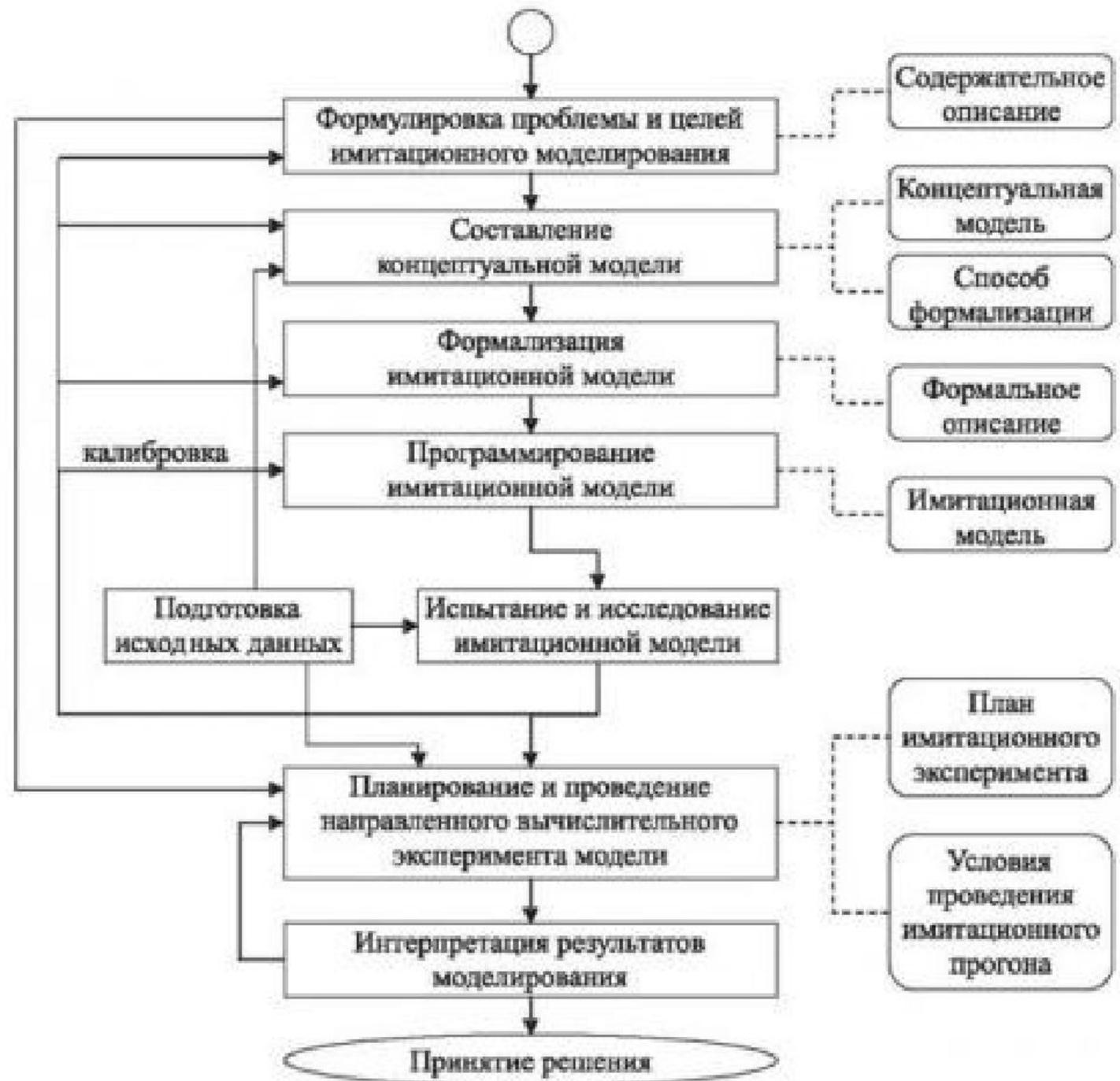
Метод имитационного моделирования позволяет решать задачи высокой сложности, обеспечивает имитацию сложных и многообразных процессов, с большим количеством элементов.

Отдельные функциональные зависимости в таких моделях могут описываться громоздкими математическими соотношениями.

Поэтому имитационное моделирование эффективно используется в задачах исследования систем со сложной структурой с целью решения конкретных проблем.

# ЭТАПЫ СОЗДАНИЯ и ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ

Вне зависимости от типа моделей (непрерывные и дискретные, детерминированные и стохастические и т.д.) имитационное моделирование включает в себя ряд основных этапов и является сложным *итеративным процессом*:



Эксперименты по моделированию проводятся с весьма разнообразными целями, в числе которых могут быть:

- оценка – определение, насколько хорошо система предлагаемой структуры будет соответствовать некоторым конкретным критериям;
- сравнение альтернатив – сопоставление конкурирующих систем, рассчитанных на выполнение определенной функции, или же на сопоставление нескольких предлагаемых рабочих принципов или методик;
- прогноз – оценка поведения системы при некотором предполагаемом сочетании рабочих условий;
- анализ чувствительности – выявление из большого числа действующих факторов тех, которые в наибольшей степени влияют на общее поведение системы;
- выявление функциональных соотношений – определение при-роды зависимости между двумя или несколькими действующими факто-рами, с одной стороны, и откликом системы с другой;
- оптимизация – точное определение такого сочетания действующих факторов и их величин, при котором обеспечивается наилучший отклик всей системы в целом.