

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Лекции - 6 часов

Лаб работы – 8 часов

Самостоятельная работа

Отчетность: зачет

Семёнов Сергей

Петрович

каб. 227/3, ssp@ugrasu.ru

www.anylogic.ru

lir.ugrasu.ru

Цель:

- обучение основным принципам построения моделей, необходимых для анализа процессов и явлений социального, экономического и управленческого характера

Компьютерные модели, воспроизводящие структуру и поведение управляемого объекта (организация, бизнес, город, общественная система)

Топ-менеджмент, ответственный за выработку и принятие управленческих решений, со знаниями и опытом в области экономики, бизнеса, государственного управления

ПРОГРАММА КУРСА

Глава А. Методология имитационного моделирования.

Глава В. Модель СМО

Глава С. Модель диффузии по Ф.Бассу

ПРОГРАММА КУРСА

Глава А. Методология имитационного моделирования

1. Актуальность
2. Примеры моделей
3. Суть математического моделирования
4. Аналитическое и имитационное моделирование
5. Определение ИМ, фазы ИМ, другие характеристики
6. Принципы математического моделирования
7. Классификация моделей
8. Интуиция и моделирование
9. Методологические категории моделирования
10. Системный анализ проблемы
11. Негативные тренды информационного общества
12. Особенности принятия решения в сложных системах
13. Контринтуитивное поведение социальных систем
14. Обратные связи в сложных системах
15. Направления имитационного моделирования

Основная литература

1. Вьюненко, Л. Ф. Имитационное моделирование : учебник и практикум для академического бакалавриата / Л. Ф. Вьюненко, М. В. Михайлов, Т. Н. Первозванская ; под ред. Л. Ф. Вьюненко. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 283 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-6428-8
2. **Карпов, Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 [Текст] / Ю.Г.Карпов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 400 с.**
3. Боев, В.Д. Компьютерное моделирование [Текст]: пособие для курсового и дипломного проектирования / В.Д.Боев, Д.И.Кирик, Р. П. Сыпченко. – СПб.: ВАС, 2011. — 348 с.
4. Киселева, М.В. Имитационное моделирование систем в среде AnyLogic [Текст]: учеб.-метод. пособие / М.В.Киселёва. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. – 88 с.
5. Маликов, Р.Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6 [Текст]: учеб. пособие / Р.Ф. Маликов. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. – 296с.

Дополнительная литература

1. Кельтон, В. Имитационное моделирование. Классика CS [Текст] / В. Кельтон, А. Лоу. 3-е изд. Пер. с англ. – СПб.: Издательская группа BNV, 2004. – 847 с.
2. Кобелев, Н.Б. Имитационное моделирование [Текст]: учеб. пособие / Н.Б.Кобелев, В.В. Девятков, В.А.Половников. – М.: КУРС: ИНФРА-М, 2013. – 368с.
3. Леоненко, А. В. Самоучитель UML [Текст] / А. В. Леоненко – 2-е изд, перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 432с.
4. Арнольд, В.И. “Жесткие” и “мягкие” математические модели // Мате-матическое моделирование социальных процессов. М., МГУ, 1998. С. 29-51.
5. Бабенко, Л.П. Основы программной инженерии [Текст] / Л.П.Бабенко, Е.М. Лаврищева. – М.: Знание, 2001. – 269с.
6. Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем [Текст] / Н.П Буслен-ко. – М.: Наука, 1978. – 400с.
7. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / А.Гасников, С.Кленов, Е.Нурминский, Я.Холодов, Н.Шамрай. –М.: Изд-во МЦНМО, 2013. - 427 с..
8. Гнеденко, Б.Б. Введение в теорию массового обслуживания [Текст] / Б.Б.Гнеденко, И.Н. Коваленко. – М., Наука, 1966. – 255 с.
9. Емельянов, А.А. Имитационное моделирование экономических процес-сов [Текст] / А.А. Емельянов, Е.А.Власова, Е.А. Дума. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 364 с.
10. Задорожный, В.Н. Имитационное и статистическое моделирование [Текст]: учеб. пособие / В.Н.Задорожный. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. – 136 с.
11. Замятина, О.М. Моделирование систем [Текст]: учеб. пособие / О.М Замятина. – Томск: Изд-во ТПУ, 2009. – 204 с.

Электронные ресурсы

1. Компания AnyLogic. Справочная документация и др. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http:// www.anylogic.ru](http://www.anylogic.ru), свободный.
2. Введение в математическое моделирование. Интернет– Университет Информационных Технологий [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.intuit.ru/studies/courses/1020/188/info>, (2014, 21фев.).
3. Имитационное моделирование систем бизнеса [Электронный ресурс] // Применение имитационного моделирования. – Режим доступа: <http://www.gpss.ru/>, свободный.
4. Примеры имитационных моделей [Электронный ресурс] // примеры имитационных моделей, построенных в среде AnyLogic. – Режим доступа: <http://headwire.narod.ru/>, www.runthemodel.com, свободный.
5. Национальное общество имитационного моделирования: <http://simulation.su/ru.html>

A1. Понятие модели. Типы моделей.

В современном мире моделирование рассматривается как основной метод научного познания

- ✓ Получение и фиксация информации об изучаемых объектах
- ✓ Приобретение новых знаний на основе модельных экспериментов

Исторически методу моделирования предшествовал метод научного эмпиризма (от греч. *empeiria* опыт).

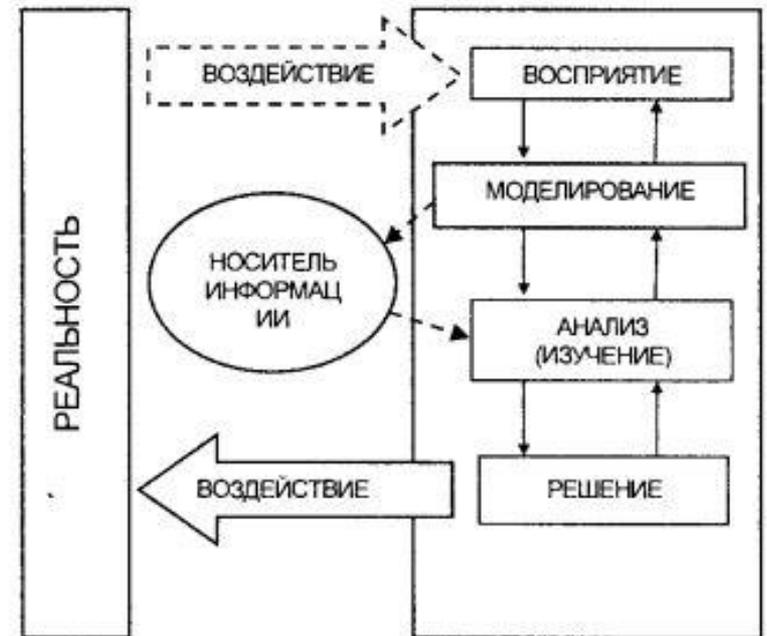
Последние три десятилетия подавляющее количество моделей разрабатывается с

Модель реальной системы (объекта, процесса, явления)

Реальной - в смысле «существующей или способной принять одну из форм существования».

Философской базой моделирования выступает теория отражения

В научных исследованиях свойство отражения означает форму взаимодействия реальности и человеческого сознания



Модель - представление системы в некоторой форме,
(упрощённой), отличной от её реального воплощения

Модель как заменитель реальной системы (оригинала)

Система-оригинал S^o , отображается в некоторую другую систему S , систему-модель, **цифровой ДВОЙНИК**

Модель содержит лишь те сведения об объекте-оригинале, которые существенны для цели её создания.

Модели одного и того же объекта, предназначенные для разных целей, могут быть

Моделью является такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты, отражая представления её создателя о причинно-следственных связях в реальном мире

ПРИМЕР 1.

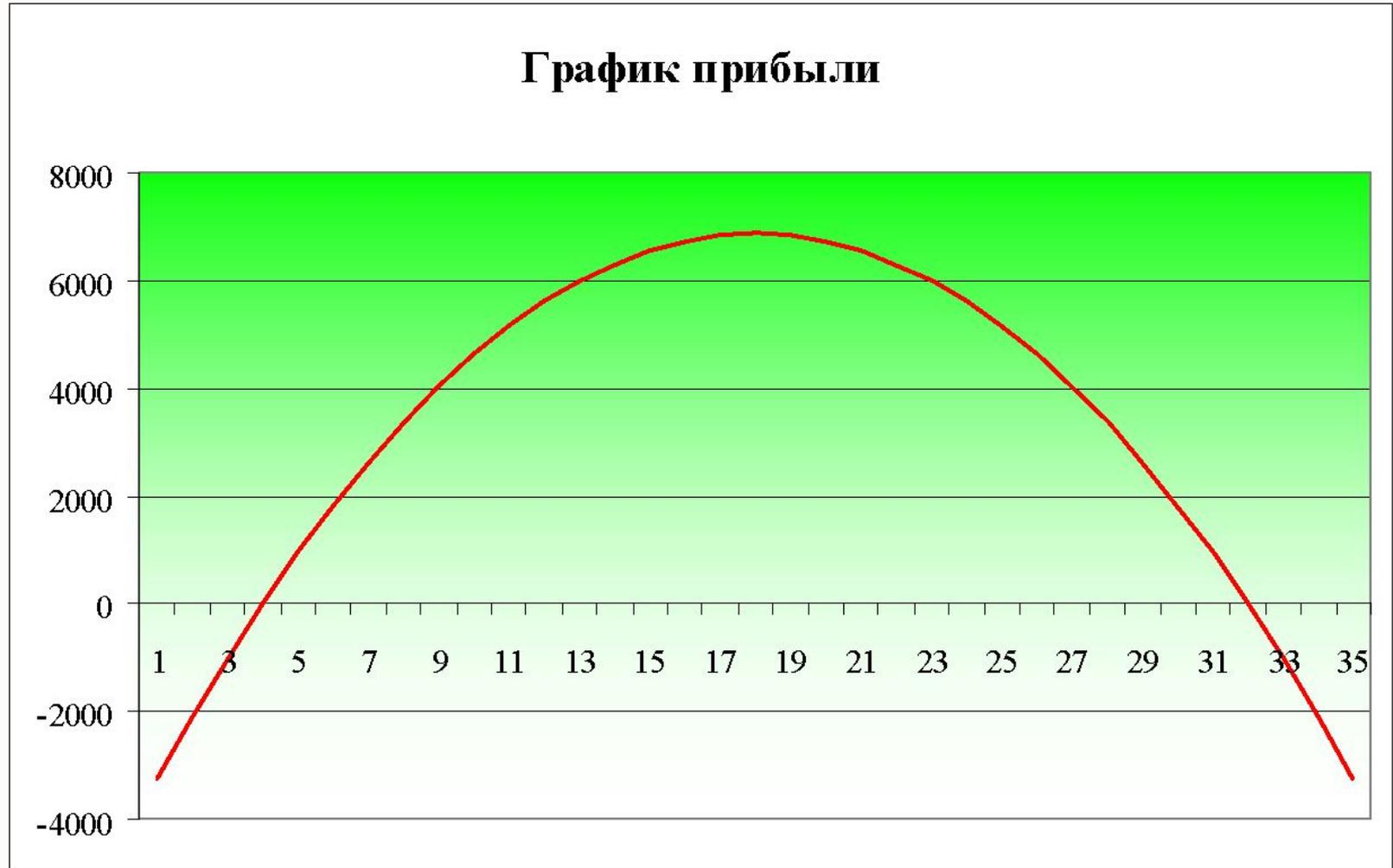
Пример 1.

Коммерсант приобретает товар по 7 руб. за штуку.
Максимальный объем продаж y связан с назначаемой им ценой p по формуле $y = 2940 - 140 p$.

Какое оптимальное количество товара должен приобрести коммерсант и какова должна быть оптимальная цена продажи товара?

ПРИМЕР 1.

Пример 1.



Актуальность

Преимущества:

- возможность эксперимента на модели, построение различных сценариев возможного развития событий;
- формализация позволяет рассматривать задачу как математическую и, следовательно, возможно применить всю мощь универсального математического аппарата;
- оптимизация и прогнозирование;
- «Что будет, если...?»;
- «Как сделать, чтобы....?».

ТИПЫ МОДЕЛЕЙ

Математическая модель реального объекта есть упрощенная, идеализированная, приближенная схема, составленная с помощью математических символов и операций, логических связей и систем уравнений, блок-схем, диаграмм и графиков, а также компьютерных программ.

В случае, когда математическая модель реализуется с помощью программных средств на компьютере, говорят о компьютерном моделировании

Виды математического моделирования

Математическое моделирование

```
graph TD; A[Математическое моделирование] --> B[Аналитическое моделирование]; A --> C[Имитационное моделирование]; B --> D[Численные методы]; B --> E[Компьютерное моделирование]; C --> E;
```

Аналитическое моделирование

Численные методы

Имитационное моделирование

Компьютерное моделирование

Реальные явления можно исследовать с помощью двух типов математических моделей:

аналитических и имитационных.

АМ – это СЛАУ или СДУ

Однако, эффективны только для сравнительно простых явлений

Для сложных явлений вынуждены делать «грубые» упрощения.

Либо получают трудно разрешимую проблему

Имитационная модель исследуемого реального явления (объекта, процесса, системы) — это формальное описание его логической структуры и динамики взаимодействия его отдельных элементов во времени с учетом стохастических факторов

Формальное, т.е. выполненное на некотором языке, как правило, набор алгоритмов

Взаимодействие должно учитывать наиболее существенные причинно-следственные связи, присущие явлению и отражающие его поведение во времени и пространстве.

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

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

Две составляющие:

- логика структуры моделируемых процессов;
- динамики взаимодействий элементов.

Анализируемое реальное явление заменяется набором алгоритмов и с ним проводятся эксперименты для получения информации об изучаемом явлении

чаще всего при наличии стохастических факторов и при неполных знаниях о ряде процессов в моделируемом явлении

Компьютерная программа или комплекс программ для ЭВМ, реализующая набор алгоритмов называют имитационной моделью или имитатором

Современным инструментом ИМ является компьютер

Конечной формой ИМ является программа или программный комплекс

Две фазы ИМ:

- ✓ Построение формальной модели (математической) и разработка алгоритмов
- ✓ Реализация на компьютере программ имитации и анализ результатов компьютерных экспериментов

Моделирование – *modeling* имеет смысл создание и анализ модели объекта любой природы.

Имитационное моделирование и вычислительный (компьютерный) эксперимент соответствует англоязычному – *simulation* и подразумевает разработку модели как компьютерной программы и исполнение этой программы

ИМ используются либо с целью :

**оценить различные стратегии
управления, определить направления
оптимизации моделируемого процесса**
(«...исследовать динамику...», «...провести анализ...»,
«...оценить эффективность...», «...оптимизировать...»)

либо:

**понять поведение моделируемого
объекта, относительно которого
имеется большая априорная
неопределенность**

Рекомендуется использовать имитационное моделирование в следующих случаях:

1. Не существует законченной постановки задачи исследования и идет процесс познания объекта моделирования. Имитационная модель служит средством изучения явления.
2. Если аналитические методы имеются, но математические процессы сложны, нелинейны и трудоемки, и имитационное моделирование дает более простой способ решения задачи.
3. Процесс содержит стохастические компоненты.
4. Процесс содержит много параллельно функционирующих взаимодействующих компонентов.
5. Когда, кроме оценки влияния параметров (переменных) реального процесса желательно осуществить наблюдение за поведением компонент (элементов) процесса в течение определенного периода (визуализация динамики).
6. ИМ оказывается единственным способом исследования сложной системы из-за невозможности наблюдения явлений в реальных условиях (реакции термоядерного синтеза, исследования космического пространства).

Рекомендуется использовать имитационное моделирование в следующих случаях:

7. Когда изучаются новые ситуации в реальных процессах. В этом случае имитация служит для проверки новых стратегий и правил проведения натуральных экспериментов.
8. Когда особое значение имеет последовательность событий в проектируемых РП и модель используется для предсказания узких мест в функционировании РП.
9. Когда необходимо контролировать протекание процессов или поведение систем путем замедления или ускорения явлений в ходе имитации.
10. При подготовке специалистов для новой техники, когда на имитационных моделях обеспечивается возможность приобретения навыков в эксплуатации новой техники.

Недостатки ИМ:

- ✓ Требует больших затрат, дороже АМ
- ✓ Менее объективна и менее точна
- ✓ Создает обманчивое впечатление достоверности и реальности
- ✓ Частный характер результатов

Тем не менее:

ИМ— это мощнейший и во многих случаях единственный способ получить представление о поведении сложной реальной системы и провести ее анализ.

ПРИНЦИПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование это творческий процесс, нет универсальных методов построения моделей.

Однако общие принципы построения моделей, следующие:

- адекватность;
- объективность;
- простота;
- чувствительность;
- устойчивость;
- универсальность.

УСТОЙЧИВОСТЬ

$$\begin{cases} 2,01x_1 + x_2 = 3 \\ 2x_1 + x_2 = 2 \end{cases} \quad \begin{cases} x_1 = 100 \\ x_2 = -198 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 2x_1 + x_2 = 3 \\ 2,01x_1 + x_2 = 2 \end{cases} \quad \begin{cases} x_1 = -100 \\ x_2 = 203 \end{cases}$$

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Классификация моделей по признаку назначения:

- Описательные (концептуальные, структурно-функциональные)
- Модели принятия решения, включая оптимизационные (модели планирования) и игровые (задачи конфликтного характера).

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

По другим признакам:

- Статические
- Динамические

- Детерминированные
- Стохастические

Еще:

- Непрерывные
- Дискретные

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

По типу математического аппарата, положенного в основу модели:

- матричные модели;
- модели линейного и нелинейного программирования;
- регрессионные модели;
- модели теории игр;
- модели теории графов;
- сетевые модели;
- модели массового обслуживания;
- модели управления запасами.

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

**По степени агрегированности
объектов моделирования в
экономике:**

- макроэкономические и
- микроэкономические модели.

ИНТУИЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Ни одна модель не в состоянии охватить реальность.

То, что оптимально для модели, не всегда оптимально в жизни.

Моделирование и интуиция не являются взаимоисключающими вещами

Интуиция управленца позволяет:

- осознать проблему и определиться с направлением моделирования;
- интерпретировать и реализовать решения.

ИНТУИЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Модель не решает проблемы, не предлагает готовые ответы, но поддерживает процесс принятия решения менеджером.

Ошибка - слепо принимать решения на основании модели («так подсказал компьютер..»).

Моделирование развивает интуицию!

Основными методологическими категориями теоретических основ моделирования являются понятия: **объект, класс, отношение** (связь), **система, элемент, структура**.

Объект – это некоторая сущность, обладающая определенным состоянием и поведением, имеющая заданные значения свойств (атрибутов, параметров) и операций над ними.

Совокупность объектов с родственным набором атрибутов образует **класс**

Понятие ***отношение*** определяет взаимное положение объектов, связи между объектами в виде иерархических, ассоциативных, алгоритмических, табличных и других структур.

Понятие ***система*** является основополагающим в теории математического моделирования. Существует несколько десятков различных определений .
Различают простые и сложные системы

Система – это множество элементов, функционирующих и взаимодействующих друг с другом для достижения определённой цели

Как правило, исследователь имеет дело простыми системами, объясняя свойства целого из свойств его частей.

Признаками системы являются:

- ✓ множество составляющих ее элементов;
- ✓ единство главной цели для всех элементов;
- ✓ наличие связей между ними;
- ✓ целостность и единство элементов;
- ✓ наличие структуры и иерархичности.

Сложные системы имеют следующие дополнительные характеристики:

- неоднородность компонентов;
- активность (целенаправленность) компонентов;
- множество различных, параллельно проявляющихся взаимосвязей между компонентами;
- семиотическая природа взаимосвязей;
- кооперативное поведение компонентов;
- динамичность, обучаемость, эволюционный потенциал;
- неопределенность параметров среды.

Этапы системного анализа проблемы:

1. Предметный анализ проблемы;
2. Формализация проблемы;
3. Построение математической модели;
4. Анализ модели с целью получения результатов;
5. Интерпретация и проверка адекватности модели;
6. Реализация результатов модели, применение для принятия решения в реальной ситуации;

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

1. Предметный анализ проблемы

- изучение предметной области;
- определение целей моделирования (как правило, одна);
- формулировка проблемы;
- выявление существенных аспектов и игнорирование второстепенных;
- сбор данных (статистических, экспертных, результатов измерений и др.)

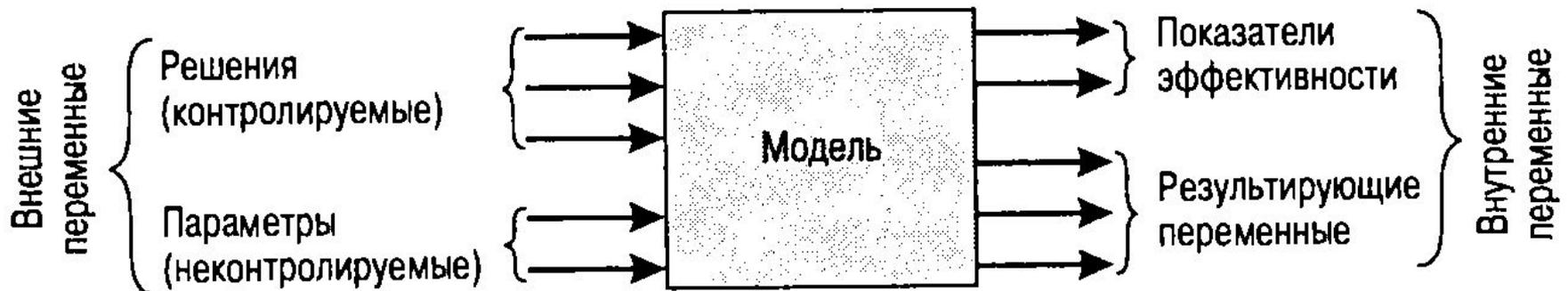
Построение концептуальной модели проблемы

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

2. Формализация проблемы

- предположения и упрощения;
- набор факторов;
- *входы* и *выходы* модели;
- схема «черного» ящика»;
- на входе: контролируемые переменные (решения) и неконтролируемые (параметры);
- на выходе: критерий эффективности и результирующие переменные.

Построение структурно-функциональной модели



ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

2. Формализация проблемы

Примеры вопросов для управленца:

- Прибыль – это решение или критерий эффективности?
- Как отделить существенные переменные решения от второстепенных?
Например, цена продукта, расходы на рекламу.
- Действительно ли цена продукта является контролируемой величиной, или определяется конкуренцией на рынке?
- Количество продуктов, которое нужно продать – это решение или результирующая переменная?
- Дисциплина работников – критерий или параметр? Как измерять?
- Доля рынка – критерий? Региональный, национальный или международный?
В текущем году или за 5-летку? В чем: в шт. товара или в деньгах?
- Продажи конкурентов – параметр или результат?
- Самостоятелен менеджер или исполняет волю руководства?
- Что важнее: ежедневное, оперативное руководство или стратегическое планирование?
- Интересы законодателей, потребителей, акционеров – параметры или критерии?

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

3. Построение математической модели

- Введение обозначений;
- Выявление связей между элементами модели;
- Составление уравнений (конечных, функциональных, дифференциальных и т.п.) и иных соотношений между элементами модели;
- Построение таблиц и графиков

4. Анализ модели с целью получения результатов

- Выбор вычислительного метода;
- Построение алгоритма;
- Программирование и отладка;
- Проведение вычислений (экспериментов), получение решения;
- Анализ чувствительности и устойчивости решения

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

5. Интерпретация и проверка адекватности модели

Соответствие здравому смыслу (?)

Проверка на тестовых данных

Проблема в том, что в реальном мире бизнеса контролируемые эксперименты, как правило, невозможны.

6. Реализация результатов модели, применение для принятия решения в реальной ситуации

ЭТАПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Как правило, этапы выполняются не строго последовательно, а итеративно.

Результаты этапов критически анализируются, уточняются.

Направления имитационного моделирования



Системная динамика и дискретно-событийное моделирование – традиционные устоявшиеся подходы,
агентное моделирование – относительно новый подход.

Математически, системная динамика оперируют в основном с непрерывными во времени процессами,

тогда как дискретно-событийное и агентное моделирование – в основном с дискретными.

Первые книги по имитационному моделированию, изданные в СССР, принадлежат член-корреспонденту АН СССР Н.П. Бусленко. В конце 60-х годов в СССР сложилось несколько серьезных научных школ по моделированию.
Кафедра ЭВМ МВТУ им. Н.Э. Баумана.

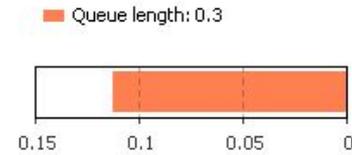
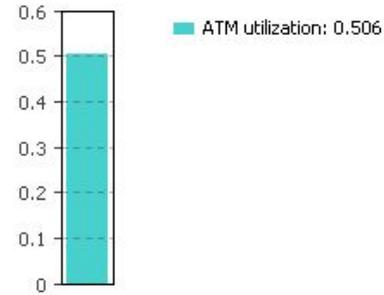
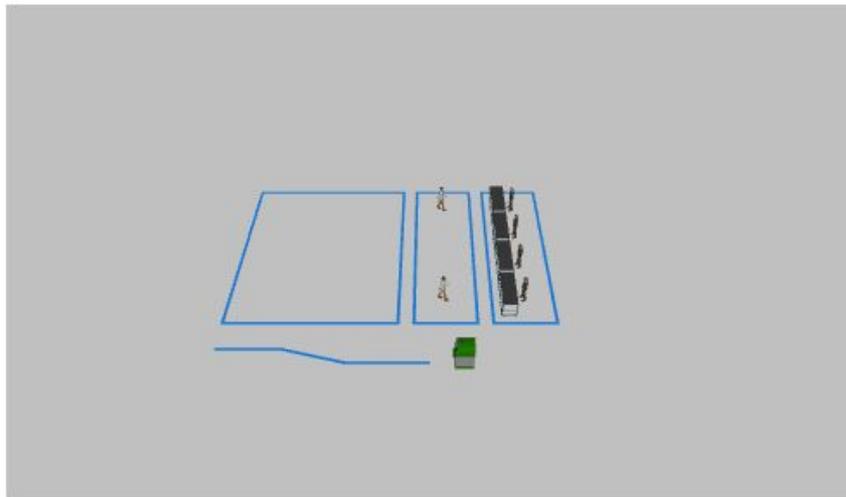
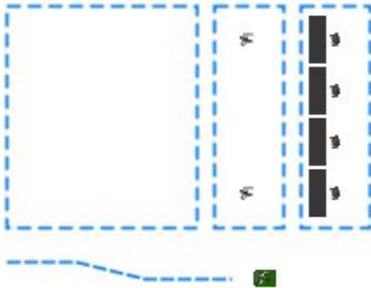
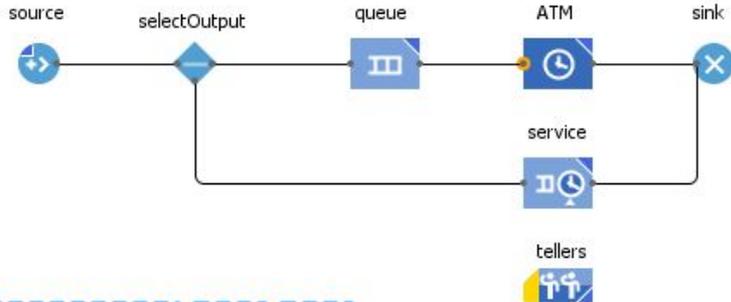
Языка СТАМ-КЛАСС.

Транслятор был разработан сначала для ЭВМ М-222, а затем последовательно перенесен на БЭСМ-6, ЕС ЭВМ, IBM PC.

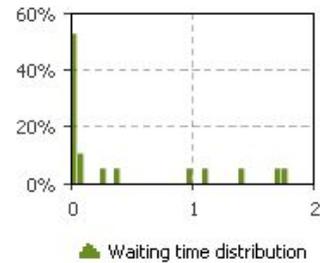
Языка GPSS был освоен в 1975 г и внедрен в учебный процесс МВТУ им. Баумана, МИСИС, МФТИ, ЛИТМО, КАИ, КГУ и т.д.

Дискретно-событийное моделирование обязано своим рождением Дж. Гордону, который в начале 1960-х спроектировал и реализовал на IBM систему дискретно-событийного программирования GPSS (Global Purpose Simulation System).

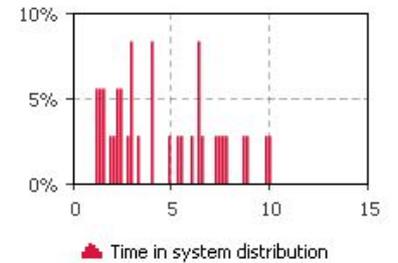
Основной объект в этой системе — пассивный транзакт (заявка на обслуживание), который может определенным образом представлять собой работников, клиентов, покупателей, детали, сырье, документы, сигналы и т. п.



waitTimeDistr
19 samples [0...1.744], Mean=0.413



timeInSystemDistr
36 samples [1.15...10.008], Mean=4.61



Системная динамика – парадигма моделирования, где для исследуемой системы строятся графические диаграммы причинных связей и глобальных влияний одних параметров на другие во времени, а затем созданная на основе этих диаграмм модель имитируется на компьютере

.

Метод основан Дж. Форрестером в 1950-х годах и используется для анализа сложных систем с нелинейными обратными связями.

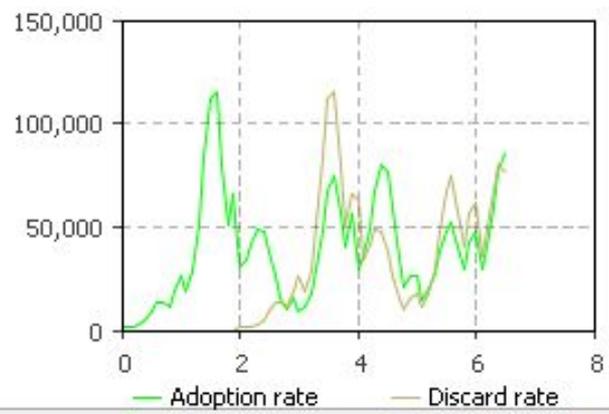
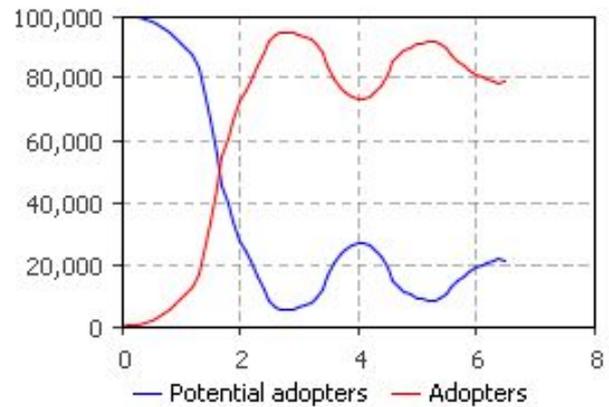
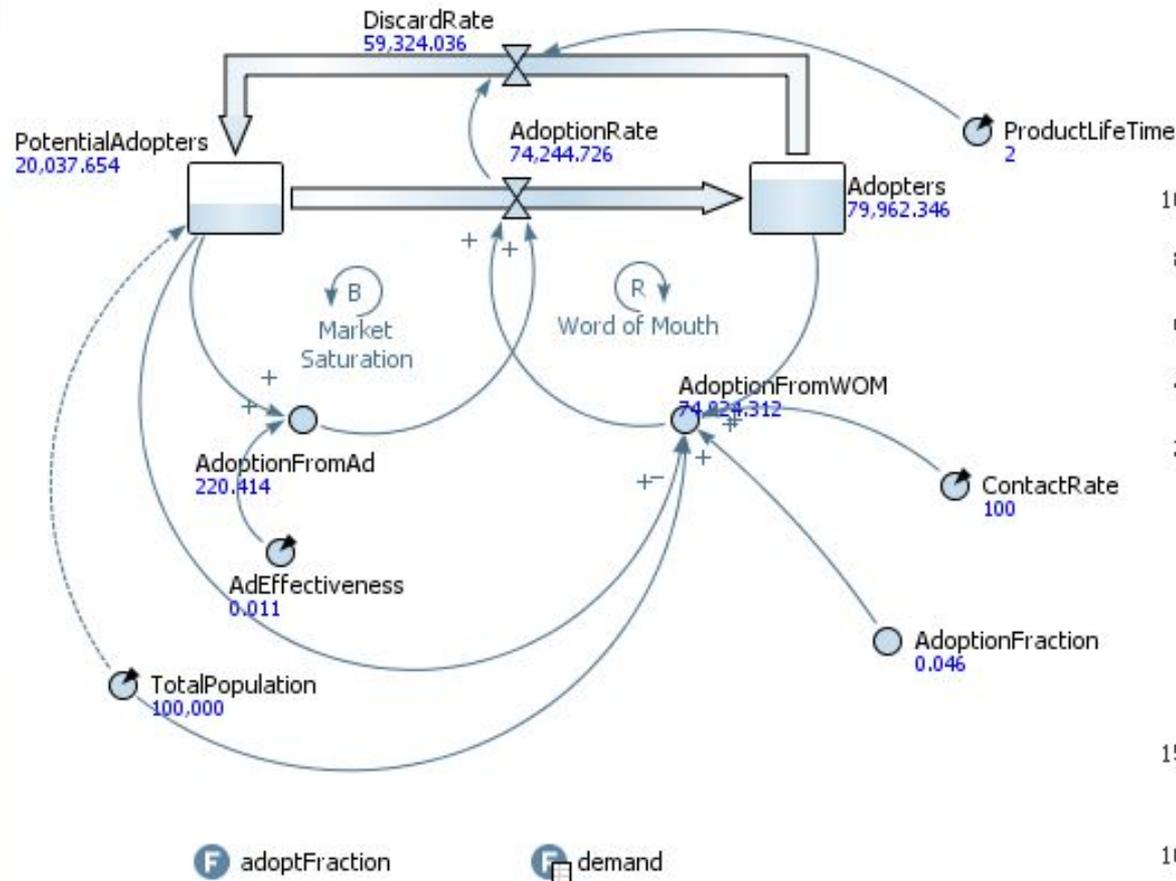
Модель распространения нового продукта по Бассу - **диффузия Басса**.

Изначально продукт никому не известен, и для того, чтобы люди начали его приобретать, он рекламируется.

В итоге определенная доля людей приобретает продукт под воздействием рекламы.

Также люди приобретают продукт в результате общения с теми, кто этот продукт уже приобрел.

Процесс приобретения нового продукта под влиянием убеждения его владельцев чем-то похож на распространение эпидемии.



Агентное моделирование (agent-based model (ABM)) – разновидность имитационного моделирования, современный метод, позволяющий исследовать работу децентрализованных агентов и то, как такое поведение определяет поведение всей системы в целом.

В отличие от системной динамики аналитик определяет поведение агентов на индивидуальном уровне, а глобальное поведение возникает как результат деятельности множества агентов (моделирование «снизу вверх»).

Перечень программного обеспечения и инструментальных средств имитационного моделирования можно посмотреть на сайте <http://dic.academic.ru/dic.nsf>

а также сайте Национального общества имитационного моделирования:
www.simulation.su

Сайт компании-производителя программного продукт:
www.anylogic.ru

Ресурсы преподавателей ЮГУ:
lir.ugrasu.ru