

---

**Лекция 8**  
**на тему**  
**«Инструментальные средства имитационного**  
**моделирования»**  
**по дисциплине**  
***«Имитационное моделирование экономических***  
***процессов»***

- *Лектор: к.ф.-м.н., доцент кафедры*  
*Информационных систем и технологий*
  - *Зайцева И.В.*



# Вопросы:

---

1. Обзор инструментальных средств имитационного моделирования
2. Факторы выбора инструментальных средств моделирования. Механизмы формирования системного времени
3. Специфика инструментальных средств имитационного моделирования
4. GPSS - язык имитационного моделирования

Контрольные вопросы.

# 1. Обзор инструментальных средств имитационного моделирования

---

Система имитационного моделирования, обеспечивающая создание моделей для решения экономических задач, должна обладать *следующими свойствами*:

- возможностью применения имитационных программ совместно со специальными экономико-математическими моделями и методами, основанными на теории управления экономическими процессами;
- инструментальными методами проведения структурного анализа сложного экономического процесса;
- способностью моделирования материальных, денежных и информационных процессов и потоков в рамках единой модели, в общем модельном времени;
- возможностью введения режима постоянного уточнения при получении выходных данных и проведении экстремального эксперимента функционирования системы.

Архитектуру языка имитационного моделирования можно представить *следующим образом*:

- объекты моделирования описываются с помощью некоторых атрибутов языка;

---

- атрибуты взаимодействуют с процессами, адекватным реально протекающим явлениям в моделируемой системе;
- процессы требуют конкретных условий, определяющих логическую основу и последовательность взаимодействия этих процессов во времени;
- условия влияют на события, имеющие место внутри объекта моделирования и при взаимодействии с внешней средой;
- события изменяют состояния модели системы в пространстве и времени.

В настоящее время наиболее распространены *следующие пакеты систем имитационного моделирования:*

- GPSS (General Purpose Simulation System, компания «Minuteman Software», США);

---

- Process Charter-1.0.2 (компания «Scitor», Менло-Парк, Калифорния, США);
- Powersim-2.01 (компания «Modell Data» AS, Берген, Норвегия);
- Ithink-3.0.61 (компания «High Performance Systems», Ганновер, Нью-Хэмпшир, США);
- Extend+VPR-3.1 (компания «Imagine That!», Сан-Хосе, Калифорния, США);
- ReThink (фирма «Gensym», Кембридж, Массачусетс, США);
- Micro Saint (фирма «Calspan Advanced Technology Center», Colorado, США);
- Arena (компания «Systems Modeling Corporation», США);
- ARIS Simulation (фирма «IDS professor Scheer», США);
- Pilgrim (Россия).

*Пакет Process Charter-1.0.2* имеет «интеллектуальное» средство построения блок-схем моделей. Он ориентирован в основном на дискретное моделирование.

---

*Достоинства пакета:*

- удобный и простой в использовании механизм построения модели;
- самый дешевый из перечисленных продуктов;
- хорошо приспособлен для решения задач распределения ресурсов.

*Недостатки пакета:*

- наименее мощный продукт;
- слабая поддержка моделирования непрерывных компонентов;
- ограниченный набор средств для анализа чувствительности и построения диаграмм.

*Пакет Powersim-2.01* является хорошим средством создания непрерывных моделей.

*Достоинства пакета:*

---

- множество встроенных функций;
- облегчающих построение моделей;
- многопользовательский режим для коллективной работы с моделью;
- средства обработки массивов для упрощения создания моделей со сходными компонентами.

*Недостатки пакета:*

- сложная специальная система обозначений System Dynamics;
- ограниченная поддержка дискретного моделирования.

*Пакет Ithink-3.0.61* обеспечивает создание непрерывных и дискретных моделей.

*Достоинства пакета:*

- 
- встроенные блоки для облегчения создания различных видов моделей;
  - поддержка авторского моделирования слабо подготовленными пользователями;
  - подробная обучающая программа;
  - развитые средства анализа чувствительности;
  - поддержка множества форматов входных данных.

*Недостатки пакета:*

- сложная система обозначений System Dynamics;
- поддержка малого числа функций по сравнению с Powersim-2.01.

*Пакет Extend+BPR-3.1* (BPR - Business Process Reengineering) создан как средство анализа бизнес-процессов, использовался в NASA, поддерживает дискретное и непрерывное моделирование.

---

*Достоинства пакета:*

- интуитивно понятная среда построения моделей с помощью блоков;
- множество встроенных блоков и функций для облегчения создания моделей;
- поддержка сторонними компаниями (особенно выпускающими приложения для «вертикальных» рынков);
- гибкие средства анализа чувствительности;
- средства создания дополнительных функций с помощью встроенного языка.

*Недостатки пакета:*

- используется в полном объеме только на компьютерах типа Macintosh;
- имеет высокую стоимость.

*Пакет ReThink* обладает свойствами Extend+BPR-3.1 и в отличие от перечисленных пакетов имеет хороший графический транслятор для создания моделей. Работает под управлением экспертной оболочки G2.

---

*Достоинства пакета:*

- все положительные свойства Extend+BPR-3.1;
- общее поле данных с экспертной системой реального времени, создаваемой средствами G2.

Интегрированная среда моделирования и анализа ARIS Toolset фирмы IDS professor Scheer. Один из его компонентов - ARIS Simulation 5.0 – пакет имитационного моделирования.

## *Отличительные особенности системы ARIS.*

1. Система **ARIS** в настоящее время уже успешно используется множеством известных компаний различного профиля как в России, Европе, так и по всему миру. Клиенты фирмы IDS могут быть найдены по всему миру, специалисты по работе с системой ARIS охотно принимаются на работу в крупные и средние организации различного профиля деятельности. Пять из шести крупнейших в мире консалтинговых фирм используют систему ARIS в своей деятельности.
2. **R/3 SAP**. Если деятельность предприятия поддерживается системой управления предприятием R/3 фирмы SAP, то использование комплекса ARIS позволит постоянно поддерживать систему R/3 в актуальном состоянии, соответствующем существующим на предприятии бизнес процессам.



3. **ISO 9000.** Направленность данного продукта на управление качеством по стандарту ISO9000 позволит обеспечить деятельность предприятия на уровне, соответствующем общепринятым требованиям к организации процессов. Кроме того, данная система обеспечит поддержку процесса подготовки и непосредственной сертификации по данному стандарту. Для этого в системе предусмотрено создание специальных отчетов, отвечающих требованиям ISO9000, а также существуют модели, отражающие полную методологию процесса сертификации по стандарту ISO 9000 – анализ существующей системы управления на предприятии, реорганизация бизнес процессов, обучение персонала и непосредственно сама сертификация.

## Система Arena позволяет моделировать следующие виды деятельности:

авиация, космос	Автомобилестроение
банки, финансы	Distribution
здравоохранение	издательство
переработка отходов	пищевая промышленность
портовые операции	поставки грузов
потребительские товары	правительственные организации
производство лекарственных препаратов	рестораны и fast food
склады	Сталелитейная промышленность
текстильная промышленность	телекоммуникации
транспорт, перевозки	тяжелая промышленность
Электроника	химическое производство
управление цепочками логистики (supply chain management)	

В Arena 4.0 соединены *следующие факторы*:

- интерфейсные возможности среды Windows;
  - присущая Arena легкость иерархического построения модели и ее последовательного приближения к реальному объекту.
- 

*Архитектура базовой версии*

1. *Основа технологий Arena*:

- язык моделирования SIMAN (альтернатива GPSS);
- система Cinema Animation.

2. *Процесс моделирования* организован следующим образом:

- сначала пользователь шаг за шагом строит в визуальном редакторе системы Arena модель;
- затем система генерирует по ней соответствующий код на SIMAN;
- В завершении автоматически запускается Cinema animation.

3) *Обмен данными.* Интерфейс Arena включает в себя всевозможные средства для работы с данными, в том числе электронные таблицы, базы данных, ODBC, OLE, поддержку формата DXF.

---

4) *Система интерактивной помощи и библиотека демонстрационных примеров моделей.*

*Система GPSS World*, разработанная компанией Minuteman Software (США), – это мощная среда компьютерного моделирования общего назначения, разработанная для профессионалов в области моделирования. Это комплексный моделирующий инструмент, охватывающий области как дискретного, так и непрерывного компьютерного моделирования, обладающий высочайшим уровнем интерактивности и визуального представления информации.

*GPSS* является объектно-ориентированным языком. Его возможности визуального представления информации позволяют наблюдать и фиксировать внутренние механизмы функционирования моделей. Его

---

интерактивность позволяет одновременно исследовать и управлять процессами моделирования. С помощью встроенных средств анализа данных можно легко вычислить доверительные интервалы и проводить дисперсионный анализ, автоматически создавать и выполнять сложные отсеивающие и оптимизирующие эксперименты.

Функциональное назначение пакета Micro Saint - фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование деловых процессов для достижения резких, скачкообразных улучшений в деятельности фирмы, т.е. в стоимости, качестве, сервисе и темпах развития. Пакет Micro Saint обладает большой мощностью, гибкостью, быстродействием.



*Программное обеспечение Micro Saint* - гибкий дискретно-имитационный пакет программ для имитационного моделирования всех типов процессов. Используя Micro Saint можно смоделировать любой процесс, который может быть представлен блок-схемой.

---

*Пакет Pilgrim* обладает широким спектром возможностей имитации временной, пространственной и финансовой динамики моделируемых объектов. С его помощью можно создавать дискретно-непрерывные модели. Разрабатываемые модели имеют свойство коллективного управления процессом моделирования. В текст модели можно вставлять любые блоки с помощью стандартного языка C++. Различные версии этой системы работали на IBM-совместимых и DEC-совместимых компьютерах, оснащенных Unix или Windows. Пакет Pilgrim обладает свойством мобильности, т.е. переноса на любую другую платформу при наличии компилятора C++.



Перечисленные выше инструментальные средства имеют общее свойство:

- возможность графического конструирования модели.
- 

В процессе такой инженерной работы удастся связать в графическом представлении на одной графической схеме моделируемые процессы с управленческими (административными) или конструктивными особенностями моделируемой системы.

В конце 1990-х гг. в России разработаны новые системы:

- пакет РДО (МГТУ им. Н.Э. Баумана);
- система СИМПАС (МГТУ им. Н.Э. Баумана);
- пятая версия Pilgrim (МЭСИ и несколько компьютерных фирм).



Пакет РДО (РДО - Ресурсы-Действия-Операции) является мощной системой имитационного моделирования для создания продукционных моделей. Обладает развитыми средствами компьютерной графики (вплоть до анимации).

---

Применяется при моделировании сложных технологий и производств.

Система СИМПАС (СИМПАС - СИстема-Моделирования-на-ПАСкале) в качестве основного инструментального средства использует язык программирования Паскаль. Недостаток, связанный со сложностью моделирования на языке общего назначения, компенсируется специальными процедурами и функциями, введенными разработчиками этой системы. Проблемная ориентация системы - это моделирование информационных процессов, компьютеров сложной архитектуры и компьютерных сетей.

Пятая версия Pilgrim - это новый программный продукт, созданный в 2000 г. на объектно-ориентированной основе и учитывающий основные положительные свойства прежних версий.

---

*Достоинства этой системы:*

- ориентация на совместное моделирование материальных, информационных и «денежных» процессов;
- наличие развитой CASE-оболочки, позволяющей конструировать многоуровневые модели в режиме структурного системного анализа;
- наличие интерфейсов с базами данных;
- возможность для конечного пользователя моделей непосредственно анализировать результаты благодаря формализованной технологии создания функциональных окон наблюдения за моделью с помощью Visual C++, Delphy или других средств;

- возможность управления моделями непосредственно в процессе их выполнения с помощью специальных окон диалога.

---

Использование имитационных моделей рынка труда открывает новые возможности по концептуальному анализу проблем функционирования рынка труда, сокращению сроков разработки перспективных проектов биржи труда, организации ее эффективной работы.

## 2. Факторы выбора инструментальных средств моделирования. Механизмы формирования системного времени

---

Факторами выбора инструментальных средств моделирования являются следующие:

В какой форме будет описываться объект исследования:

- непрерывная;
- дискретная система;
- смешанный вариант.

Проблемно-ориентированная среда (ARENA, ARIS) или универсальная система (GPSS) На выбор той или иной системы влияет *выполнение следующих условий*:

- Наличие практического опыта работы с конкретным инструментальным средством, в том числе и наличие обученного персонала;

- Стоимость лицензии и стоимость разработки. Их соотношение со средствами, выделенными на проект. Современные проблемно-ориентированные системы моделирования очень дороги, по сравнению с простыми языками моделирования;
  - Размерность создаваемой модели (несложный объект, учебные задачи и т.д.). Современные средства моделирования достаточно функциональны. Поэтому при небольшой размерности целесообразнее ориентироваться на более простую систему (GPSS/W), даже если она не очень вписывается в предметную область;
  - Предметная область объекта исследования.
- Возможность или ее отсутствие выбрать конкретную проблемно-ориентированную систему.

## *Внутренние факторы:*

- а) Виды возможных статистических испытаний. Хотя современные системы моделирования в этом отношении достаточно функциональны, тем не менее, специфика все-таки имеется. Поэтому, если исследуемая система требует разнообразных средств анализа и испытаний необходимо учитывать этот фактор при выборе конкретной системы моделирования;
- б) Степень трудности изменения структуры модели. Если структура моделируемой системы неочевидна или подвержена изменениям (новый объект, предпроектное обследование), то этот фактор, безусловно, является очень важным;
- в) Способ организации учета времени и происходящих действий.

Регламентация событий и процессов имеет 2 аспекта:

- «продвижение» времени, т.е. корректирование временной координаты состояния системы;
- обеспечение согласованности различных блоков и событий в системе.

Существуют два основных *метода задания времени*:

- с помощью фиксированных интервалов времени. Отсчет системного времени ведется через заранее определенные интервалы постоянной длины. Модели с непрерывным изменением состояния;
- с помощью переменных интервалов времени. Состояние моделируемой системы обновляется с появлением каждого существенного события независимо от интервала времени между ними (время событий). Модели с дискретным изменением состояния.

Каждый из методов имеет свои преимущества:

последовательная обработка событий и обработка событий пакетами или группами. Модели с фиксированным шагом проще реализуются, но существует риска не правильного выбора интервала времени (слишком большой) и, соответственно потеря точности модели.

## **Метод фиксированных шагов:**

- события появляются регулярно и распределены во времени равномерно;
- 
- в течение цикла моделирования  $T$  появляется очень много событий, причем математическое ожидание продолжительности событий невелико;
  - точная природа существенных событий не ясна. Например, на начальном этапе имитационного исследования.

## **Метод переменных интервалов времени:**

- позволяет существенно экономить машинное время моделирования в случае статических систем, в которых существенные события могут длительное время не наступать;

- 
- не требует определения величины времени приращения;
  - может эффективно использоваться при неравномерном распределении событий во времени и (или) большой величине математического ожидания их продолжительности.
-

### 3. Специфика инструментальных средств имитационного моделирования

---

Существует два направления развития инструментальных средств:

- первое из них представляют языки имитационного моделирования. Эти языки по сравнению с универсальными языками программирования снижают трудоемкость написания моделирующих программ, включают специализированные процедуры, которые могут применяться в любой имитационной модели, и отличаются точностью выражения понятий, характеризующих имитируемые процессы, и автоматическим формированием определенных типов данных, необходимых в процессе имитационного моделирования;

В каждом цикле создания программной модели можно выделить следующие этапы:

1. Формулирование проблемы:

- описание исследуемой проблемы;
- установление границ и ограничений моделируемой системы;
- определение целей исследования.

2. Разработка модели:

- переход от реальной системы к некоторой логической схеме (абстрагирование).

3. Подготовка данных:

- отбор данных,
- необходимых для построения модели,
- и представление их в соответствующей форме.

4. Трансляция модели:

- описание модели на языке имитационного моделирования.

5. Оценка адекватности:

- повышение до приемлемого уровня степени уверенности,
- с которой можно судить относительно корректности выводов о реальной системе,

---

- полученных на основании обращения к модели.

6. Планирование:

- определение условий проведения машинного эксперимента с имитационной моделью.

7. Экспериментирование:

- многократный прогон имитационной модели на компьютере для получения требуемой информации.

8. Анализ результатов:

- изучение результатов имитационного эксперимента для подготовки выводов и рекомендаций по решению проблемы.

9. Реализация и документирование:

- реализация рекомендаций, полученных на основе имитации;
- составление документации по модели и ее использованию.



В настоящее время языки имитационного моделирования получили дальнейшее развитие в виде визуальных средств моделирования, где исследователь оперирует не командами и операторами языка, а объектами, представляемыми в графическом виде. Визуальные средства моделирования частично снимают проблемы языков имитационного моделирования, описанные чуть выше, но в то же время основные из них остаются, например, освоение исследователем абстрактных терминов, используемых в этих средствах.

*Вторым направлением развития* инструментальных средств имитационного моделирования являются узкоспециализированные моделирующие программные комплексы.

## 4. GPSS - язык имитационного моделирования

---

Исторически GPSS – это одна из первых систем моделирования общего назначения.

Язык разработан в 1961 году (Джеффри Гордоном) фирма IBM вслед за разработкой компилятора с языка ФОРТРАН. Представляет собой Фортран ориентированную версию языка имитационного моделирования. Язык выдержал множество модификаций для самых различных операционных систем и ЭВМ (60...70-е годы – IBM 360/370, 70...80-е годы – PDP/11, ЕС ЭВМ и СМ ЭВМ, 80-е годы – IBM PC) и в то же время сохранил почти неизменными внутреннюю организацию и основные блоки.



Идеальное средство для начинающих осваивать имитационное моделирование. GPSS достаточно легок в освоении, а наличие в нем функций, переменных, стандартных атрибутов, графики и статистических блоков существенно расширяет его возможности.

---

Язык привнес множество важных концепций в каждую из коммерческих реализаций языков компьютерного моделирования дискретных событий, разработанных с тех пор. Ни один из языков моделирования не оказал на имитацию столь большого воздействия, как GPSS. Можно даже сказать, что GPSS заложил основы большинства современных языков и систем моделирования.

Система GPSS предназначена для написания имитационных моделей систем с дискретными событиями. Например, для моделирования систем с материальными и информационными потоками. Наиболее удобно в системе GPSS описываются модели систем массового обслуживания, для которых характерны относительно простые правила функционирования составляющих их элементов. Хотя наличие дополнительных встроенных средств позволяет моделировать и некоторые другие системы (например, распределение ресурсов между потребителями).

В системе GPSS моделируемая система представляется с помощью набора (сети) абстрактных элементов, называемых объектами:

- каждый объект принадлежит к одному из 4-х (5 тип – разные) типов объектов;
- каждый объект характеризуется рядом атрибутов (параметров), отражающих его свойства.

# Общий формат предложений GPSS

Номер строки	{Метка}	Оператор	Операнды	{Комментарии}
до 10 цифр	до 20 символов: цифры		A,B,C,D,E	

Каждому исполняемому оператору может быть сопоставлен блок со стандартизованным графическим изображением. Это позволяет на этапе построения моделей до написания текстов программ построить блок диаграмм, отображающих последовательность продвижения динамических объектов.

## *Общая схема* проведения имитационного моделирования в системе GPSS:

- модель, дополненная необходимыми управляющими предложениями операционной системы, вводится в ЭВМ и поступает на обработку ассемблером GPSS;
- ассемблер GPSS проводит синтаксический контроль модели и преобразует ее во внутреннюю форму, удобную для проведения моделирования. Модель во внутренней форме передается с помощью программы ввода интерпретатору модели.

Интерпретатор выполняет моделирование. Во внутренней форме все объекты, описанные в модели, получают последовательные номера в порядке поступления.

Интерпретатор модели является основной частью системы моделирования GPSS. *Функции интерпретатора:*

- создание транзактов;

---

- проводка их через блоки модели с одновременным выполнением действий, связанных с каждым блоком. Движение транзактов в модели соответствует движению отображаемых ими объектов в реальной системе.

Ведение модельного времени.

Всякое изменение состояния модели, например, переход транзактов от одного блока к другому, можно рассматривать как некоторое событие, происходящее в определенный момент условного (системного) времени, задаваемого "часами" системы, работа которых организуется интерпретатором.

Фактически, "часы" в интерпретаторе GPSS - это целая переменная, значение которой соответствует текущему моменту условного времени модели.



В процессе моделирования интерпретатор автоматически определяет правильную очередность наступления событий. В случае, если нужные действия в намеченный момент времени выполнены быть не могут (например, занято устройство, к которому обращается транзакт), интерпретатор временно прекращает обработку "застрявшего" транзакта, но продолжает следить за причиной, которая вызвала блокировку его обработки. Как только эта причина исчезает (например, освобождается занятое устройство), интерпретатор возвращается к обработке задержанного транзакта.



При продвижении транзактов через блоки могут происходить события следующих 4-х *основных типов*:

- создание, преобразование или уничтожение транзактов;

---

- изменение значения атрибута объекта;
- задержка транзактов на некоторый промежуток системного времени;
- изменение маршрута движения транзактов по блокам модели.

Сбор статистики для очередей осуществляется с помощью блоков QUEUE и DEPART. Распределение случайных величин – параметров блоков модели TABLE, QTABLE

# Виды статистики в GPSS.

## 1. Статистика для устройств:

- количество транзактов, прошедших через устройство;
- среднее время занятия устройства одним транзактом;
- загрузка устройства (или доля использования) в течение всего времени моделирования;
- доля (процент) доступности устройства в процессе моделирования;
- количество транзактов, занявших устройство блоком SEIZE;
- количество транзактов, захвативших устройство блоком PREEMPT.

## 2. Статистика для накопителей:

- объем накопителя, определенный в модели;
- среднее значение содержимого накопителя за время моделирования;

- 
- количество транзактов, прошедших через накопитель;
  - среднее значение времени использования единицы памяти;
- 
- среднее значение загрузки накопителя в течение моделирования;
  - процент доступности накопителя за время моделирования;
  - текущее содержимое накопителя на момент завершения моделирования;
  - максимальное содержимое накопителя за время моделирования.

### 3. Статистика для очередей:

- максимальное значение длины очереди при моделировании;
- 
- среднее значение длины очереди;
  - общее количество транзактов, прошедших через очередь;
  - количество "нулей"- транзактов, прошедших через очередь без задержки;
  - процент "нулей"- доля транзактов, прошедших через очередь с нулевой задержкой;
  - среднее значение времени задержки транзакта в очереди с учетом "нулевых" транзактов;
  - среднее значение времени задержки транзакта в очереди без учета "нулевых" транзактов (всегда больше или равно предыдущего значения, поскольку учитываются только те, которые были в очереди с ненулевым временем).

## Общая оценка (преимущества и недостатки) GPSS PC и GPSS World.

### *Положительные стороны:*

---

- GPSS/W является весьма мощным инструментом имитационного моделирования (три ключевых момента);
- свободным от ограничений аналитических и численных методов;
- достаточно «прозрачным» (структура модели не является черным ящиком), допускающим нестандартную обработку данных;
- и инструментом, снимающим с программиста множество нетривиальных проблем программирования и отладки моделей.

Тем не менее, приходится отметить наличие у нее ряда *серьезных недостатков* (из них для лабораторных работ можно выделить):

---

- громоздкость системы и явная перегруженность встроенными возможностями (многообразие примитивов);
- непомерное разнообразие графических обозначений блоков, не поддерживаемое даже новейшими версиями «чертежной» системы Visio;
- медленная работа интерпретатора;
- использование кириллических символов даже в комментариях исключают правильную работу имитации.

# Контрольные вопросы:

---

- Какими свойствами должна обладать система имитационного моделирования, обеспечивающая создание моделей для решения экономических задач?
- Каким образом можно представить архитектуру языка имитационного моделирования?
- Какие пакеты систем имитационного моделирования в настоящее время наиболее распространены?
- Охарактеризуйте систему моделирования GPSS World?
- Какова общая схема проведения имитационного моделирования в системе GPSS?