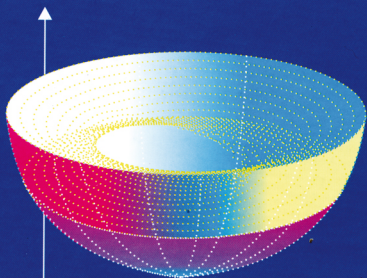


А.А.Емельянов, Е.А.Власова, Р.В.Дума

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ



А.А.Емельянов
Е.А.Власова
Р.В.Дума

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Под редакцией
доктора экономических наук
А.А. Емельянова**

Рекомендовано
Учебно-методическим объединением вузов РФ
по образованию в области прикладной информатики
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по специальности
“Прикладная информатика (по областям)”,
а также по другим компьютерным специальностям
и направлениям



МОСКВА
“ФИНАНСЫ И СТАТИСТИКА”



ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ
“ИНФРА-М”

2009

УДК 330.45:004.942(075.8)
ББК 65в6я73
Е60

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

кафедра «Информационные системы в экономике»
Уральского государственного экономического университета
(заведующий кафедрой А.Ф. Шориков,
доктор физико-математических наук, профессор);

В.Н. Волкова,
доктор экономических наук,
профессор Санкт-Петербургского государственного
технического университета,
академик Международной академии наук высшей школы

Емельянов А.А.
Е60 Имитационное моделирование экономических процес-
сов: учеб. пособие. — 2-е изд., перераб. и доп. / А.А. Емель-
янов, Е.А. Власова, Р.В. Дума; под ред. А.А. Емельянова. —
М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. — 416 с.: ил.

ISBN 978-5-279-02947-1 (Финансы и статистика)
ISBN 978-5-16-003531-4 (ИНФРА-М)

Рассмотрены современные концепции построения моделирующей системы, формализованные объекты типа материальных, информационных и денежных ресурсов, а также языковые средства создания имитационных моделей. Приведены техника и приемы создания, отладки и эксплуатации моделей с применением Visual Studio. Представлена CASE-технология конструирования моделей «без программирования». Изложены особенности моделирования в геопространстве — с привязкой к картам или планам. Описано планирование экстремальных экспериментов.

Для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Прикладная информатика (по областям)», «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем», а также по другим компьютерным специальностям и направлениям высшего профессионального образования.

Е $\frac{1402020000 - 117}{010(01) - 2009}$ без объявл.

УДК 330.45:004.942(075.8)
ББК 65в6я73

ISBN 978-5-279-02947-1
ISBN 978-5-16-003531-4

© Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В., 2006
© Издательство «Финансы и статистика», 2006

Предисловие

После издания книги Т. Нейлора «Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем» на русском языке прошло более 25 лет. С тех пор методы имитационного моделирования экономических процессов претерпели существенные изменения. Их применение в экономической деятельности стало иным. Отдельные книги, изданные в последние годы (например, о применении GPSS в технике и технологиях, об алгоритмическом моделировании элементов экономических систем на Visual Basic), повторяют концепции имитационного моделирования 30-летней давности с применением новых программных средств, но не отражают произошедших изменений.

Цель данной книги — всестороннее освещение подходов и способов применения имитационного моделирования в проектной экономической деятельности, появившихся в последние годы, и новых инструментальных средств, предоставляющих экономистам самые различные возможности.

Учебное пособие начинается с описания теоретических основ имитационного моделирования. Далее рассмотрена одна из современных концепций построения моделирующей системы. Приведены языковые средства описания моделей. Описана техника создания, отладки и эксплуатации моделей с использованием CASE-технологии конструирования моделей «без программирования» — с помощью диалогового графического конструктора. Имеется специальная глава, посвященная имитационному моделированию в геопространстве с привязкой к территориям экономических регионов. Рассмотрены вопросы планирования оптимизационных экспериментов — нахождения рациональных параметров процессов с помощью имитационных моделей. Последняя глава содержит набор отлаженных имитационных моделей различного назначения, которые могут быть хорошим подспорьем для различных категорий читателей. Преподавателям они помогут разработать лабораторные работы и задания. Студентам вузов, а также аспирантам и специалистам, самостоятельно изучающим этот вид компьютерного моделирования, они позволят быстрее перейти к практическому моделированию в своей предметной области.

В конце каждой главы приведены краткие выводы и перечень контрольных вопросов для самопроверки. Краткий словарь терминов и предметный указатель также облегчают усвоение материала книги.

Учебное пособие написано с использованием опыта работы, накопленного авторами в процессе преподавания учебных дисциплин, связанных с имитационным моделированием, управлением рисками, исследованием систем управления, при подготовке и издании в вузах учебных пособий и учебно-методических материалов. В книге нашли отражение результаты авторских научных исследований и разработок.

Труд авторов распределен следующим образом:

А.А. Емельянов, доктор экономических наук, заведующий кафедрой «Математические и инструментальные методы экономики» Московской финансово-промышленной академии (МФПА) — главы 1–3, 4 (разд. 4.5, 4.6), 6, 7, 8 (разд. 8.1–8.3, 8.6, 8.7) и общее редактирование книги.

Е.А. Власова, ведущий специалист факультета «Информатика» ММИЭИФП — главы 4 (разд. 4.1–4.4) и 8 (разд. 8.4 и 8.5).

Р.В. Дума, кандидат экономических наук, ведущий специалист фирмы «Бизнес-Консоль» — глава 5.

Учебное пособие может быть рекомендовано студентам, обучающимся по компьютерным специальностям и направлениям. Оно может быть полезным при подготовке специалистов-менеджеров и магистров по программам «Мастер делового администрирования» (МВА — Master of Business Administration).

Для самостоятельного изучения книги необходимо предварительное знакомство читателя с информатикой, с основами программирования, высшей математики, теории вероятностей, математической статистики, линейной алгебры, экономической теории и бухгалтерского учета.

Введение

Имитационное моделирование (simulation) – это распространенная разновидность аналогового моделирования, реализуемого с помощью набора математических инструментальных средств, специальных имитирующих компьютерных программ и технологий программирования, позволяющих посредством процессов-аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

Имитационной моделью называется специальный программный комплекс, который позволяет имитировать деятельность какого-либо сложного объекта. Он запускает в компьютере параллельные взаимодействующие вычислительные процессы, которые являются по своим временным параметрам (с точностью до масштабов времени и пространства) аналогами исследуемых процессов. В странах, занимающих лидирующее положение в создании новых компьютерных систем и технологий, научное направление Computer Science использует именно такую трактовку имитационного моделирования, а в программах магистерской подготовки по данному направлению имеется соответствующая учебная дисциплина.

Следует отметить, что любое моделирование имеет в своей методологической основе элементы имитации реальности с помощью какой-либо символики (математики) или аналогов. Поэтому иногда в российских вузах имитационным моделированием стали называть целенаправленные серии многовариантных расчетов, выполняемых на компьютере с применением экономико-математических моделей и методов. Однако с точки зрения компьютерных технологий такое моделирование (modelling) – это обычные вычисления, выполняемые с помощью расчетных программ или табличного процессора Excel.

Математические расчеты (в том числе табличные) можно производить и без ЭВМ: используя калькулятор, логарифмическую линейку, правила арифметических действий и вспомога-

тельные таблицы. Но имитационное моделирование — это чисто компьютерная работа, которую невозможно выполнить подручными средствами. Поэтому часто для этого вида моделирования используется синоним *компьютерное моделирование*.

Имитационную модель нужно создавать. Для этого необходимо специальное программное обеспечение — *система моделирования* (simulation system). Специфика такой системы определяется технологией работы, набором языковых средств, сервисных программ и приемов моделирования.

Имитационная модель должна отражать большое число параметров, логику и закономерности поведения моделируемого объекта во времени (*временная динамика*) и в пространстве (*пространственная динамика*). Моделирование объектов экономики связано с понятием *финансовой динамики* объекта.

С точки зрения специалиста (информатика-экономиста, математика-программиста или экономиста-математика), *имитационное моделирование* контролируемого процесса или управляемого объекта — это высокоуровневая информационная технология, которая обеспечивает два вида действий, выполняемых с помощью компьютера:

1) работы по созданию или модификации имитационной модели;

2) эксплуатацию имитационной модели и интерпретацию результатов.

Имитационное (компьютерное) моделирование экономических процессов обычно применяется в двух случаях:

- для управления сложным бизнес-процессом, когда имитационная модель управляемого экономического объекта используется в качестве инструментального средства в контуре адаптивной системы управления, создаваемой на основе информационных (компьютерных) технологий;

- при проведении экспериментов с дискретно-непрерывными моделями сложных экономических объектов для получения и отслеживания их динамики в экстренных ситуациях, связанных с рисками, натурное моделирование которых нежелательно или невозможно.

Можно выделить следующие типовые задачи, решаемые средствами имитационного моделирования при управлении экономическими объектами:

- моделирование процессов логистики для определения временных и стоимостных параметров;

- управление процессом реализации инвестиционного проекта на различных этапах его жизненного цикла с учетом возможных рисков и тактики выделения денежных сумм;
- анализ клиринговых процессов в работе сети кредитных организаций (в том числе применение к процессам взаимозачетов в условиях российской банковской системы);
- прогнозирование финансовых результатов деятельности предприятия на конкретный период времени (с анализом динамики сальдо на счетах);
- бизнес-реинжиниринг несостоятельного предприятия (изменение структуры и ресурсов предприятия-банкрота, после чего с помощью имитационной модели можно сделать прогноз основных финансовых результатов и дать рекомендации о целесообразности того или иного варианта реконструкции, инвестиций или кредитования производственной деятельности);
- анализ адаптивных свойств и живучести компьютерной региональной банковской информационной системы (например, частично вышедшая из строя в результате природной катастрофы система электронных расчетов и платежей после катастрофического землетрясения 1995 г. на центральных островах Японии продемонстрировала высокую живучесть: операции возобновились через несколько дней);
- оценка параметров надежности и задержек в централизованной экономической информационной системе с коллективным доступом (на примере системы продажи авиабилетов с учетом несовершенства физической организации баз данных и отказов оборудования);
- анализ эксплуатационных параметров распределенной многоуровневой ведомственной информационной управляющей системы с учетом неоднородной структуры, пропускной способности каналов связи и несовершенства физической организации распределенной базы данных в региональных центрах;
- моделирование действий курьерской (фельдъегерской) вертолётной группы в регионе, пострадавшем в результате природной катастрофы или крупной промышленной аварии;
- анализ сетевой модели PERT (Program Evaluation and Review Technique) для проектов замены и наладки производственного оборудования с учетом возникновения неисправностей;
- анализ работы автотранспортного предприятия, занимающегося коммерческими перевозками грузов, с учетом специфики товарных и денежных потоков в регионе;

- расчет параметров надежности и задержек обработки информации в банковской информационной системе.

Приведенный перечень является неполным и охватывает те примеры использования имитационных моделей, которые описаны в литературе или реализованы авторами на практике. Действительная область применения аппарата имитационного моделирования не имеет видимых ограничений. Например, спасение американских астронавтов при возникновении аварийной ситуации на корабле APOLLO стало возможным только благодаря «проигрыванию» различных вариантов спасения на моделях космического комплекса.

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

- возможностью применения имитационных программ совместно со специальными экономико-математическими моделями и методами, основанными на теории управления;
- 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 (основных финансовых показателей, временных и пространственных характеристик, параметров рисков и др.) и проведении экстремального эксперимента.

Историческая справка. Имитационное моделирование экономических процессов — разновидность экономико-математического моделирования. Однако этот вид моделирования в значительной степени базируется на компьютерных технологиях. Многие моделирующие системы, идеологически разработанные в 1970—1980-х гг., претерпели эволюцию вместе с компьютерной техникой и операционными системами (например, GPSS — General Purpose Simulation System) и эффективно используются в настоящее время на новых компьютерных платформах. Кроме того, в конце 1990-х гг. появились принципиально новые моделирующие системы, концепции которых не могли возникнуть раньше — при использовании ЭВМ и операционных систем 1970—1980-х гг.

1. Период 1970—1980-х гг. Впервые методы имитационного моделирования для анализа экономических процессов приме-

нил Т. Нейлор. На протяжении двух десятилетий попытки использовать этот вид моделирования в реальном управлении экономическими процессами носили эпизодический характер из-за сложности формализации экономических процессов:

- в математическом обеспечении ЭВМ не было формальной языковой поддержки описания элементарных процессов и их функций в узлах сложной стохастической сети экономических процессов с учетом их иерархической структуры;
- отсутствовали формализованные методы структурного системного анализа, необходимые для иерархического (многослойного) разложения реального моделируемого процесса на элементарные составляющие в модели.

Алгоритмические методы, предлагаемые в течение этих лет для имитационного моделирования, использовались эпизодически по следующим причинам:

- они были трудоемки для создания моделей сложных процессов (требовались весьма существенные затраты на программирование);
- при моделировании простых составляющих процессов они уступали математическим решениям в аналитической форме, получаемым методами теории массового обслуживания. Аналитические модели существенно проще реализовывались в виде компьютерных программ.

Алгоритмический подход и сейчас используется в некоторых вузах для изучения основ моделирования элементов экономических систем.

Сложность реальных экономических процессов и обилие противоречивых условий существования этих процессов (от сотен до тысяч) приводят к следующему результату. Если воспользоваться алгоритмическим подходом при создании имитационной модели с использованием обычных языков программирования (Бейсик, Фортран и др.), то сложность и объем моделирующих программ будут очень велики, а логика модели слишком запутана. Для создания такой имитационной модели требуется значительный период времени (иногда — многие годы). Поэтому имитационное моделирование в основном применялось только в научной деятельности.

Однако в середине 1970-х гг. появились первые достаточно технологичные инструментальные средства имитационного моделирования, обладающие собственными языковыми средствами.

Самое мощное из них — система GPSS. Она позволяла создавать модели контролируемых процессов и объектов в основном технического или технологического назначения.

2. Период 1980—1990-х гг. Системы имитационного моделирования более активно стали использоваться в 1980-е гг., когда в разных странах применялось более 20 различных систем. Наиболее распространенными были системы GASP-IV, SIMULA-67, GPSS-V и SLAM-II, которые, однако, имели много недостатков.

Система GASP-IV предоставляла пользователю структурированный язык программирования, похожий на Фортран, набор методов событийного моделирования дискретных подсистем модели и моделирования непрерывных подсистем с помощью уравнений переменных состояния, а также датчики псевдослучайных чисел.

Система SIMULA-67 по своим возможностям подобна GASP-IV, но предоставляет пользователю язык структурного программирования, похожий на Алгол-60.

Эффективность моделей, создаваемых с помощью систем GASP-IV и SIMULA-67, в большой степени зависела от искусства разработчика модели. Например, забота о выделении независимых моделируемых процессов полностью возлагалась на разработчика — специалиста, имеющего высокую математическую подготовку. Поэтому данная система в основном использовалась только в научных организациях.

В системах GASP-IV и SIMULA-67 не было средств, пригодных для имитации пространственной динамики моделируемого процесса.

Система GPSS-V предоставила пользователю законченную высокоуровневую информационную технологию создания имитационных моделей. В этой системе имеются средства формализованного описания параллельных дискретных процессов в виде условных графических изображений или с помощью операторов собственного языка. Координация процессов осуществляется автоматически в едином модельном времени. Пользователь в случае необходимости может ввести свои правила синхронизации событий. Имеются средства управления моделью, динамической отладки и автоматизации обработки результатов. Однако эта система имела три основных недостатка:

- разработчик не мог включать непрерывные динамические компоненты в модель, даже используя свои внешние подпрограммы, написанные на PL/1, Фортране или языке Ассемблера;

- отсутствовали средства имитации пространственных процессов;
- система была чисто интерпретирующей, что существенно снижало быстродействие моделей.

Наиболее развитой из указанных систем является SLAM-II, позволяющая создавать сложные модели дискретно-непрерывных процессов. Методология, заложенная в систему SLAM-II, резко расширила область применения имитационного моделирования. Однако и эта система имеет некоторые недостатки: она сложнее GPSS-V в освоении неподготовленным пользователем, в ней нет собственных средств имитации пространственных процессов.

3. Период 1990–2000-х гг. В поколении систем имитационного моделирования 1990-х гг. можно выделить следующие пространственные пакеты:

- 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+BPR-3.1 (компания «Imagine That!», Сан-Хосе, Калифорния, США);
- ReThink (фирма «Gensym», Кембридж, Массачусетс, США);
- Pilgrim (Россия).

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

альная система обозначений System Dynamics, ограниченная поддержка дискретного моделирования.

Пакет *Ithink-3.0.61* обеспечивает создание непрерывных и дискретных моделей. Имеет достоинства: 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. Имеет достоинства: 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. Имеет достоинства: все положительные свойства Extend+BPR-3.1 и общее поле данных с экспертной системой реального времени, создаваемой средствами G2.

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++. Модели в системе Pilgrim

компилируются и поэтому имеют высокое быстродействие, что очень важно для отработки управленческих решений и адаптивного выбора вариантов в сверхускоренном масштабе времени. Полученный после компиляции объектный код можно встраивать в разрабатываемые программные комплексы или передавать (продавать) заказчику, так как при эксплуатации моделей инструментальные средства пакета Pilgrim не используются. Система имеет сравнительно невысокую стоимость.

Перечисленные выше инструментальные средства имеют общее свойство: возможность графического конструирования модели. В процессе такой инженерной работы удается 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 (МПФА 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.

В данном пособии при рассмотрении практических задач и примеров имитационного моделирования используются концепция, возможности и функциональные средства системы Pilgrim. Это объясняется тем, что в новом поколении Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования, введенном в России с 2000 г., идеология именно этой системы заложена в дидактическое содержание двух компьютерных дисциплин:

- «Имитационное моделирование экономических процессов» — специальность 351400 «Прикладная информатика (по областям)» для областей «экономика» и «менеджмент»;
- «Компьютерное моделирование» — специальность 351500 «Математическое обеспечение и администрирование информационных систем».

Однако читатели, знакомые с имитационным моделированием и применением других пакетов моделирующих программ (например, GPSS), могут убедиться в том, что подходы и методические приемы, используемые в данном пособии, могут быть реализованы с помощью разных моделирующих систем.

Предметный указатель

- Алгоритм**
 - оптимизации динамического расписания 81
 - ближайшего непосещенного города 87
 - двух вертолетов 231
- Алгоритмическое моделирование** 9
- Верификация (калибровка)**
 - параметров модели 17
- Виртуальный структурный узел** 71
- Временная динамика** 6
- Генератор транзактов**
 - с бесконечной емкостью 66
 - управляемый 67
- Граф модели** 59
- Задача оптимального расписания** 81
- Имитационная модель** 5
- Имитационное моделирование** (англ. simulation) 5
 - экономических процессов 6
- Интервал активности** 45
- Историческая справка** 8
- Клапан** 8
- Компьютерное моделирование** 6
- Координатор network** 90
- Критерий**
 - Колмогорова—Смирнова 20
 - Крамера—фон Мизеса 20
 - согласия «хи-квадрат» 20
- Масштаб времени** 88
 - замедленный 89
 - максимально ускоренный 88
 - пропорционально ускоренный 88
 - реальный 88
 - ускоренный 88
- Менеджер (или распорядитель) ресурсов** 70
- Метод Монте-Карло** 17
- Механизм планирования событий** 89
- Моделирование пространственных перемещений** 80
- Моделирующая система** (система моделирования, англ. simulation system) 6
 - РДО 13
 - СИМПАС 13
 - Extend+BPR 11
 - GASP-IV 10
 - GPSS-V 10
 - Ithink 11
 - Pilgrim 11
 - Powersim 11
 - ReThink 11
 - SIMULA-67 10
 - SLAM-II 10
- Модельное время** 87
- Модельный таймер** 89
- Неперемещаемый ресурс** 72
- Нормальное распределение** 28
- Обобщенное распределение Эрланга** 33

- Очередь
 - с относительными приоритетами (или без приоритетов) 66
 - с пространственно-зависимыми приоритетами 68
- Перемещаемый ресурс 72
- Построение модели (англ. build) 16
- Проверка статистических гипотез 20
- Произвольный структурный узел 71
- Пространственная динамика 6
- Пространство 62
- Процесс диффузии (диффузная аппроксимация) 52
- Распорядитель финансов 69
- Распределение
 - дискретное 26
 - на интервале $(0, 1)$ 24
 - нормальное 28
 - равномерное 25
 - треугольное 42
 - экспоненциальное 31
 - Эрланга 33
- Режим
 - интерпретации 16
 - компиляции 17
- Ресурс 61
 - денежный 77
 - информационный 74
 - материальный 71
- Свойства мобильности 12
 - транзакта 60
 - узла 61
- Склад перемещаемых ресурсов 70
- Событие 61
- Способы реализации непрерывных моделей 92
- Стартовый информационный ресурс 74
- Статистические испытания 17
- Структурный анализ процессов 15
- Счет бухгалтерского учета 69
- Терминатор 67
- Типовые задачи 6
- Транзакт 59
- Узел
 - выделения ресурсов 71
 - графа 60
 - обслуживания 67
 - финансово-хозяйственных платежей 70
- Управляемый генератор 67
 - процесс 68
 - терминатор 67
- Учебные процессы в открытом образовании 40
- Финансовая динамика 6
- Формализованное описание модели 16
- Формула Поллачека—Хинчина 38
- Эксперимент 241
 - факторный 268
 - экстремальный 242

Оглавление

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	15
1.1. Основные понятия. Разновидности имитационного моделирования	15
1.2. Метод Монте-Карло и проверка статистических гипотез	17
1.3. Использование законов распределения случайных величин при имитации экономических процессов	24
1.4. Нетрадиционные сетевые модели и временные диаграммы интервалов активности	41
<i>Выводы</i>	58
<i>Вопросы для самопроверки</i>	59
Глава 2	
КОНЦЕПЦИЯ И ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ МОДЕЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ	60
2.1. Основные объекты модели	60
2.2. Моделирование работы с материальными ресурсами	73
2.3. Имитация информационных ресурсов	76
2.4. Денежные ресурсы	80
2.5. Моделирование пространственной динамики	82
2.6. Управление модельным временем	90
<i>Выводы</i>	96
<i>Вопросы для самопроверки</i>	97

Глава 3

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА МОДЕЛИРОВАНИЯ.

МОДЕЛИРУЮЩИЕ ФУНКЦИИ	98
3.1. Языковые средства	98
3.2. Инициализация объектов и структур данных для запуска имитационной модели	99
3.3. Общие функции управления узлами, транзактами и событиями в модели	106
3.4. Управление материальными и денежными ресурсами	118
3.5. Структурный анализ: управление переходами между слоями модели при многоуровневой декомпозиции	121
3.6. Сигнальные управляющие функции	124
<i>Выводы</i>	<i>130</i>
<i>Вопросы для самопроверки</i>	<i>130</i>

Глава 4

ПРИЕМЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

И ОТЛАДКИ МОДЕЛЕЙ	132
4.1. Использование параметров транзактов и узлов	132
4.2. Отладка моделей в процессе их выполнения	135
4.3. Программирование условий прохождения транзакта по графу модели	138
4.4. Особенности замкнутых моделей корпоративных информационных систем	143
4.5. Состав проекта и применение оболочки Visual Studio	151
4.6. Модернизация и выполнение моделей	174
<i>Выводы</i>	<i>183</i>
<i>Вопросы для самопроверки</i>	<i>183</i>

Глава 5

СОЗДАНИЕ МНОГОСЛОЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

С ПОМОЩЬЮ ГРАФИЧЕСКОГО КОНСТРУКТОРА	185
5.1. CASE-технология многослойного имитационного моделирования	185
5.2. Особенности реализации конструктора моделей GEM	187
5.3. Работа с графическим конструктором в системе Pilgrim	193