

Поляков Николай Александрович

## История имитационного моделирования

### 1. Введение

Имитационное моделирование (от англ. 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. 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. Имитационное моделирование - это чисто компьютерная работа, которую невозможно выполнить подручными средствами [1]

Для создания имитационной модели 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, имитационное моделирование контролируемого процесса или управляемого объекта - это высокоуровневая информационная технология, которая обеспечивает два вида действий, выполняемых с помощью компьютера:

- работы по созданию или модификации имитационной модели;
- эксплуатацию имитационной модели и интерпретацию результатов.

Имитационное моделирование реализуется посредством набора математических инструментальных средств, специальных компьютерных программ и приемов, позволяющих с помощью компьютера провести целенаправленное моделирование в режиме «имитации» структуры и функций сложного процесса и оптимизацию некоторых его параметров. Набор программных средств и приемов моделирования определяет специфику системы моделирования - специального программного обеспечения.

В отличие от других видов и способов математического моделирования с применением ЭВМ имитационное моделирование имеет свою специфику: запуск в компьютере взаимодействующих вычислительных процессов, которые являются по своим временным параметрам - с точностью до масштабов времени и пространства - аналогами исследуемых процессов.

## **2. Математические основы имитационного моделирования**

### **2.1. Метод Монте-Карло**

Статистические испытания по методу Монте-Карло представляют собой простейшее имитационное моделирование при полном отсутствии каких-либо правил поведения. Получение выборок по методу Монте-Карло - основной принцип компьютерного моделирования систем, содержащих стохастические или вероятностные элементы. Зарождение метода связано с работой фон Неймана и Улана в конце 1940-х гг., когда они ввели для него название[2] «Монте-Карло» и применили его к решению некоторых задач экранирования ядерных излучений. Этот математический метод был известен и ранее, но свое второе рождение нашел в Лос-Аламосе в закрытых работах по ядерной технике, которые велись под кодовым обозначением «Монте-Карло». Применение метода оказалось настолько успешным, что он получил распространение и в других областях, в частности в экономике. По существу о применении метода Монте-Карло можно говорить только после работы Н. Метрополиса и С. Улема, вышедшей в 1949г. В этой работе впервые появился термин «Монте-Карло»[3]. Практически метод Монте-Карло получил широкое распространение только в процессе эксплуатации мощных вычислительных машин[2]. Поэтому многим специалистам термин «метод Монте-Карло» иногда представляется синонимом термина «имитационное моделирование», что в общем

случае неверно. Имитационное моделирование - это более широкое понятие, и метод Монте-Карло является важным, но далеко не единственным методическим компонентом имитационного моделирования. [2]

## **2.2. Общая теория систем**

Общая теория систем была предложена Л. фон Берталанфи в 1930-е годы. Идея наличия общих закономерностей при взаимодействии большого, но не бесконечного числа физических, биологических и социальных объектов была впервые высказана Берталанфи в 1937 году на семинаре по философии в Чикагском университете. Однако первые его публикации на эту тему появились только после Второй мировой войны. Основной идеей Общей теории систем, предложенной Берталанфи, является признание изоморфизма законов, управляющих функционированием системных объектов. Фон Берталанфи также ввёл понятие и исследовал «открытые системы» — системы, постоянно обменивающиеся веществом и энергией с внешней средой. [4]

## **2.3. Теория массового обслуживания**

Любую систему, в которой поток требований встречает ограниченные средства их удовлетворения, можно рассматривать как систему массового обслуживания. В частности, если моменты поступления требований или продолжительность их обслуживания не регламентируются, то при пользовании системой возникают конфликты и образуется очередь. Длина этой очереди зависит от двух характеристик потока требований: во-первых, она зависит от интенсивности потока требований, и, во-вторых, от статических флуктуаций этой интенсивности [5].

Сотрудник Копенгагенской телефонной компании, ученый Агнер Эрланг, в период между 1908 и 1922 годами заложил основы теории массового обслуживания. Он выводил свои формулы вероятностей состояния, принимая допущения, значительно облегчающее исследование вопросов этой теории. В 1953г. появилась работа Лундквиста, знаменующая собой некоторый сдвиг в этом направлении; с помощью нового, простого и элементарного метода [6] Лундквисту удалось показать, что формулы Эрланга сохраняют силу для любой длины разговоров. В дальнейшем было показано, что формулы, найденные Эрлангом, сохраняют силу без учета этих допущений [7].

## **3. Периодизация: системы имитационного моделирования**

Историческая справка. 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.

### **3.1. Докомпьютерное моделирование**

Моделирование как метод познания применялось человечеством - осознанно или интуитивно - всегда. На стенах древних храмов предков южно-американских индейцев обнаружены графические модели мироздания. Скульптуры античной эпохи можно определить как «модели» соответствующих персонажей. С ростом цивилизаций совершенствовались модели, расширялось их применение. Например, в эпоху древнего Рима и даже ранее люди могли создавать динамические модели, т.е. имитировать (воспроизводить) нужные события. Будущие воины отработывали приемы на деревянных мечах. Полководец планировал на столе с помощью карты и каменных фигурок предстоящее сражение. Во всех случаях все преследовали одну общую цель – получить более положительный эффект с будущих событий. Т.е. модель позволяла улучшить свои действия и избежать (снизить влияние) негативных событий. Развитие моделирования неразрывно связано с успехами всей науки. Так в момент открытия дифференциальных уравнений стали появляться математические модели динамических процессов. Учение о моделировании возникло в средние века. Выдающаяся роль в этом принадлежит Леонардо да Винчи (1452-1519). Гениальный полководец А. В. Суворов перед атакой крепости Измаил тренировал солдат на модели измаильской крепостной стены, построенной специально в тылу. Наш знаменитый механик-самоучка И. П. Кулибин (1735-1818) создал модель одноарочного деревянного моста через р. Неву, а также ряд металлических моделей мостов. Они были полностью технически обоснованы и получили высокую оценку российскими академиками Л. Эйлером и Д. Бернулли. К сожалению, ни один из этих мостов не был построен.

Поучительный пример недооценки моделирования - гибель английского броненосца "Кэптен" в 1870 году. «Кэптэн» имел слишком низкие борта, чрезвычайно толстую броню и громадные железные мачты. Известный английский

кораблестроитель Рид изготовил модель «Кэптэна» и проверил, как новый корабль будет вести себя во время волнения.

Результат опытов был плачевным. Рид немедленно сообщил адмиралтейству, что посылать в море матросов на «Кэптэне» преступление. Заявление инженера было осмеяно. Адмиралы вынесли решение: «Кэптэн» — отличный корабль и должен плавать без всяких переделок. А 7 сентября 1870 года «Кэптэн» в сравнительно тихую погоду опрокинулся вверх дном у мыса Финистерре. Из 550 человек команды случайно уцелели 17 человек в баркасе, сорвавшемся с борта гибнущего броненосца. В память этого события в Лондоне установлена бронзовая доска с «вечным порицанием невежественному упрямству лордов адмиралтейства», из-за которого погибли 533 моряка «Кэптэна»[8].

Английские кораблестроители Фруд и Рид много сделали для того, чтобы моделирование кораблей стало на научную основу. Важных результатов в этом направлении добились русские ученые и кораблестроители С. О. Макаров и А. Н. Крылов.

### **3.2. Период 1970-1980-х гг.**

Впервые методы имитационного моделирования для анализа экономических процессов применил 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.

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.

### **3.3. Период 1980-1990-х гг.**

Системы имитационного моделирования более активно стали использоваться в 80-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, Фортран 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.

### **3.4. Период 1990-2000-х гг.**

В поколении систем имитационного моделирования 90-х гг. можно выделить следующие распространенные 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). [1]

В России имитационные модели широко применялись в практической деятельности в 60—80-е годы и давали, как правило, эффективные решения для многих задач в рамках регионов, отраслей, конкретных предприятий и в военном деле. В этот период были накоплены большие теоретические результаты и получен практический опыт применения имитационных моделей. Особенно интенсивно применялись модели этого типа после опубликования работ члена-корреспондента АН СССР Н.П. Бусленко, начиная с 60-х гг. и до 1985-87 гг. Он и его ученики стали развивать не только и даже не столько математические аспекты имитационного моделирования, сколько методологию и методику имитационного моделирования.

Агрегативная математическая схема имитационного моделирования, введенная Н.П. Бусленко, позволила обобщить многие частные имитационные подходы и создала предпосылки к разработке общей теории имитационного моделирования при использовании различных форм математического описания объектов моделирования. Ценность агрегативного подхода заключалась не только в математическом описании сложной системы в виде некоторого «агрегата» или элементарного блока имитационной модели, во введении кусочно-линейных и кусочно-непрерывных агрегативных схем, в математическом описании сопряжения и функционирования агрегатов. Главная заслуга школы Н.П. Бусленко состоит в формировании имитационного мышления, т.е. в отрицании многих догм, свойственных различным математическим подходам при моделировании объектов. Так, например, отброшена догма единой целевой функции для объекта моделирования. При имитационном подходе их может быть столько, сколько нужно. Не мешают проблемы стремления функций к бесконечности или нулю, проблемы гладкости и непротиворечивости. Не вызывает особых проблем нестационарность, неординарность, наличие последствия в используемых потоках случайных событий. Не приводит к вычислительным проблемам использование законов распределения с изменяющимися параметрами и многое другое.

Заслуга школы Н.П. Бусленко состоит также в том, что ею был взят на вооружение системный подход при имитационном моделировании: системный анализ объектов моделирования и системный синтез модели данного объекта.

Основу школы имитационного моделирования Н.П. Бусленко, заложенную в 60-х гг. им и его учениками и учеными, разделяющими его подход — Д.И. Голенко, И.Н. Коваленко, И.М. Соболев, Ю.А. Шрейдером и др., в 70-х гг. развивали В.А. Абчук, В.Н. Бусленко, И.Я. Динер, Л.А. Емельянов, В.В. Калашников, Н.Б. Кобелев,

Ф.А. Матвейчук, Ю.М. Снапелев, В.А. Старосельский, Е.И.Яковлев и многие другие. В 80-е гг., вплоть до 1985-87 гг. имитационное моделирование развивалось очень интенсивно, и его основное направление было связано с практическим использованием имитационных моделей во многих отраслях народного хозяйства, на предприятиях и особенно в сфере обслуживания населения, где постоянно действовали имитационные модели планирования и распределения капиталовложений, размещения предприятий обслуживания, нормирования ресурсов и многие другие.

С конца 80-х и в 90-е гг. российская школа имитационного моделирования фактически не развивалась. Лишь начиная с 1999 г. стали появляться отечественные публикации в этом направлении и то в форме учебных пособий. Основным объектом экономико-математического моделирования, в том числе и имитационного подхода, стали банки, биржи и частично нефтегазовая отрасль, т.е. достаточно крупные объекты, обладающие финансовыми ресурсами, для которых имитационное моделирование стало средством выработки стратегии поведения на рынке. Правильная оценка конъюнктуры рынка существенно сказывается на эффективности и доходности этих объектов. [1]

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).

#### **4. История первых систем имитационного моделирования**

##### **4.1. GPSS**

Одним из первых языков моделирования, облегчающих процесс написания имитационных программ, был язык GPSS, созданный в виде конечного продукта Джеффри Гордоном в фирме IBM в 1962 г. Этот язык в свое время входил в первую десятку лучших языков программирования, опережая транслятор с языка АЛГОЛ, и был реализован практически на всех типах ЭВМ. В настоящее время есть трансляторы для операционных систем DOS – GPSS/PC, для OS/2 и DOS – GPSS/H и для Windows – GPSS World. Изучение этого языка и создания моделей позволяет понять принципы разработки имитационных программ и научиться работать с имитационными моделями.

GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) – язык моделирования, который используется для построения событийных дискретных имитационных моделей и проведения экспериментов на ЭВМ.

Модели систем на GPSS могут быть записаны в виде блок-схем или представлены в виде последовательности строк программы, эквивалентных блок-схеме. Блок-схема – это набор фигур с характерными контурами блоков языка GPSS, соединенных между собою линиями. Блоки – это подпрограммы, реализованные средствами макроассемблера. В разных версиях языка количество блоков для создания имитационных программ разное и составляет около 40. В язык моделирования GPSS входят специальные средства для описания динамического поведения систем через изменение состояний в дискретные моменты времени, то есть время моделирования изменяется случайно от события к событию.

Система GPSS представляет собой язык и транслятор. Как каждый язык он содержит словарь и грамматику, с помощью которых могут быть разработаны модели систем определенного типа. Транслятор языка работает в две фазы. На первой фазе компиляции проверяется синтаксис и семантика написания строк GPSS-программы или всей программы в целом, а на второй (интерпретирующей) осуществляется продвижение транзактов по модели от блока к блоку. [9]

Система GPSS World – мощная универсальная среда моделирования как дискретных, так и непрерывных процессов, предназначенная для профессионального моделирования самых разнообразных процессов и систем. Эта система явилась следующим шагом развития системы GPSS/PC (1984 год), ориентированной на DOS. Обе системы разработаны специалистами фирмы Minuteman Software (основана в 1982 году) под руководством Спрингера Кокса. Сначала система GPSS World появилась в 1994 году с ориентацией на OS/2 фирмы IBM, и только в 2000 году она была реализована под ОС Windows фирмы Microsoft. [10]

Системе общецелевого моделирования путевку в жизнь дал Джеффри Гордон (Geoffrey Gordon) в 1961 году. Историю GPSS можно условно разделить на два больших этапа.

Первый - это GPSS на так называемых мэйнфреймах (типа IBM/360 и ЕС ЭВМ). Второй - на персональных ЭВМ.

Первая версия системы появилась в 1961 году и называлась GPSS. Далее последовательно друг за другом появились GPSS II (1963), GPSS III (1965),

GPSS/360 (1967), GPSS V (1971). Все эти версии были разработаны и поддерживались фирмой IBM. Наиболее удачны были две последние версии.

После того как IBM перестала поддерживать разработки по GPSS, среди множества параллельных разработок проявила себя разработка фирмы Wolverine Software - GPSS/H. Его автор и глава фирмы - Дж. Хенриксен.

Появление персональных ЭВМ и принципиально новых идей и подходов взаимодействия человека с ЭВМ не могло не отразиться на GPSS. Он несколько утратил свою привлекательность. Появились новые системы моделирования, использующие возможности новой техники - оперативность, интерактивность, наглядность при разработке моделей и проведении исследований. Но, пройдя нелегкий путь переосмысления и адаптации к новым условиям, GPSS выжил.

Среди огромного множества разработок в последующие годы(1982-2001) сейчас можно выделить несколько основных. Это системы: GPSS/H, SLX, Proof Animation (Wolverine Software); GPSS/PC и GPSS World (Minuteman Software); MicroGPSS и WebGPSS (Стокгольмская школа высшей экономики).

Лидерство по степени развития возможностей языка имитации, гибкости его применения и использования в передовых программных средах, безусловно, имеет GPSS/H. Но в последнее время фирма Wolverine Software усиленно развивает систему SLX, что в общем хоть и развитие GPSS, но все-таки уже, более не язык GPSS.

В 1984 году уверенно заявила о себе фирма Minuteman Software (президент - Спрингер Кокс), завершив разработку первой версии системы GPSS/PC. В дальнейшем было осуществлено множество модификаций системы. В 1993 году была выпущена первая версия GPSS World для операционной системы OS/2, а в 2000 году - для Windows. В настоящее время фирма полностью перешла на разработку программных средств для операционной системы Windows и сейчас распространяется версия GPSS World 5.2.0. Системы GPSS/PC и GPSS World - это первое семейство GPSS-систем, разработанное специально под новые (по сравнению с мэйнфреймами) диалоговые возможности ПЭВМ. И это самое основное достоинство разработок Minuteman Software. Последняя разработка имеет все необходимые интерактивные средства для разработки моделей, их отладки, анализа результатов и проведение экспериментов. Кроме этого Minuteman Software сохранила "чистоту" GPSS.

Очень интересны и перспективны разработки, проводимые Ингольфом Сталлом (Стокгольмская школа высшей экономики). Системы Micro-GPSS и WebGPSS современны, функциональны и особенно интересны для целей обучения [11]

#### **4.2. MATLAB**

MATLAB как язык программирования был разработан Кливом Моулером (англ. Steve Moler) в конце 1970-х годов, когда он был деканом факультета компьютерных наук в Университете Нью-Мексико. Целью разработки служила задача дать студентам факультета возможность использования программных библиотек Linpack и EISPACK без необходимости изучения Фортрана. Вскоре новый язык распространился среди других университетов и был с большим интересом встречен учёными, работающими в области прикладной математики. До сих пор в Интернете можно найти версию 1982 года, написанную на Фортране, распространяемую с открытым исходным кодом. Инженер Джон Литтл (англ. John N. (Jack) Little) познакомился с этим языком во время визита Клива Моулера в Стэнфордский университет в 1983 году. Он объединился с Кливом Моулером и Стивом Бангертом (англ. Steve Bangert). Совместными усилиями они переписали MATLAB на С и основали в 1984 компанию The MathWorks для дальнейшего развития. Эти переписанные на С библиотеки долгое время были известны под именем JASPCAS. Первоначально MATLAB предназначался для проектирования систем управления (основная специальность Джона Литтла), но быстро завоевал популярность во многих других научных и инженерных областях. Он также широко использовался и в образовании, в частности, для преподавания линейной алгебры и численных методов. [12-13]

#### **5. Современное состояние вопроса**

В качестве доминирующих базовых концепций формализации и структуризации в современных системах моделирования используются:

– для дискретного моделирования – системы, основанные на описании процессов (process description): процессно-транзактно-ориентированные системы моделирования блочного типа - (Extend, Arena, ProModel, Witness, Taylor, Gpss/H-Proof , и др.);

– системы, основанные на сетевых концептах (network paradigms). Сетевые парадигмы (сети Петри и их расширения), применяются при структуризации

причинных связей и моделировании систем с параллельными процессами, служащие для стратификации и алгоритмизации динамики дискретных и дискретно-непрерывных систем;

- сети кусочно-линейных агрегатов, автоматные схемы, моделирующие дискретные и непрерывно-дискретные системы;

- для систем, ориентированных на непрерывное моделирование – модели и методы системной динамики, -(Powersim, Vensim, Dynamo, Stella, Ithink и др.).

- динамические системы (MATLAB),

- агентное моделирование (AnyLogic)

- и другие[14].

Рынок систем имитационного моделирования очень неоднородный, дискретные системы наиболее представительны[14].

Технологические возможности современных систем моделирования характеризуются:

- универсальностью и гибкостью базовой и альтернативной к базовой концепций структуризации и формализации моделируемых динамических процессов, заложенных в систему моделирования. Сегодня популярны среди систем моделирования дискретного типа процессно-ориентированные концепции структуризации, основанные на сетевых парадигмах, автоматном подходе и некоторые другие; среди систем моделирования непрерывного типа – модели и методы системной динамики;

- наличием средств проблемной ориентации, когда система моделирования содержит наборы понятий, абстрактных элементов, языковые конструкции из предметной области соответствующего исследования;

- применением объектно-ориентированных специализированных языков программирования, поддерживающих авторское моделирование и процедуры управления процессом моделирования;

- наличием удобного и легко интерпретируемого графического интерфейса, когда блок-схемы дискретных моделей и системные потоковые диаграммы непрерывных реализуются на идеографическом уровне, параметры моделей определяются через подменю;

- использованием развитой двух- и трехмерной анимации в реальном времени;

- возможностью для реализации нескольких уровней представления модели, средствами для создания стратифицированных описаний. Современные системы моделирования применяют структурно-функциональный подход, многоуровневые иерархические, вложенные структуры и другие способы представления моделей на разных уровнях описания;

- наличием линеек и инструментов для проведения и анализа результатов сценарных, вариантных расчетов на имитационной модели;

- математической и информационной поддержкой процедур анализа входных данных, анализа чувствительности и широкого класса вычислительных процедур, связанных с планированием, организацией и проведением направленного вычислительного эксперимента на имитационной модели.

Экспериментальные исследования на имитационной модели информативны, поэтому необходима реализация подхода Simulation Data Base, основанного на доступе к базам данных моделирования. Технологически это решается при помощи собственных специализированных аналитических блоков системы моделирования или за счет интеграции с другими программными средами;

- исполнительный модуль может функционировать вне среды для разработки модели;

- применением многопользовательского режима работы, интерактивного распределенного моделирования, разработками в области взаимодействия имитационного моделирования со Всемирной паутиной и др.[14]

Некоторые характеристики для перечисленных выше популярных систем имитационного моделирования по материалам Winter Simulation Conference [15] приведены в [14, 16]. Обмен международным опытом в области имитационного моделирования осуществляется в основном на так называемой Зимней конференции по имитационному моделированию (основными участниками которой являются компании-разработчики систем моделирования, в основном дискретных), и конференции по Системной динамике, организуемых Международным обществом системной динамики ([systemdynamics.org](http://systemdynamics.org), [sdrus.org.ru](http://sdrus.org.ru)), распространяющим системную динамику во всех серьезных бизнес-школах всего мира. Встречи Российских симуляционистов сегодня организуются по такому же сценарию. Проводится Всероссийская научно-практическая конференция по вопросам применения имитационного моделирования в промышленности «Имитационное

моделирование. Теория и практика» - ИММОД. В 2005 году в Апатитах прошла Всероссийская научная конференция "Теория и практика системной динамики"[14].

## **6. Заключение**

Стремительное развитие компьютерного моделирования оказывает существенное влияние на все сферы жизнедеятельности человека, во многом упрощая и улучшая его жизненные условия. В мире информационных технологий имитационное моделирование переживает второе рождение [14,16]. Интерес к этому виду компьютерного моделирования оживился в связи с существенным технологическим развитием систем моделирования, которые на сегодняшний день являются мощным аналитическим средством, вобравшим в себя весь арсенал новейших информационных технологий, включая развитые графические оболочки для целей конструирования моделей и интерпретации выходных результатов моделирования, мультимедийные средства и видео, поддерживающие анимацию в реальном масштабе времени, объектно-ориентированное программирование, Internet – решения и др. Модели системной динамики применяются совместно с дифференциальными уравнениями балансового типа, а также в сочетании с принципами и методами логистики, основанными на оптимизации, управлении, интеграции потоков в сложных системах. Перспективно применение компьютерного моделирования в сочетании с другими методами принятия решений, интеллектуальными технологиями, экспертными процедурами, реализация имитационно-оптимизационных вычислительных процедур на основе компенсационных подходов.

В мире бизнеса, корпораций имитационное моделирование становится все более распространенным и используется как системообразующее и наиболее ценное звено процесса принятия решения, поэтому используется совместно с другим программным обеспечением для принятия решений в информационных бизнес системах различного назначения: корпоративных информационных системах, САПР, Ситуационных центрах и системах поддержки принятия решений.

## 7. Список литературы

**Кобелев Н.Б.** Основы имитационного моделирования сложных экономических систем. — М.: Дело, 2003. — 336 с.

**Емельянов А.А.** Имитационное моделирование экономических процессов / **Емельянов А.А., Власова Е.А., Дума Р.В.**; Под ред. А.А. Емельянова. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 368 с.: ил.

**Шрейдер Ю.А.** (ред.) Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло) / Авторы глав Н. П. Бусленко, Д. И. Голенко, И. М. Соболев, В. Г. Срагович, Ю. А. Шрейдер.—М.: ГИФМЛ, 1962, 334 с.

**Берталанфи Л. фон** Общая теория систем — Критический обзор / В кн.: Исследования по общей теории систем.— М.: Прогресс, 1969. С. 23—82. На английском языке: L. von Bertalanffy, General System Theory — A Critical Review // «General Systems», vol. VII, 1962, p. 1—20.

**Хинчин А.Я.** Работы по математической теории массового обслуживания / Под редакцией Б. В. Гнеденко. — М.: Физматгиз, 1963. — 236 с.

**L. Takas** On the generalization of Erlang's formula, Acta Math. Acad. Scient. Hung., 7, 1956, p.419-433.

**Клейнрок Л.** Теория массового обслуживания. Перевод с англ. /Пер. И. И. Грушко; ред. В. И. Нейман – М.: Машиностроение, 1979. – 432с., ил.

**Морозов А.И.** Тайны моделей – М.: Молодая гвардия, 1955. 320 с.

**Томашевский В.М.** Имитационное моделирование в среде GPSS[Текст] / **Томашевский В., Жданова Е.** Имитационное моделирование в среде GPSS – М.: Бестселлер, 2003. – 416 с.

**Кудрявцев Е.** M.K88 GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 320 с.: ил.

**Ингольф Сталл** "GPSS - 40 лет развития" / перевод Девятков В. В. // Портал gpss.ru, 2001 URL: [http://www.gpss.ru/paper/stahl/index\\_w.html](http://www.gpss.ru/paper/stahl/index_w.html) (дата обращения 20.02.2012)

**Cleve Moler** The Origins of MATLAB // MathWorks.com. 2004. URL: [http://www.mathworks.com/company/newsletters/news\\_notes/clevescorner/dec04.html](http://www.mathworks.com/company/newsletters/news_notes/clevescorner/dec04.html) (дата обращения 20.02.2012)

**Cleve Moler** The Growth of MATLAB® and The MathWorks over Two Decades. // MathWorks.com. 2006. URL: [http://www.mathworks.com/company/newsletters/news\\_notes/clevescorner/jan06.pdf](http://www.mathworks.com/company/newsletters/news_notes/clevescorner/jan06.pdf) (дата обращения 20.02.2012)

**Н.Н. Лычкина**, Современные технологии имитационного моделирования и их применение в информационных бизнес-системах // «Новые информационные технологии». Тезисы докладов XV Международной студенческой школы-семинара – М.: МИЭМ, 2006. С. 64-73.

**James J. Swain** Simulation Software Survey // The Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS) <http://www.informs.org/>. 2010. URL: <http://www.orms-today.org/surveys/Simulation/Simulation.html> (дата обращения 20.02.2012)

**Лычкина Н.Н.** Технологические возможности современных систем моделирования // Банковские технологии. 2000. Вып. 9. С. 60-63.

*Источник:*

*<http://wiki.ailab.ifmo.ru/index.php>*