

---

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИНФОРМАЦИОННЫХ БИЗНЕС-СИСТЕМАХ И СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Н. Н. Лычкина (Москва)

В мире информационных технологий имитационное моделирование переживает второе рождение [1]. 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. В силу своей привлекательности и доступности эти технологии имитационного моделирования с легкостью покинули академические стены и сегодня осваиваются IT-специалистами в бизнесе.

В настоящее время в России, вслед за США и Европой, правда, в силу известных экономических причин, с некоторым отставанием, обозначился интерес в применении этого класса программного продукта в различных аналитических приложениях и в информационных бизнес-системах различного назначения. 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 системах поддержки принятия решений (СППР).

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, AutoMod, QUEST, SIMFACTORY II.5, SIMPLE++, eM-Plant, и др.) На рынке информационных технологий этот класс систем моделирования наиболее представительный;
- 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 (ARIS);
- 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);
- другие.

Некоторые характеристики для перечисленных выше популярных систем имитационного моделирования по материалам Winter Simulation Conference [2] приведены ниже в табл. (1–2). Технологические возможности современных систем моделирования рассматриваются в [1, 3].

В экономическом анализе имитационное моделирование является наиболее универсальным инструментом в области финансового, стратегического планирования, бизнес-планирования, управлении производством, проектировании и реинжиниринге и многих других сферах науки управления и исследовании операций. В ГУУ на кафедре «Информационные системы», где в течении ряда лет мною преподается дисциплина «Имитационное моделирование экономических процессов», отрабатываются бизнес-решения, основанные на применении современных технологий имитационного моделирования, такие как:

- цифровое производство, имитационное моделирование производственных процессов, логистика и т.п.;
- моделирование бизнес-процессов (на российском рынке получили хождение несколько решений, основанных на интеграции CASE-технологий и имитационного моделирования: BPWIN; Arena; ARIS и раскрашенные сети Петри; iThink, вписывающийся в нотации по методологии Гейна-Сарсона);
- компьютерное моделирование социально-экономических процессов на местном, региональном и федеральном уровне [3].

Имитационное моделирование становится незаменимым инструментом анализа и принятия решений в Ситуационных и Стратегических центрах различного назначения, в Системах поддержки принятия решений (СППР).

*Методологические и технологические подходы к построению СППР* [3] основаны на реализации итеративной, многоэтапной процедуры принятия решения, включающей этапы: выявление структурных особенностей в поступаемых в ходе мониторинга территориальных данных с применением концепции Хранилища Данных, анализа тенденций и визуализации выявленных в данных зависимостей с помощью средств Интеллектуального Анализа Данных и OLAP- технологий. Центральным элементом, системообразующей и интегрирующей основой всей процедуры принятия решений в таких системах выступает *обобщенная имитационная модель объекта исследования*, реализуемая в СППР на основе комплекса взаимосвязанных имитационных и оптимизационных моделей с развитыми динамическими и информационными связями между моделями всех уровней, поддерживаемых стратифицированным описанием, выполненным CASE-средствами на верхнем уровне представления моделируемой системы. Процедуры выбора реализуются на основе сценарного подхода, характеризуются прямым участием эксперта в целенаправленном модельном исследовании и применением вычислительных процедур на основе компенсационного сочетания экспериментального подхода компьютерного моделирования с различными аналитическими методами – статистическими, балансовыми, логистическими, итерационными имитационно-оптимизационными вычислительными процедурами и интеллектуальными технологиями.

Интересны вопросы интеграции имитационного моделирования с так называемыми технологиями интеллектуального анализа данных (Data Mining) в СППР. На следующем рисунке демонстрируется, как в контуре стратегического планирования на предприятии, различные методы Data Mining используются на разных фазах процедуры принятия решений, включая идентификацию моделируемых систем на этапе построения модели, формирования цели, генерации альтернатив и других, вплоть до выбора предпочтительной стратегии.

Таблица 1

Обзор характеристик систем моделирования

Пакет	Производитель	Области применения пакета	Построение модели		
			Графическое построение модели	Input Distribution Fitting (Specify)	Поддержка анализа выходной информации
AnyLogic 5.0	XJ Technologies	Стратегический менеджмент, производство, обслуживание, логистика, цепочки поставок, медицина, транспорт, IT управление, телекоммуникации, поддержка принятия решения, агентный подход	У	Stat::Fit поддерживает более 40 математических распределений	Сбор данных и статистическая обработка (отклонение от средней, вероятностные распределения и т.д.), представление (графики Ганта, гистограммы и т.д.) Output Analyzer (отклонение от средней, Анова, гистограммы, графики )
Arena	Rockwell Software	Производство, цепочки поставок/логистика, управление бизнес-процессами, ВПК, медицина	У	-	
AutoMod	Brooks Automation	Автомобильная, аэрокосмическая отрасли, моделирование аэропортов, транспортные системы, производство, складирование и сбыт	У	С использованием ExpertFit	Модуль AutoStat обеспечивает увеличенный статистический анализ в течение всей фазы экспериментирования над моделируемым объектом
eM-Plant	Tecnomatix Technologies Inc.	Дискретное производство (автомобильная отрасль, электроника, судостроение, станкостроение, сборочные линии и т.д.), логистика, сбыт, консалтинг, симуляция бизнес-процессов, здравоохранение, банковский бизнес	У	Включен Стандартный инструмент анализа данных (DataFit)	Стандартный включенный инструмент анализа данных DataFit (Доверительный интервал, средние и т.д.)
Extend Industry	Imagine That, Inc.	СМО, включая сбытовую логистику, упаковочные линии, моделирование крупномасштабных систем с большими нагрузками, и т.д. Включает внутреннюю реляционную базу данных и модуль для моделирования	У	-	Доверительные интервалы и т.д.
ProModel	ProModel Solutions	Производство и логистика, анализ отклонений, шесть сигм, проектирование и планирование портфеля, оценка мощностей, анализ затрат; моделирование циклических усовершенствований во времени; фармацевтика.	У	Определенные пользователям распределения, 15 предопределенных распределений, плюс распределения поставляемые с Stat::Fit (включенное программное обеспечение)	Полный анализ выходных данных, использование диаграмм; также экспорт в Excel и Access для последующего анализа
QUEST	Delmia	Производство (автомобилестроение, авиационное, космонавтика, электроника, судостроение)	У	-	Осуществляет комбинированный анализ, стохастический анализ совместных вероятностей всех событий
Witness	Lanner Group ltd	Производство, оптимизация, планирование, календарное планирование, моделирование бизнес-процессов, ВУЗы,	У	Содержит около 10 математических распределений. Помимо этого возможно программирование собственного распределения	-

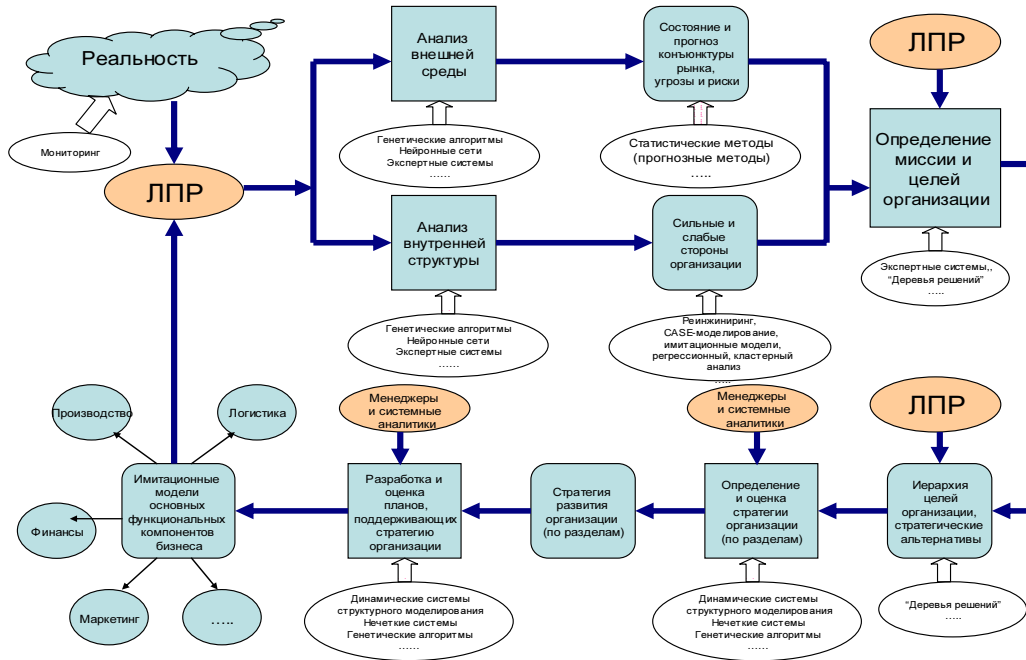
Таблица 2

Обзор характеристик систем моделирования (продолжение)

Пакет	Построение модели			Анимация		Основные новые функции
	Пакетный ввод и разработка эксперимента	Оптимизация	Передача готовой модели тем, у кого нет ПО для разработки собственной	Анимация	Просмотр в режиме реального времени	
ApuLogic 5.0	Поддерживаемые типы эксперимента: симуляция, оптимизация, Монте Карло, анализ чувствительности, пользовательский алгоритмы	Встроенный механизм OptQuest может работать как с классическими, так и очень объемными задачами, включая структурную оптимизацию	У	У	У	Встроенная анимация и создание апплетов, оптимизатор OptQuest, более быстрый механизм, планирование экспериментов, просмотр системной динамики, связь с БД, XML, библиотеки
Arena	—	—	У	У	У	Несколько новых особенностей в областях интеграции данных, манипуляции данных, визуализации и мультипликация
AutoMod	Пакетный ввод при использовании AutoStat; AutoMod позволяет планировать эксперимент	Оптимизация основана на алгоритме эволюционной стратегии	У	У	У	Сложные модели позволяют Вам импортировать обычно используемые прототипы в новые модели, а так же позволяют многократное аналитическое моделирование включающее обработку данных различных подмоделей главной модели
eM-Plant	система управления экспериментом, поддержка пакетного режима работы, расчет доверительных интервалов, нейронные сети	Генетические алгоритмы, нейросети	У	У	У	Легкая настройка интерфейса, менеджер экспериментов, расширенная 3D анимация, интеграция с программами Testomatx eMPower, XML, AutoCAD, SDX interfaces, layout oriented modeling
Extend Industry	Автоматическое выполнение различных сценариев, поддерживаемых системой	Эволюционный оптимизатор с открытым кодом включен во все версии Extend	У	У	У	Полностью интегрированный эволюционный оптимизатор, интерактивный отладчик исходных кодов, COM/ActiveX, навигатор в стиле Проводника, диаграммы Ганта, обмен данными в web, выполнение нескольких моделей графики Ганта, формат xls для загрузки внешних файлов, дополнительные функций
ProModel	Unlimited scenarios can be predefined to experiment on parameters	Доступна оптимизация с использованием OptQuest и/или SimRunner	У	У	У	Расширенная 3d анимация. Интеграция с CAD, "спиральное" построение модели
QUEST	—	—	—	У	У	Расширенная 3d анимация
Witness	—	Специальный модуль WITNESS Optimizer	У	У	У	Расширенная 3d анимация

Итерационная человеко-машинная процедура принятия решения в СППР реализуется на основе взаимодействия эксперта и компьютерных аналитических систем различного назначения. Цикл принятия решения состоит из чередующихся фаз анализа и постановки задачи и фазы оптимизации (собственно выбора на множестве альтернатив).

Этапы стратегического планирования предприятия и компьютерные технологии, поддерживающие принятие решений



Определяя основные направления деятельности корпорации (предприятия), правление (ЛПР), оперируя инструментами системы принятия решений (СПР), находящейся на вершине информационной системы предприятия, анализирует текущее состояние предприятия и формирует миссию и цели дальнейшей деятельности.

Процесс принятия решения на этом уровне характеризуется высокой степенью личной неопределенности и необходимостью формирования коллективных, согласованных решений. Неопределенность связана с колебаниями в выборе средств достижения цели, сомнениями в выборе и оценке критериев развития, выборе аналитических методов и др. и преодолевается за счет использования в СПР вычислительных процедур и методов, основанных на учете субъективных оценок и предпочтений руководителя [4]. Здесь могут быть полезны методы субъективной вероятности, нечеткие множества, нейронные сети, кусочно-линейная аппроксимация и др. процедуры.

Выработка согласованных, коллегиальных решений осуществляется как за счет специальных технологий в СПР для поддержки групповых решений и коллективной работы (GDSS, GSCW-системы), так и применения специальных компьютерных методов и экспертных оценок, ориентированных на выработку совместных, согласованных решений.

В литературе [4] обсуждается применение экспертных систем и нечеткой логики, логических методов: когнитивных карт, метода анализа иерархий и др., облегчающих процесс структуризации проблемы и формирования целей.

После того, как определены желаемые цели, за работу принимаются менеджеры и системные аналитики, работающие на следующем уровне Информационной системы предприятия – СППР, оперируя широким арсеналом компьютерных методов и своим

личным опытом. В их задачу входит обработка основных этапов процедуры принятия решений, связанных с:

- генерацией возможных решений (альтернатив, сценариев),
- осуществлением динамического компьютерного анализа возможных последствий принимаемых решений,
- оценкой и выбором лучшего варианта развития.

В силу того, что решаемые на уровне стратегического планирования задачи сложны, многофакторны, слабоструктурированы, с высоким уровнем внешней и внутренней неопределенности, определяющей преобладание экспертного знания в формализации стоящих перед предприятием проблем, основным системообразующим инструментом в процедуре принятия решения являются динамические системы структурного моделирования, прежде всего, методы системной динамики.

На этапе формирования базовой имитационной модели стратегического развития предприятия, при идентификации основной внутренней структуры и функций моделируемой системы, а также при анализе внешней среды (рынок, конкуренты, государственное регулирование), в зависимости от задач, находят широкое применение технологии Data Mining: статистические методы, включая регрессионный и кластерный анализ, методы оценки рисков, интеллектуальные технологии: нейронные сети, генетические алгоритмы, экспертные системы, а также методы экспертного оценивания.

Полученные знания являются входной информацией для формируемой имитационной модели и позволяют провести корректную параметризацию динамической имитационной модели, основанную на реальных данных и знаниях. Эти данные могут храниться в базе данных и базе знаний СППР, что упрощает последующие процедуры идентификации имитационной модели.

Полученная обобщенная имитационная модель предприятия является инструментом экспериментального оценивания множества сценариев, стратегических альтернатив, сформированных экспертами.

Когнитивные карты, деревья решений, экспертные системы и активное взаимодействие экспертов в Ситуационных комнатах (с помощью агентно-ориентированных систем) выступают в качестве основных методов и инструментов генерации решений в СПР.

Выбор альтернатив по результатам экспериментального имитационного исследования может быть осуществлен с помощью итерационных имитационно-оптимизационных процедур [5], генетических алгоритмов, экспертных и нечетких систем, традиционных методов оптимизации (градиентных, оптимизации по Парето, идеальная точка, метод уступок и др.), проводя оценку возможных решений в соответствии с предпочтениями ЛПР и осуществляя согласование групповых решений в СППР.

Остальные решения по всем компонентам бизнеса (логистика, производство, маркетинг, финансовое планирование и др.) принимаются в соответствии с выработанной базовой стратегией на основе комплекса детализированных имитационных моделей. Здесь, в зависимости от решаемых задач, спектр инструментов и методов компьютерного моделирования может быть существенно расширен. Реинжиниринг бизнес-процессов компании, организация цифровых фабрик, комплексное управление логистическими цепочками могут быть высокотехнологичным образом осуществлены на основе развитых технологий дискретного имитационного моделирования, которые упоминались выше, дополненных визуализацией и структурно-функциональным моделированием. Маркетинговые исследования, анализ финансового состояния корпорации эффективно осуществляется с помощью методов системной динамики, дополненных на

этапе идентификации проблемы, методами кластеризации, различными статистическими методиками, экспертными оценками.

Итак, этот пример наглядно демонстрирует важную интегрирующую, системообразующую роль методов и технологий имитационного моделирования в процедурах принятия решений в современных СППР, возможности которых существенно могут быть расширены за счет активного применения других компьютерных аналитических систем как при создании имитационных моделей, так и при встраивании их в человеко-машинные процедуры принятия решений, организуемые по результатам сценарных расчетов на основе компьютерной модели объекта. Помимо перечисленных свойств, отмечу следующие плюсы имитационного моделирования в процедурах принятия решений:

- имитационная модель является естественной и удобной линейкой для принятия решений, как инструмент экспериментального проигрывания большого множества сценариев;
- при этом реализуется человеко-машинная процедура, эксперт (ЛПР) активно участвует в процессе принятия решения: детализирует проблему и модель, осуществляет генерацию альтернатив, постановку направленного вычислительного эксперимента на имитационной модели, выбор и ранжирование критериев, а также оценку результатов сценарных расчетов, т.е. технология имитационного моделирования позволяет учитывать субъективные предпочтения эксперта и его опыт в процессе принятия решений. Компьютер только упрощает, помогает эксперту в выработке решения, а не заменяет его, что является необходимой установкой в СППР;
- кроме того, имитационная модель помогает осуществить динамический анализ возможных сценариев развития.

### Литература

1. **Лычкина Н. Н.** Технологические возможности современных систем моделирования // Банковские технологии. –2000. Вып. 9. –С. 60–63.
2. Simulation Software Survey.  
<http://www.lionhrtpub.com/orms/surveys/Simulation/Simulation.html>
3. **Лычкина Н. Н.** Компьютерное моделирование социально-экономического развития регионов в системах поддержки принятия решений//III Международная конференция «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO` 04. –М.: ИПУ РАН, 2004.
4. **Трахтенгерц Э.А.** Компьютерная поддержка принятия решений: Научно-практическое издание. Серия «Информатизация России на пороге XXI века. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 376с.
5. Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем (оптимизационно-имитационный подход)/А.Д. Цвиркун, В.К. Акинфиев и др. М.: Наука, 1985. – 176 с.