

УДК 519.86

Астанина Л.А.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ

ИССЛЕДОВАНИЯХ: современное состояние и технология применения

*Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН,
Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева 17, 630090.*

UDC 519.86

Astanina L.A.

SIMULATION MODELING IN ECONOMIC RESEARCH:

STATE-OF-THE-ART AND TECHNOLOGY OF APPLICATION

*Institute of Economics and Industrial Engineering of the SB RAS,
Novosibirsk, Academician Lavrentyev avenue, 17, 630090*

В данной работе рассматриваются вопросы использования имитационного моделирования при исследовании сложных экономических систем, описывается технология построения и исследования имитационных моделей экономических систем, делается краткий обзор этапа развития прикладного программного обеспечения имитационного моделирования и сферы его применения в экономических исследованиях.

Ключевые слова: имитационная модель, экономическая система, концептуальная модель, программа-имитатор, исследование модели, адекватность модели, верификация, валидации, область применения.

In this paper covers the use of simulation models for study of complex economic systems, is described the technology of the construction and of the studying of simulation models of economic systems, is given a brief overview of the development software, and is shown the scope of application models in economics.

Key words: simulation model, the economic system, the conceptual model, the simulator, a study model, adequacy model, verification, validation, field of application.

В последнее время наблюдается повышенный интерес к имитационному моделированию сложных экономических систем. Это объясняется, с одной стороны, ускоренными темпами развития в последние десятилетия вычислительной техники, и, как следствие – компьютерных технологий, а, с другой стороны, потребностью экономической теории и практики, столкнувшейся с ускоренными темпами всевозможных экономических преобразований, последствия которых зачастую непрогнозируемы.

Сущность имитационного моделирования состоит в построении компьютерной модели, которая с помощью компьютерных технологий воспроизводит формализованный процесс функционирования сложной системы. При этом сложная система разбивается на отдельные элементы, функционирование которых моделируется программой-имитатором с учетом их согласованности, взаимодействия и возможности объединения в единый процесс функционирования системы в целом. В этом проявляется системный подход, как к исследованию сложных систем, так и к построению компьютерной модели, т.е. – имитационному моделированию.

Таким образом, имитационная модель представляет собой алгоритм функционирования системы, программно реализуемый на компьютере [1].

В общем виде имитационное моделирование можно представить схемой, изображенной на рисунке 1.

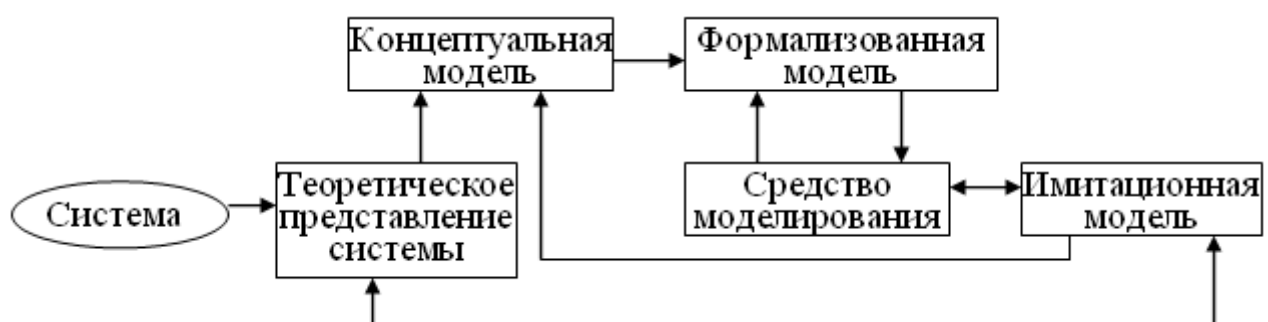


Рис.1 Общая схема имитационного моделирования

Как видно из приведенной на рисунке 1 схемы, особенностью имитационного моделирования является наличие программного средства построения модели, в то время как в математических моделях моделирование осуществляется посредством аналитических зависимостей.

Для сравнения приводится общая схема математического моделирования (рис. 2).

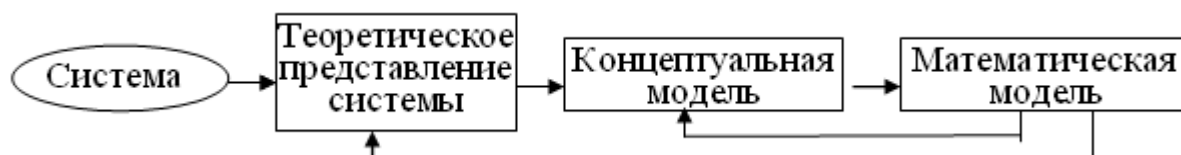


Рис. 2 Общая схема математического моделирования

При математическом моделировании формализованная модель уже является математической моделью объекта.

Существенные различия имитационного и математического моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1

Существенные различия имитационного и математического моделирования

Параметры сравнения	Имитационная модель	Математическая модель
Методологическая основа	Системный анализ	Математические методы
Форма представления	Логико-математическая, сложной структуры с причинно-следственными зависимостями	Функциональные соотношения, логические условия
Способ построения	Использование компьютерных технологий моделирования	Математический
Субъект построения	Компьютерная программа – имитатор	Математик
Способ проверки адекватности моделируемой системе	Специальные приемы верификации и валидации	Аналитические, алгоритмические

Эти различия определяют специфику имитационного моделирования и предъявляют жесткие требования к проведению исследования на его основе.

Основополагающими в области технологии имитационного моделирования явились работы Роберта Шеннона [2] и Аверилла Лоу с Дэвидом Кельтоном [3]. Они разработали основные принципы построения и анализа имитационных моделей. Этапы проведения исследования с помощью имитационного моделирования представлены на рисунке 3.

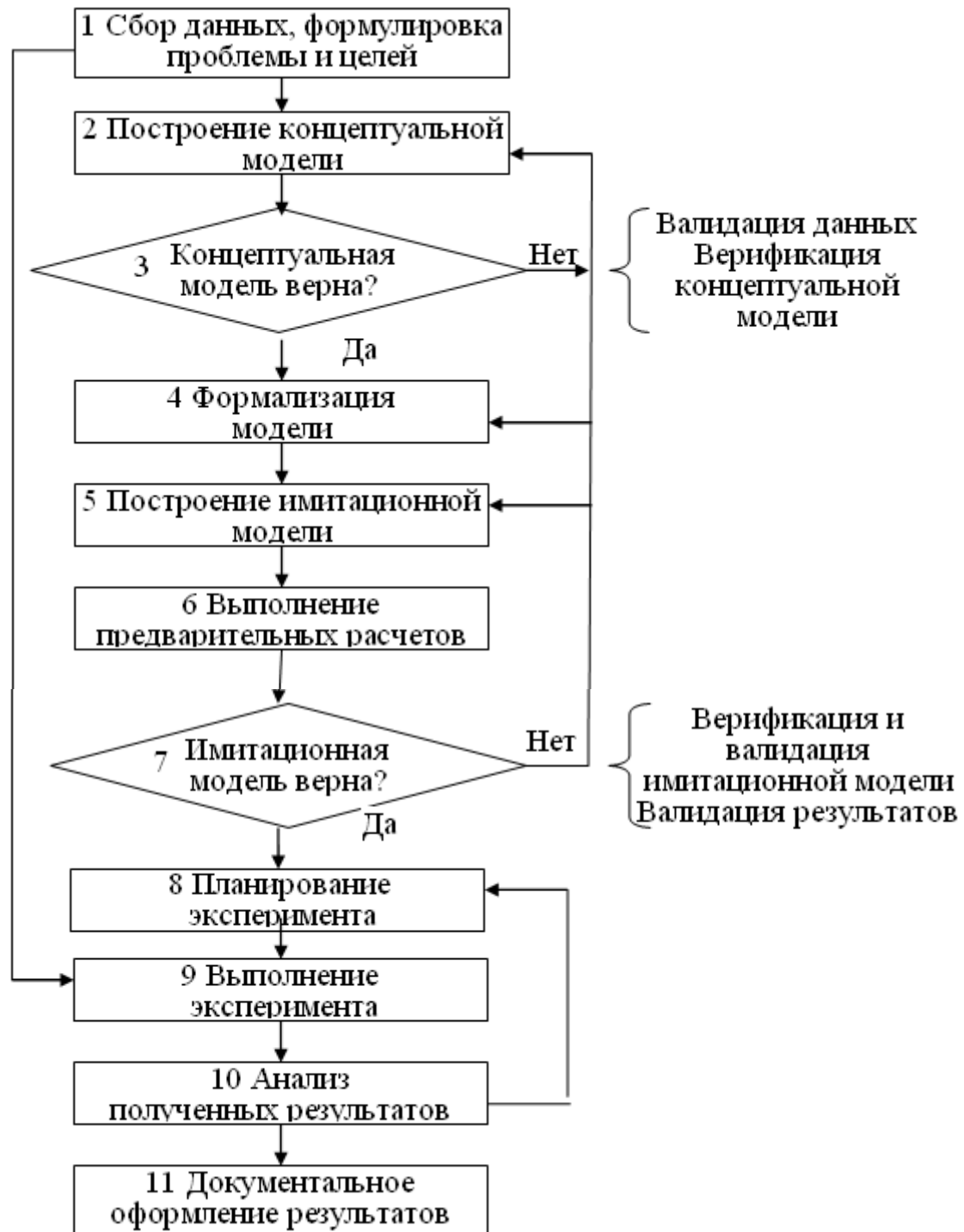


Рис. 3 Этапы проведения исследования с помощью имитационного моделирования

Рассмотрим эти этапы более подробно с содержательной точки зрения.

Первые три этапа имитационного моделирования по существу аналогичны этапам математического моделирования.

На первом этапе осуществляется:

- сбор данных о структуре моделируемого объекта, и его функционировании;
- сбор данных о параметрах объекта, его ограничениях,
- сбор (с определенной степенью достоверности) исходных данных о функционировании объекта для последующей проверки модели на адекватность (для тестирования модели);
- определение проблемной области;
- определение целей исследования;
- выбор критериальной функции, отображающей цели функционирования объекта и правила их достижения;
- выбор уровня абстракции модели (в зависимости от целей исследования, критериальной функции, достоверности исходных данных, компьютерных возможностей и т.д.);

На втором этапе строится концептуальная модель – систематизированное содержательное описание объекта, определяющее состав и структуру объекта, свойства элементов, причинно-следственные связи, присущие анализируемому объекту и существенные для достижения целей моделирования (концептуальная модель описывается в общедоступных терминах для специалистов, работающих как в данной предметной области, так и в области программирования).

На третьем этапе проводится:

- валидация исходных данных, т.е. проверка их достоверности (в допустимых пределах);
- верификация концептуальной модели, т.е. проверка ее соответствия замыслу

На четвертом этапе концептуальная модель переводится в формализованную, т.е. в ее формальную запись в терминах, воспринимаемых программой–имитатором.

На пятом этапе посредством программы–имитатора строится компьютерная модель.

На шестом этапе выполняются предварительные расчеты (тестовые прогоны) с целью получения информации для исследования имитационной модели. В случае адекватности модели (о чем пойдет речь далее) полученная информация является основой для планирования эксперимента.

На седьмом этапе проводятся всевозможные проверки имитационной модели:

- верификация модели – проверка соответствия замыслу, изложенному в концептуальной модели (здесь используются специальные приемы и методы отладки модели, например, калибровка);
- валидация модели – проверка адекватности модели исследуемому объекту и цели исследования (здесь используется сравнительный анализ входных и выходных параметров объекта с соответствующими параметрами модели с использованием богатого арсенала статистических методов);
- валидация результатов расчетов по имитационной модели – проверка соответствия результатам (поведению) функционирования реального объекта – позволяет судить о ее свойствах, таких как чувствительность, устойчивость, точность, что, в свою очередь, позволяет сделать заключение о возможности ее использования для исследования реального объекта;

На восьмом этапе разрабатывается план эксперимента. Планирование – необходимое условие проведения имитационного эксперимента поскольку

- стратегия проведения эксперимента зависит от его целей;
- точность результатов эксперимента прямо пропорциональна числу прогонов и обратно пропорциональна разбросу результирующих значений, поэтому спланировать эксперимент надо так, чтобы достичь целей при

удовлетворительной точности результатов и сравнительно небольшом числе прогонов.

Планирование эксперимента осуществляется, исходя из целей эксперимента, основываясь на свойствах модели, полученных в ходе отладочных прогонов, и подразделяется на стратегическое и тактическое.

Стратегический план предусматривает такое проведение эксперимента, чтобы оптимальным образом (в смысле сочетания точности результатов и количества прогонов) обеспечить достижение цели и собрать как можно больше информации об объекте. Для этого существуют приемы и методы планирования эксперимента.

Тактический план обеспечивает оптимальность каждой отдельной серии прогонов. Здесь – и выбор шага моделирования, и числа прогонов, и правила остановки, и снижение дисперсии и т.п.

Девятый, десятый и одиннадцатый этапы не требуют особых комментариев.

Несколько слов о развитии имитационного моделирования. Не касаясь истоков имитационного моделирования, поскольку они хорошо известны, остановимся кратко на основных этапах развития его пакетно-прикладного уровня (табл.2).

Таблица 2

Развитие имитационного моделирования (пакетно-прикладной уровень)

Годы	Подходы к моделированию		
	Дискретно-событийный	Системно-динамический	Агентный
1970 – 1980	GPSS		
1980 – 1990	Clam-II Extend GASP-IV GPSS-5 SIMULA-67		

Продолжение таблицы 2

1990 – 2000	eM-Plant GPSS ProModel Taylor WITNESS	Dynamics iThink	Swarm NetLogo
2000 – н/в	AnyLogic Pilgrim	AnyLogic ModelMaker VenSim	AnyLogic

В шестидесятые годы предыдущего столетия в основном развивались предметно-ориентированные языки программирования и их модификации. Первым универсальным языком стал GPSS, который и дал толчок развитию прикладных программ имитационного моделирования.

Последующее развитие вычислительной техники, а следом и компьютерных технологий открыло возможности для разработки пакетно-прикладных программ имитационного моделирования. Этим отличаются восьмидесятые и особенно – конец девяностых годов. Основным подходом здесь является дискретно-событийный, который в свою очередь реализуется, основываясь на теории массового обслуживания, кусочно-линейных агрегатах, сетях Петри.

Наибольшее распространение получает реализация, основанная на принципах теории массового обслуживания, поскольку, с одной стороны, она хорошо проработана в теоретическом и прикладном плане, а с другой – поддается интерпретации в терминах функционирования микроэкономических объектов экономики.

Характерной особенностью дискретно-событийного подхода является то, что в его интерпретации изменение состояния объекта происходит дискретно и фиксируется как событие.

В девяностые годы при разработке прикладных программ начинает использоваться системно-динамический подход, который позволяет рассматривать непрерывное (в зависимости от некоей переменной, обычно это –

время) изменение состояния объекта. Как правило, этот подход основывается на принципах термодинамики, где системная динамика описывается системой дифференциальных уравнений.

Примерно в это же время появляются пакеты экспериментальных программ (Swarm, NetLogo), использующие агентный подход к моделированию. При агентном подходе рассматривается совокупность автономных агентов (например, фирм), индивидуально принимающих решение согласно своим правилам и взаимодействующих прямо или косвенно друг с другом.

Сфера применения наиболее используемых пакетов имитационного моделирования приведена в таблице 3.

Таблица 3

Сфера применения наиболее используемых пакетов имитационного моделирования

Пакет	Производитель	Сфера применения
AnyLogic	XJ Technologies, Россия	Производство, финансы, логистика, массовое обслуживание, медицина, транспорт, стратегический менеджмент, наука, телекоммуникации, экосистемы, IT управление, бизнес-процессы.
Arena	Systems Modeling Corporation, США	Правительственные организации, банки, финансы, здравоохранение, производство, логистика, авиация, космос, ВПК, различные отрасли промышленности.
AutoMod	Brooks Automation, США	Производство, складирование и сбыт, отрасли (автомобильная, аэрокосмическая), моделирование аэропортов.
eM-Plant	AESOP, Германия	Дискретное производство (автомобильная отрасль, электроника, судостроение, станкостроение, и т.д.), логистика, сбыт, консалтинг, здравоохранение, финансы.
Extend	Image That, США	Системы массового обслуживания, включая сбытовую логистику, коллективные центры с большой нагрузкой, упаковочные линии, и т.д.

Продолжение таблицы 3

GPSS	Minuteman Software, США	Авиация, финансы, промышленность, логистика, информатика, медицина.
iThink	High Performance Systems Inc, США	Финансы (включая аналитику), консультационные и проектные компании, региональные органы власти, управление объектами топливно-энергетического комплекса, металлургических, химических и др. предприятий, включая предприятия с непрерывным циклом производства.
Pilgrim	МЭСИ, Россия	Системы массового обслуживания, транспортные и производственные системы, логистика, производственные процессы
ProModel	Brooks Automation, США	Фармацевтика, производство, логистика.
VenSim	Ventana Systems, США	Финансово-кредитная деятельность, управление, производство, экология, геология, медицина
WITNESS	Lanner Group ltd, США	Производство, управление качеством, моделирование бизнес-процессов, ВУЗы, коллективные центры

В настоящее время при исследовании сложных экономических систем большие надежды возлагаются на пакет прикладных программ имитационного моделирования AnyLogik, который поддерживает все три подхода к моделированию, а также любую их комбинацию [4, 5]. Это открывает возможности исследования мезоэкономических систем (таких как отрасль, кластер), в которых поведение и взаимодействие автономных агентов оказывает влияние на динамику всей системы, что в свою очередь среду, влияющую на поведение агентов.

Литература:

- 1 Лычкина Н.Н. Технологические возможности современных систем моделирования. //Банковские технологии. 2000. № 9. С. 60–63
- 2 Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 418 С.

3 Кельтон В., Лоу А., Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е издание – СПб: Питер – 2004. – 847 С.

4 Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro, 2008. № 3–4. URL: <http://www.xjtek.ru/anylogic/articles/>

5 Карпов Ю.Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5 (+CD). – СПб: БХВ-Питер, 2005. – 400 С.

References:

1 Lychkina N.N. Technological possibilities of modern systems modeling.//Banking technology. 2000. № 9. С. 60-63

2 Shannon R. System simulation – the art and science. – М: Mir, 1978. - 418 С.

3 Kelton W., Lowe A., Simulation modeling. Classic CS. the 3rd edition - St. Petersburg: Piter – 2004. – 847 С.

4 Borschev A.V. Practical agent modeling and his place in the Arsenal Analytics // Exponenta Pro, 2008. № 3-4. URL: <http://www.xjtek.ru/anylogic/articles/>

5 Karpov Y.G. Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with AnyLogic 5 (+CD). – SPb.: BHV–Piter, 2005. – 400 С