

Количественные решения математического и имитационного моделирования

С. А. Морозов

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации (Финуниверситет), Financial University
sema-cold@yandex.ru

Аннотация. На сегодняшний день моделирование является наиболее эффективным средством для решения сложных процессов автоматизации, таких как эксперименты, проектирование, исследование, практическая деятельность человека с каждым разом все больше подтверждает удивительно высокую степень эффективности математики в естественных и технических науках. Без использования математических расчетов и исследований осуществление самых глобальных технических проектов XX и XXI вв. стало бы невозможным, по крайней мере, в их современном виде и с минимальным количеством катастрофических ошибок. Цель данного исследования – изучение специфики математического моделирования в глобальных системах.

Ключевые слова: математическое моделирование; имитационное моделирование; алгоритм построения моделей; программирование; системы данных

I. ВВЕДЕНИЕ

Имитационное и экономико-математическое моделирование является эффективным методом описания сложных социально-экономических объектов и процессов при помощи математических моделей, что делает его частью самой экономической сферы, вернее экономического, математического и кибернетического сплава.

Математическая модель объекта – это его гомоморфное отображение как совокупность уравнений, равенств, логических отношений, графиков, условный образ объекта, который сформирован с целью облегчения его изучения, получения о нём новых знаний, анализа и оценки принимаемых решений в конкретных или возможных ситуациях. Математическое моделирование широко используется в различных областях науки, техники, экономических и социальных приложениях.

Особое значение имеет моделирование в экономике. Это связано с тем, что осуществление экспериментов над экономическими объектами является дорогостоящим, а порой опасным и невозможным. Поскольку эксперимент может повлечь за собой значительные потери как материальных, так и финансовых средств, а также повлиять на судьбы миллионов людей. Моделирование предоставляет возможность решать задачи таким образом типа «а что будет, если...», и при этом не будет никакого вмешательства в ход развития экономической системы. Осуществив расчет модели, можно определить влияние тех

или иных параметров на развитие экономической системы. Если полученные результаты моделирования экономической системы являются надежными, то тогда можно сформировать рекомендации для практиков, которые затем можно будет использовать управления реальными экономическими процессами.

По данной причине в странах с высоким уровнем развития науки имеются и развиваются школы математического, в частности, имитационного, моделирования.

II. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Поскольку моделирование носит характер целенаправленного процесса, то его осуществляют в соответствии с достаточно строгой, четко и логически выстроенной программой действий. К числу главных этапов построения экономико-математической модели относятся: постановка экономической проблемы и ее углубленный анализ; проектирование математической модели; анализ модели математическими методами; подготовка исходных данных; количественное решение; анализ численных результатов и их использование.

Общая схема процесса разработки математической модели представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема процесса математического моделирования

1. Постановка экономической проблемы и ее качественный анализ. На данном этапе необходимо выявить суть проблемы, принимаемые предпосылки и допущения, определить главные черты и свойства объекта, который нужно смоделировать, тщательно изучить его структурные особенности и взаимосвязь компонентов, определить хотя бы предварительные гипотезы, способные объяснить поведение и развитие объекта.

2. Построение математической модели. Данный этап отвечает за формализацию экономической проблемы, т. е. ее выражения как конкретной математической зависимости (функции, уравнения, неравенства и пр.). Построение модели на этом этапе также делится на несколько стадий. Первым делом выделяют тип экономико-математической модели, затем изучают возможности ее использования в данной задаче, а в завершении утверждают выбранный перечень переменных и параметров и форму связей.

3. Математический анализ модели. Данный этап характеризуется исследованиями с применением чисто математических приемов для выявления общих свойств модели и ее решений. Так, одним из главных моментов является необходимость доказать, что решение для обозначенной задачи существует. В ходе аналитического исследования определяют, является ли решение единственным, какие переменные могут в него входить, в каких границах они могут изменяться, каковы тенденции этих изменений и т. п.

4. Подготовка исходной информации. В экономических задачах данный этап моделирования считается самым трудоемким. При подготовке данных применяют методы теории вероятностей, теоретическую и математическую статистику с целью организовать выборочные обследования, дать оценку достоверности информации и пр. В результате системного экономико-математического моделирования полученные данные по функционированию одних моделей являются исходной информацией для других.

5. Численное решение. На этом этапе разрабатываются алгоритмы численного решения задачи, происходит подготовка программ на ЭВМ и проводятся расчеты. Как правило, все расчеты, которые основываются на экономико-математических моделях, имеют многовариантный характер. Проведение многочисленных модельных экспериментов, изучение поведения модели при разных условиях стало возможным благодаря быстродействующим современным ЭВМ. Численное решение вносит существенный вклад в результаты аналитических исследований, а для большинства моделей такое решение представляется единственно возможным.

6. Анализ численных результатов и их применение. Этот этап характеризуется решением важнейшего вопроса о правильности и полноте результатов моделирования и их использовании. В первую очередь проводят проверку адекватности модели по наиболее существенным свойствам. Использование численных результатов моделирования в экономической сфере помогает решать практические задачи (анализируются экономические объекты, прогнозируется экономическое развитие хозяйственных и социальных процессов, вырабатываются

управленческие решения на всех ступенях хозяйственной иерархии).

Проверку на адекватность математической модели обычно осуществляют благодаря сравнению результатов моделирования с характеристиками реальной системы. Для экономико-математических моделей такую проверку осуществить на практике практически невозможно (особенно для макроэкономических моделей). Часто адекватность модели подтверждают только тем, что в ее основе лежат более или менее достоверные гипотезы и более или менее точно выявленные параметры. Адекватность подобной модели проверяют постфактум – на основе результатов будущего функционирования моделируемой системы. Именно поэтому при экономико-математическом моделировании самым важным является этап, на котором происходит постановка задачи. Если на данном этапе будут выдвинуты неправильные гипотезы о характере системы и процессов, которые происходят в ней, то результатом могут стать необратимые и даже катастрофические последствия.

Таким образом, экономическое моделирование является сложной деятельностью, которая сопряжена с определенными рисками. Тем не менее, при анализе разных экономических систем уже существует значительный накопленный опыт построения экономико-математических моделей, которые доказали свою адекватность во многих ситуациях.

III. МЕТОДОЛОГИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Имитационное моделирование рационально применять для исследования таких практических задач как: нахождение показателей эффективности; сравнение алгоритма функционирования и варианта построения; анализ устойчивости системы при небольших отклонениях входных переменных. Полноту имитации можно проверить через построение нескольких моделей, которые последовательно уточняются. В основном моделирование осуществляется для тех свойств процесса, которые влияют, или могут влиять на определенный показатель. Промежуточные итоги имитационного моделирования дают возможность найти ошибки программы. Но имитационное моделирование имеет и свои недостатки. К данным недостаткам относятся: сложность получения обобщающих выводов; трудность оптимизации системы; значительный расход машинного времени; имеется вероятностная оценка погрешности; и небольшая точность вероятностных характеристик редчайших событий.

Для построения имитационной модели нужна специальная программа, которая имеет в наличии языковые средства, подпрограммы сервисные, а также будет обладать приемами и технологиями программирования. С помощью компьютера имитационное моделирование может быть двух видов деятельности: создание или изменение имитационной модели; эксплуатация имитационной модели и определение ее результатов. Система имитационного моделирования должна владеть следующими характеристиками: возможность использовать

имитационные программы вместе со специальными экономическими и атематическими методами и моделями, которые базируются на теории управления; осуществление сложного анализа экономических процессов, инструментальными методами; возможность ввода режима уточнений при осуществлении эксперимента и получении выходных данных; способность моделировать информационные, материальные и денежные процессы, в общем модельном времени.

В общем виде технологическая схема имитационного моделирования экономических процессов показана на рис. 2.

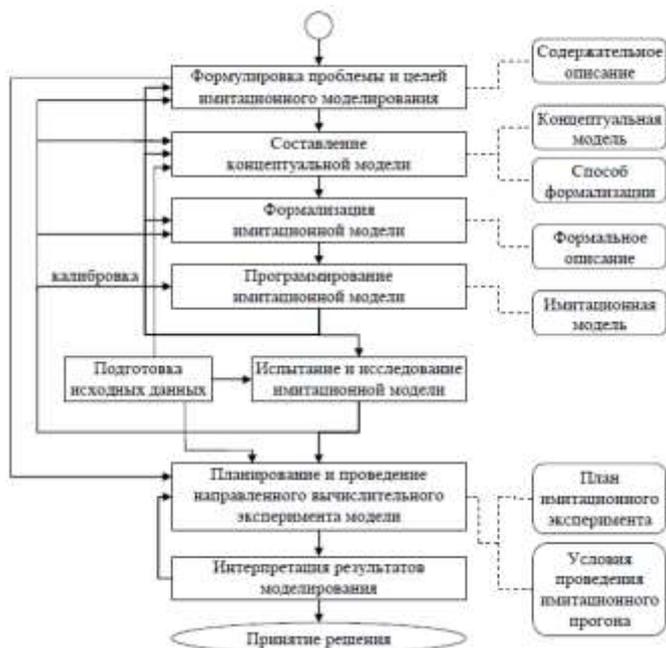


Рис. 2. Основные этапы имитационного моделирования экономических процессов

В современной практике определено всего семь основных этапов имитационного моделирования. Рассмотрим теперь данные этапы более подробно.

A. Формулировка проблемы и целей имитационного моделирования

На данном этапе определяется проблема, которая стоит перед исследователем, и осуществляется рассмотрение и обоснование целесообразности использования метода имитационного моделирования. После этого формируются цели, которые необходимо достичь в результате имитационного моделирования. От данных целей зависит выбор типа имитационной модели, а также вид осуществления имитационного эксперимента на имитационной модели. Также на данном этапе тщательно рассматривается и изучается моделируемый объект. Итог работы данного этапа – содержательное описание объекта моделирования. Данное описание разрабатывается на языке предметной области, которое будет понятно заказчику.

При формировании содержательного описания объекта формируются границы исследования объекта моделирования, описывается внешняя среда, с которой данный объект взаимодействует. Определяются главные критерии эффективности, по которым будет осуществляться сравнение различных вариантов решений.

Последовательность действий на данном этапе: сбор данных; формирование содержательного описания моделируемого объекта; формирование диагноза и постановка задачи; конкретизированные для целей моделирования; обоснование моделирования; и выбор метода моделирования.

B. Составление концептуальной модели

Концептуальная модель – это логико-математическое описание моделируемого объекта, в соответствии с поставленной проблемой. Основным содержанием данного этапа является определение общего замысла модели, а также переход от реальной системы к логической схеме ее функционирования. Общее содержание такого перехода показано на рис 3.



Рис. 3. Переход от реальной системы к логической схеме

При построении концептуальной модели формируется основная структура модели, которая содержит как статистическое описание, так и динамическое. Результатом данного этапа является концептуальное описание (документированное), а также определенный способ формализации моделируемого процесса. Если моделирование осуществляется для небольшой модели, то данный этап совмещается с первым этапом.

На данном этапе также осуществляется декомпозиция объекта моделирования. Декомпозиция подразумевает под собой разбиение процесса на подпроцессы, и при этом сохраняя связь. Пример концептуальной модели (в нотации IDEF0) показан на рис. 4, а процесс декомпозиции данной модели – на рис. 5.



Рис. 4. Концептуальная модель

С. Формализация имитационной модели

На данном этапе производится формализация моделируемого объекта, который включает в себя выбор способа формализации, а также формирование описание системы.

При построении модели обычно выделяют следующие уровни ее представления: неформализованный – осуществляется на втором этапе; формализованных – осуществляется на третьем этапе; и программный – осуществляется на четвертом этапе. Эти уровни отличаются степенью детализации объекта моделирования, и видами описания структуры модели.

Главной задачей данного этапа является предоставление формального описания сложного объекта (системы, процесса), которое свободно от второстепенной информации, описанной в концептуальной модели. При анализе может так случиться, что данных, описанных в концептуальной модели недостаточно для формализации моделируемого объекта. В таком случае нужно вернуться на первый этап и дополнить его.



Рис. 5. Декомпозиция концептуальной модели

На сегодняшний день имеется большое число разнообразных формальных схем и алгоритмических моделей. Этому предшествует то, что данные схемы направлены на различные математические теории и отталкиваются из разных представлений об исследуемых процессах. Самыми известными на практике из них являются: сети Петри и расширение их; агрегативные системы; методы и конечно-разностные уравнения системной динамики.

D. Программирование имитационной модели

На данном этапе описание полученные на этапах два и три преобразуется в программу-имитатор, с использованием программирования и систем моделирования. Особый момент на данном этапе – правильный выбор программного средства для построения имитационной модели.

E. Испытание и исследование модели, проверка модели

После реализации имитационной модели на компьютере, нужно провести тестирование модели, а точнее проверить ее на достоверность. На данном этапе осуществляется комплексное тестирование модели.

Комплексное тестирование модели – это планируемый процесс, который ориентирован на поддержку процедур валидации и верификации имитационных моделей.

Если после осуществления данных процедур модель будет недостаточно достоверной, то необходимо будет осуществить калибровку модели, для обеспечения адекватности имитационной модели. Ошибки в имитационной модели отправляют исследователя на этап разработки модели. Если же причина в сильном упрощении процессов, то тогда необходимо вернуться на второй этап и построить концептуальную модель с учетом новых данных.

F. Анализ результатов моделирования

На последнем этапе нужно осуществить стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. Определение направленного вычислительного исследования на имитационной модели подразумевает выбор и использование разных аналитических методов для тестирования и анализа результатов моделирования. Основными такими методами являются: планирование; дисперсионный анализ; регрессионный анализ; градиентные и иные методы оптимизации.

Подводя итоги, можно отметить, что моделирование дает возможность учитывать и использовать в управлении все существующие данные об объекте, согласовывать решения в объективном, а не субъективном критерии эффективности. Умение применять функциональное моделирование приводит к повышению качества моделирования поведения экономических объектов, помогает создавать автоматизированные системы управления экономическими объектами и повышает их эффективность. Также стоит упомянуть, что без применения вычислительной техники в экономическом моделировании становится невозможным использование математических методов. Особенно это относится к моделированию определенных систем при поиске оптимальных решений. Главной причиной, прежде всего, является чрезвычайная сложность таких систем, чьи модели оперируют с десятками, сотнями и даже тысячами отдельных характеристик.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Заборовский В.С., Ильяшенко А.С., Мулюха В.А. Имитационное моделирование телематических систем: учеб. пос. СПб.: СПбГПУ, 2013. 58 с.
- [2] Звягин Л.С. Технология управления и исследования моделей сложных инновационных систем предприятий средствами имитационного моделирования // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. Т. 2. № 1. С. 95-105.
- [3] Звягин Л.С. Исследование и моделирование глобальных экономических процессов с заданными свойствами в условиях инновационной экономики и предприятий // Экономика и управление: проблемы, решения. 2019. Т. 2. № 3. С. 21-30.
- [4] Комарцова Л.Г., Максимов А.В. Нейрокомпьютеры: Учеб. пособие для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 400 с.
- [5] Норхина Г.Л. Математическое и имитационное моделирование: курс лекций. Екатеринбург: ФГБОУ ВПО УГЛУ, 2014. 43с.
- [6] Zvyagin L. Innovative activity as a basis for successful partnership of business and education spheres/ В сборнике: Proceedings of 2017 IEEE 6th Forum Strategic Partnership of Universities and Enterprises of Hi-Tech Branches (Science. Education. Innovations), SPUE 2017 6. 2018. С. 114-117.