

Имитационное моделирование и структурный анализ исследуемых процессов

Д. М. Динисламов

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

Аннотация. Имитационное моделирование является одним из наиболее эффективных методов анализа экономических систем. В целом под моделированием принято считать процесс проведения экспериментов сложных систем реального мира на электронных устройствах с использованием математических моделей. Результаты проведения подобных экспериментов могут помочь как выявить свойства и закономерности исследуемой системы, так и решить задачи на практике.

Ключевые слова: имитационное моделирование; система; методы; модель; подход; менеджмент; исследование

Имитационные модели воспроизводят поведение системы на протяжении определенного промежутка времени путем определения ряда событий, при распределении которых во времени могут дать важную информацию о поведении системы. После определения таких событий следует регистрировать нужные характеристики системы в моменты воспроизведения таких событий. Информация о характеристиках этой системы, накапливающаяся в форме статистических данных, будут каждый раз обновляться во время реализации каждого из требуемых событий. Имитационные модели позволят симитировать поведение сложных систем, для которых не возможно получить решение и построить математическую модель. Причем, чтобы построить имитационные модели, наличие функций, которые будут связывать те или иные переменные, не обязательно.

Главный недостаток имитационного моделирования в том, что его выполнение соответствует поведению множества экспериментов, что неизбежно приведет к появлению экспериментальных ошибок. Также следует учитывать, что реализация процесса оптимизации вызывает множество трудностей.

I. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Данные методы основаны на правилах, которые были выбраны эмпирически или интуитивно, и позволяют улучшить уже принятое полученное решение. Они используются только если математические построения оказываются настолько сложными, что решение нужной задачи невозможно найти.

В своей сущности эвристические модели представляют собой процедуры поиска разумного перехода от одной точки пространства решений к некоторой другой точке для того, чтобы улучшить текущего состояние целевой

функции модели. В случае, если нет возможности больше приблизиться к оптимуму, то в качестве решения оптимизационной задачи принимается самое наилучшее из полученных решений.

Модели экономических процессов разрабатываются для того, чтобы оптимизировать заданную целевую функцию при некотором количестве ограничений. Понятие «оптимизация» обычно используется для определения процессов максимизации или минимизации целевой функции. Так что для одной и той же задачи можно возможны две различные модели с разными критериями оптимизации. Например, если предпочесть максимизацию прибыли или минимизацию затрат, то тогда использование оптимизационных моделей соответствующих данным критериям при одинаковых ограничениях не всегда может привести к получению одинаковых оптимальных решений, так как критерии не эквивалентны, а величина затрат может быть функцией переменных, находящихся под контролем данной фирмы и зависеть от внутренних факторов, тогда как величина прибыли зависит от внешних неконтролируемых воздействий, например от ситуации на рынке сбыта, которая зависит от действий конкурентов.

Учитывая все вышеперечисленное, можно прийти к выводу, что полученное оптимальное решение с помощью конкретной математической модели является самым выгодным только в рамках этой модели и учитывая все его условия. То есть такое решение – самое лучшее только когда выбранные критерии оптимизации полностью адекватные и соответствуют целям организации.

Метод имитационного моделирования является экспериментальным методом изучения реальной системы по ее модели, который включает в себя свойства экспериментального подхода и особенные ограничения по использованию ЭВМ.

В данном определении большое внимание уделяется тому факту, что имитационное моделирование является машинным методом моделирования и подразумевает обязательное наличие ЭВМ, появлению которого он обязан развитию информационных технологий, раннее не функционирующих. В этом определении также подчеркивается то, что данный метод моделирования носит экспериментальный, имитационный характер. Важную роль в его реализации играет как проведение, так и планирование эксперимента на модели. Но определение не поясняет саму имитационную модель.

Чтобы понять сущность имитационного моделирования, нужно разобрать ее структуру.

Имитационная модель состоит из четырех основных элементов:

- реальная система;
- логико-математическая модель моделируемого объекта;
- имитационная (машинная) модель;
- ЭВМ, на которой осуществляется вычислительный эксперимент.

Исследователь изучает реальную систему, разрабатывает логико-математическую модель реальной системы. Имитационный характер исследования предполагает наличие логико- или логико-математических моделей, которые описывают изучаемый процесс.

Особенностью имитационного моделирования является тот факт, что имитационная модель может воспроизвести моделируемые объекты, при этом сохраняя их логическую структуру или поведенческие свойства, то есть динамику их взаимодействий.

В ходе имитационного моделирования содержание исследуемой системы процессы ее реализации будут отображаться в самой модели. Следовательно, ее построение основано на описании содержания и процессов функционирования моделируемого объекта или системы.

В описании имитационной модели выделяются два основных элемента:

- При разработке имитационной модели обязательным этапом является проведение структурного анализа исследуемых процессов, поэтому требуется статическое описание моделируемой системы, соответствующей ее содержанию.
- Динамическое описание системы, или описание динамики взаимодействий ее элементов требуется для построения функциональной модели динамических процессов.

С точки зрения программной реализации имитационного метода, его принцип состоит в том, чтоб элементам моделируемой системы сопоставить определенные программные компоненты, а состояния этих элементов описать с помощью переменных. По определению, элементы обмениваются информацией, а следовательно, может быть выполнен алгоритм функционирования отдельных элементов–моделирующий алгоритм. Более того, элементы существуют во времени, то есть надо задать алгоритм изменения переменных состояний. Динамика имитационных моделей осуществляется посредством механизма продвижения модельного времени.

Возможность описания и воспроизведения взаимодействия между различными элементами системы является отличительной чертой имитационного моделирования. Поэтому для построения имитационной модели нужно:

- представить систему как совокупность взаимодействующих элементов;
- представить в математическом виде описание функциональности отдельных элементов;
- описать процесс взаимодействия различных элементов между собой и внешней средой.

Определение и описание процессов, происходящих в системе, является важным компонентом в имитационном моделировании. Каждая комбинация такой системы, характеризующейся с помощью набора переменных, описывает их конкретное состояние. Значит, изменив значения этих переменных, можно имитировать переход системы из одного состояния в другое. Таким образом, имитационное моделирование – это представление динамики поведения системы путем продвижения ее от одного состояния к другому при помощи операционных правил. Изменения этих состояний могут происходить либо непрерывно, либо в дискретные моменты времени.

Таким образом, мы пришли к выводу, что посредством имитационного моделирования в модели отображается логическая структура реальной системы и имитируется динамика взаимодействий подсистем в моделируемой системе.

II. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Независимо от типа модели, имитационное моделирование может состоять из нескольких основных этапов:

1. Постановка цели и определение главных и второстепенных проблем имитационного исследования. Формализация результатов исследования на этом этапе являются составной частью процесса описания объекта моделирования.

2. Разработка описания результатов деятельности, а именно определение способа вербального описания и выбор способа формализации объекта моделирования.

3. Официализация имитационной модели. Описание объекта моделирования должно отображаться в формальном стиле.

4. Программирование имитационной модели. На данном этапе проводится выборка способов автоматизации моделирования, нахождение алгоритма, а также программирование и отладка разрабатываемой модели.

5. Проводится тестирование, исследование, верификация модели и другие операции, направленные на комплексное тестирование моделируемой системы с целью определения оценки адекватности и исследования ее свойств.

6. Прогнозирование и реализация имитационного эксперимента. На данном этапе осуществляется стратегическое и тактическое планирование имитационного эксперимента. В результате разработчик получит разработанный план эксперимента, поставленные условия имитационной проверки для заданного плана.

7. Исследователь проводит вариацию результатов своей деятельности после их анализа для принятия решений и применения на практике.

III. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ТЕСТИРОВАНИЮ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Выполнение проверки модели после предварительного его выполнения на ЭВМ является весьма ответственным и важным шагом в имитационном моделировании. Если пропустить этот шаг или выполнить ее не тщательно, то из-за пропущенных ошибок могут возникнуть отрицательные последствия. Прежде всего, важно убедиться, что конечные результаты моделирования точно отражают реальное положение вещей, так как математическое моделирование связано с решением реальных задач.

Главная задача модели – оценка степени полезности, точности, корректности модели и данных, полученных на ней, а также то, как они смогут повлиять на результат принимаемых решений. А значит аналитику важно, чтобы модель не была абсурдной и давала правильные ответы. Принято считать, что имитационные модели имеют высокую степень изоморфизма, то есть сходства модели с объектом, так как существует взаимно соответствующее положение показателей между элементами модели и самого объекта моделирования, при этом характер взаимодействия между элементами сохраняется, так как имитационная модель должна отображать структуру и внутренние связи данной системы. Также считается, что чем ближе по характеру структура модели к структуре системы и чем выше уровень ее детализации, тем обширнее область пригодности модели. Но не стоит забывать, что при создании любой модели используются упрощения, аналогии, абстракции реальной системы. Именно поэтому создаваемая модель не является абсолютно идентичной моделируемой системе.

Но все-таки большинство моделей гомеоморфны, то есть их отображения взаимно однозначны и взаимно непрерывны. Более того, при описании системы всегда действует субъективный фактор, несмотря попытки избежать его. Ключевой вопрос – до какой степени модель может быть гомеоморфной, и в то же время достоверной.

Таким образом, на этапе изучения имитационной модели следует главным образом закрепить свое доверие к модели, удостовериться, что модель высокофункциональна и надежна, а также оценить ее достоверности. Исследователь должен провести целый ряд проверок, и удостовериться, что выводы, сделанные на основе моделирования, будут приемлемого уровня правильными и могут быть применены для реальной системы. К настоящему времени в мировой практике имитационного моделирования сформировались определённые подходы и сложились вполне устоявшиеся концепции, которые могут дать толчок к решению проблем оценки достоверности имитационных моделей. Следует заметить, что оценка достоверности модели относится к числу «вечных» проблем имитационного моделирования. Такое состояние обусловлено, в первую очередь, особенностями использования имитационного моделирования как метода исследования, который, в отличие от традиционных методов математического прогнозирования не может снабдить проектировщиков и исследователей сложных систем соответствующими формализованными средствами описания таких систем.

Тем не менее, полезно отметить, что легкость выполнения некоторых процедур исследования в имитационном моделировании, например, анализа чувствительности, делают метод имитационного моделирования заманчивым и доступным.

На практике выделяют 2 основные категории оценки:

1. Оценка адекватности или валидация модели.

Валидация модели – это ничто иное, как подтверждение того, что модель при заданных условиях ведет себя с высокой степенью идентичности в соответствии с целями моделирования. Соответственно, валидация предполагает проверку сходства параметров поведения имитационной модели и исследуемой реальной системы.

2. Верификация модели.

Верификация модели – это проверка на соответствие фактического поведения модели запланированному исследователями и проектировщиками. То есть, процедуры верификации проводятся для того, чтобы убедиться, что модель ведет себя так, как было задумано изначально. Для этого должны быть выполнены ряд формальных и неформальных исследований имитационной модели. Верификация имитационной модели помогает доказать возможность использования создаваемой реальной модели в качестве машинного аналога концептуальной модели посредством обеспечения максимального соответствия с последней. Целью процедуры верификации является определение уровня, на котором сходство данных моделей может быть успешно достигнуто.

Валидация и верификация имитационной модели относятся к объяснению внутренней структуры модели. в ходе реализации данных операций выполняются цикл работ, по испытанию и проверки внутренней структуры и достоверности принятых гипотез; изучается внутренняя состоятельность модели.

IV. ВАЛИДАЦИЯ ДАННЫХ

Валидация информации ориентирована на подтверждение точности и непротиворечивости всех используемых модельных данных, том числе входных и подтверждения корректности и определенности значения параметров.

Такие прогоны относятся к проблемному анализу, а именно, к исследованию и интерпретации полученных в ходе эксперимента данных.

Проблемный анализ – это формулировка статистически важных выводов на основе данных, полученных в ходе эксперимента на имитационной модели. Проводится проверка достоверности интерпретации полученных на модели данных, оценка степени справедливости статистических выводов, которые были получены в ходе исследования. Для этого изучаются свойства имитационной модели: проводится оценка чувствительности, устойчивости, точности результатов моделирования.

Таким образом, на этапе испытания и изучения полученной имитационной модели организуется

комплексное испытание модели, используемое, в первую очередь, для поддержки процессов верификации и валидации имитационных моделей.

V. НАПРАВЛЕННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ НА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ И ЕГО СОДЕРЖАНИЕ

Системное моделирование рассматривает вычислительный эксперимент как новый метод научного исследования. Под методом имитационного моделирования предполагается экспериментальный метод, подразумевающий имитацию посредством математической модели для принятия решений касательно реально действующей системе. Эксперимент же определяется как полноценное исследование, основанное на имитационной модели, которое позволяет получить информацию и сделать выводы, которые смогут повлиять на исход принятия решений.

Математические модели здесь пробного, а не выходного типа. Такие исследования состоят из цикла проверок, в ходе которых оценивается степень корректности функционируемой системы при данной совокупности условий, конкретном наборе данных и используемых параметров. Главной целью имитационных исследований является снабжение данными при изменении условий. Отличительной чертой имитационной модели является то, что каждый ее машинный прогон дает результаты, которые функционируют только при определенных значениях параметров и иных данных, заложенных в имитационную программу. То есть параметры, переменные, операционные правила, структурные отношения могут варьироваться в зависимости от различных прогнозируемых вариантов, соответствующие определенному варианту.

Содержание целей имитационного эксперимента определяются:

- предварительно проведенным анализом данных, что является основной частью вычислительного эксперимента;
- его результаты достоверны и математически обоснованы вычислительным экспериментом.

Вышеизложенное определяет основные задачи исследователя при проектировании и проведении вычислительного эксперимента на имитационной модели.

Эти задачи состоят из: Стратегическое прогнозирование вычислительного эксперимента. Выбор (аналитического) метода анализа (обработки) результатов вычислительного эксперимента. Разработка алгоритма проведения эксперимента на модели.

Цель данного планирования двойственна. С одной стороны прогнозирование эксперимента позволяет выбрать определенный способ сбора нужной информации, служащей для получения обоснованных выводов. Короче говоря, прогноз задает схему исследования. Таким образом, план эксперимента является структурной базой процесса исследования. С другой стороны, планирование

может помочь достигнуть цели исследования наиболее действенным способом, а именно, посредством уменьшения числа испытательных проверок (прогонов).

На самом деле, если в ходе исследования рассматривается большое число вариантов, то количество проверок растет, а, следовательно, растут и издержки машинного времени. Статистические методы планирования эксперимента помогают решить проблему выбора ограниченного числа прогонов. Следующей задачей при организации и планировании эксперимента на имитационной модели является выбор способа анализа результатов. От целей и задач вычислительного эксперимента зависит то, какие математические методы исследователь выберет, чтобы обработать и формализовать результаты самого эксперимента.

Имитационная модель представляет собой черный ящик. Вторичная модель, отвечающая стратегическим требованиям, устанавливает взаимосвязь F между входом X и выходом Y имитационной модели. Регрессионная модель – простейший случай. Функция F ищется в таких задачах, как интерполяция, а экстремум функции F – в задачах оптимизации. Цель и характер исследования определяет выбор метода анализа результатов исследования. На практике, выбор аналитического метода анализа результатов исследования (вторичной математической модели) зависит от цели исследования и метода статистического анализа его результатов, который является одним из важных аспектов для достижения этой цели. Чтобы решить основные задачи данного этапа имитационного моделирования необходимо составить такой план компьютерного эксперимента, который позволит достигнуть намеченные цели эксперимента наилучшим образом, принимая во внимание ограниченные ресурсы и определить математический метод анализа результатов моделирования. Технологический вид экспериментального исследования на имитационной модели содержит в себе последовательность таких действий, как постановка математической задачи на основе цели исследования, разработка плана эксперимента, проведение серии экспериментов, в котором собирается информация для моделирования, выбор метода анализа результатов, которые в итоге дают возможность принять решение по результатам моделирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Аврамчук Е.Ф., Вавилов А.А., Емельянов С.В. Теория системного моделирования. М.: Машиностроение; Берлин: Техник, 1998. С. 299-303.
- [2] Звягин Л.С. Методы теории нечетких множеств в аспекте оценки экономической эффективности и инвестиционных проектов в условиях неопределенности// Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2015. Т. 2. С. 153-158.
- [3] Звягин Л.С. Использование и актуальность имитационного моделирования в аналитических целях// Экономика и управление: проблемы, решения. 2015. Т. 5. № 12. С. 79-87.
- [4] Кравченко Т.К. Экспертная система принятия решений/ Т.К. Кравченко, Г.И. Перминов. М.: ГУ-ВШЭ, 1999.- 241 с.
- [5] Шапиро Л.Д. Экономико-математическое моделирование. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1987. 247 с.