

Имитационное моделирование

Тема. Введение в имитационное моделирование

Дисциплина для магистрантов специальности
«Компьютерная математика системный анализ»

Лаврова О.А.

механико-математический факультет, БГУ, Минск

2019

Модель и моделирование

Модель – материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты. Процесс построения и использования модели называется **моделированием**.

Моделирование – это метод познания окружающего мира, который можно отнести к общенаучным методам, применяемым как на эмпирическом, так и теоретическом уровне познания. При построении и исследовании модели могут применяться практически все остальные методы познания (эмпирические: наблюдение, эксперимент, измерение; теоретические: абстрагирование, идеализация, формализация, индукция, дедукция; общие: анализ, синтез, аналогия, *системный анализ*)

Трусов, 2005

“... all models are wrong, but some are useful”

Вох, 1987

Имитационное моделирование I

- Имитационное моделирование есть процесс построения модели реальной системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо оценить (в рамках ограничений, накладываемых критерием или совокупностью критериев) различные стратегии, обеспечивающие функционирование данной системы.
- Имитационное моделирование – экспериментирование с моделью реальной системы

Шеннон, 1975

- Modeling – создание и анализ модели в самом широком смысле понимания, simulation – имитация, прогон имитационной модели, simulation modeling – имитационное моделирование
- Simulation means driving a model of a system with suitable inputs and observing the corresponding outputs

Bratley, Fox, Schrange, 1987

Имитационное моделирование II

Имитационная модель, как правило, создается для ответа на вопросы «что, если» (**прогноз**), т.е. для исследования сценариев развития системы при вариации определенных параметров

- Имитационные модели не способны формировать свое собственное решение в том виде, в каком это имеет место в аналитических моделях. Для получения необходимой информации или результатов необходимо осуществлять «прогон» имитационных моделей (эксперимент, имитацию), а не «решать» их.

Шеннон, 1975

Имитационное моделирование III

- Имитационную модель можно рассматривать как механизм преобразования входных параметров в выходные показатели работы. В этом смысле **моделирование является** всего лишь **функцией**. Явная форма этой функции неизвестна (даже если бы она и была известна, то оказалась бы очень сложной), поскольку нам все же приходится выполнять моделирование, а не просто подставлять числа в некую формулу.

А.М. Лоу, В.Д. Кельтон, 2004

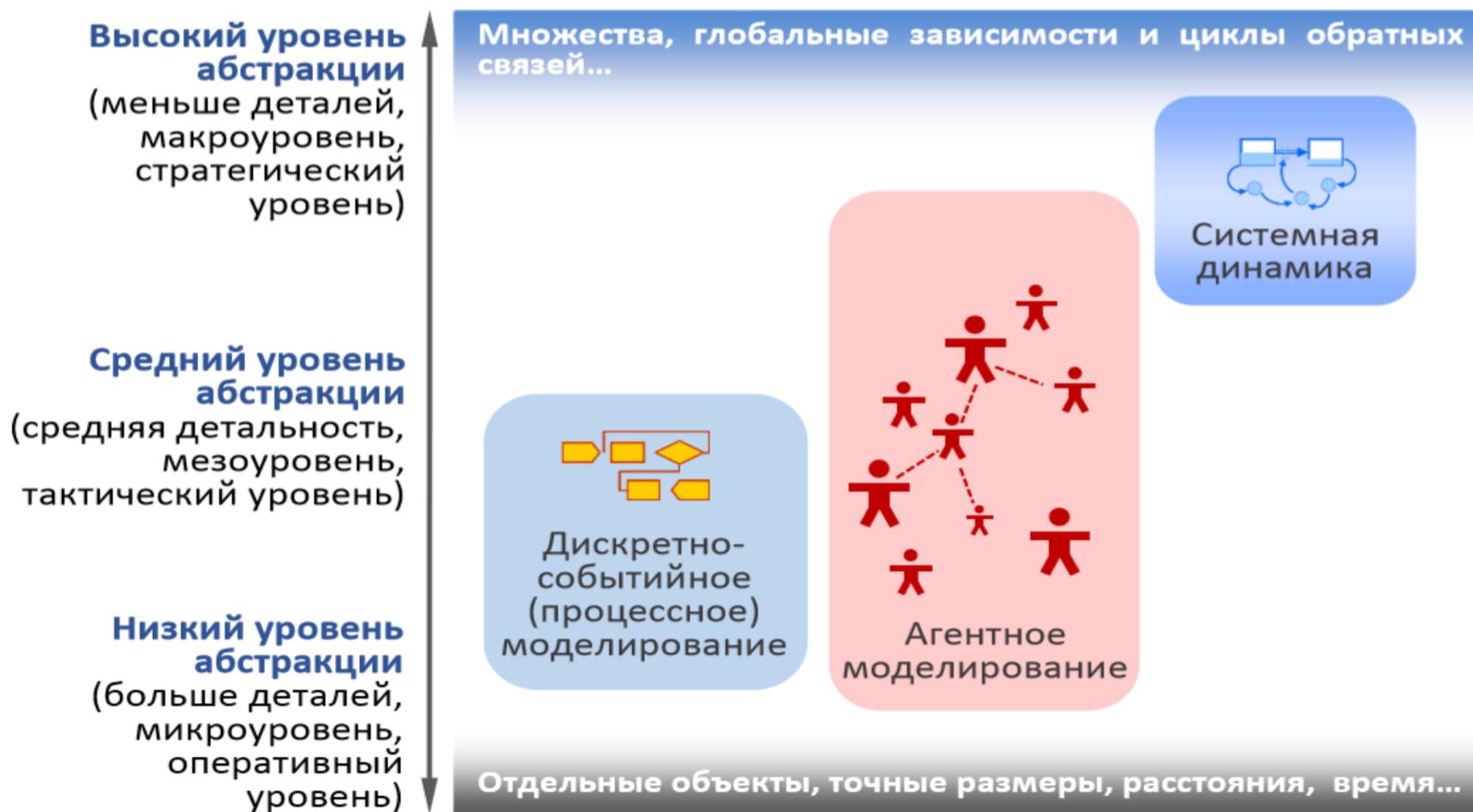
- Имитационное моделирование не теория, а **методология решения проблем**. Является только одним из нескольких имеющихся в распоряжении системного аналитика методов решения проблем

Шеннон, 1975

Парадигмы имитационного моделирования I

- В имитационном моделировании к настоящему моменту сложились три самостоятельные парадигмы – системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование
- Парадигмы соответствуют разным уровням абстракции при создании модели, что обуславливает применение того или иного подхода: высокий (стратегический), средний (тактический) и низкий (оперативный)
- Имитационное моделирование, основанное на численном решении математических моделей, не рассматривается в рамках дисциплины

Парадигмы имитационного моделирования II



В моделях оперируют количествами объектов и агрегированными показателями. Моделируются проблемы рыночного равновесия, социально-экономического развития городов, экологические процессы

Физическое перемещение не анализируется. Потоки вместо индивидуальных свойств объектов моделирования

The AnyLogic Company, 2016

Парадигмы имитационного моделирования III

Главный постулат системной динамики «Структура системы определяет поведение». Моделирование в системной динамике является моделированием «сверху вниз».

В агентном моделировании правила поведения агентов формируют поведение системы. Агентное моделирование является моделированием «снизу вверх».

Имитационное моделирование IV

- И хотя людям с высокой математической подготовкой имитационный подход представляется **грубым силовым приемом** или последним средством, к которому следует прибегать, факт заключается в том, что этот метод представляется самым распространенным инструментом в руках ученого, погруженного в проблемы управления и исследования операций
- Разработка и применение имитационных моделей все еще в большей степени **искусство, нежели наука**

Шеннон, 1975

- Оставив свои корни в этом пространстве, значительная часть «дерева» имитационного моделирования находится теперь в пространстве «*техника и бизнес*», где и можно сейчас наблюдать активный рост и цветение его кроны.

Толуев, 2002

Имитационная модель

Модель – материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты.

Объект моделирования рассматривается как система: учитываются свойства и поведение отдельных элементов, взаимосвязи между ними, взаимодействие с окружающей средой.

Имитационная модель всегда является **выполняемой моделью**: вы запускаете ее и она строит изменения состояний системы, позволяя воспроизводить процессы функционирования системы в разных условиях

Имитационное моделирование – этапы итерационного процесса (simulation lifecycle)

1. Описание исследуемой системы (содержательная постановка задачи) – установление границ системы, определение среды, ограничений, измерителей эффективности системы, формулировка цели моделирования, вопросы о поведении системы, интересующие заказчика. Техническое задание является итоговым документом этапа
2. Формулировка имитационной модели (концептуальная постановка задачи) – в рамках курса рассматриваются системно-динамические модели и агентные модели
3. Компьютерная реализация модели (программирование) – в рамках курса используем AnyLogic
4. Валидация и верификация. Валидация – проверка, является ли имитационная модель адекватным представлением системы для конкретных целей исследования. Верификация -- проверка реализации: правильно ли имитационная модель преобразована в компьютерную программу
5. Экспериментирование. Анализ выходных данных. Анализ чувствительности, оценка рисков, оптимизация. Интерпретация – построение выводов по результатам экспериментирования

AnyLogic – среда имитационного моделирования I

- Продукт российской компании The AnyLogic Company (бывшая XJ Technologies), разработан на основе исследований в Санкт-Петербургском политехническом университете. AnyLogic написан на Java, работает под управлением Windows, Mac OS, Linux. В AnyLogic базовым языком, совмещенным со средой разработки моделей, является Java. Разработчик не пишет полный код, а программирует фрагменты кода в специально предусмотренных местах.
- AnyLogic основан на **объектно-ориентированном подходе** к структурному представлению систем, элементах стандарта UML, языка программирования Java. Возможность создания Java-апплетов и Java-приложений.
- Поддерживает большинство этапов имитационного моделирования для динамических моделей на основе парадигм имитационного моделирования: системная динамика, дискретно-событийное моделирование, агентное моделирование. Позволяет интеграцию парадигм.

AnyLogic – среда имитационного моделирования II

Визуальное проектирование является основной парадигмой при разработке имитационных моделей.

Вся динамика модели должна быть вынесена в визуальные формы описания, а код должен быть оставлен для вычислений, не имеющих временной семантики

А. Борщев, 2013

Этап 4 – Валидация (validation)

- Валидация -- проверка, является ли имитационная модель (не компьютерная программа) адекватным представлением системы для конкретных целей исследования
- Имитационная модель всегда должна разрабатываться для определенного множества целей. В действительности модель, которая является адекватной для одной цели, может не быть таковой для другой.
- Использование результатов моделирования подобных имитационных моделей, разработанных ранее
- Выявить в модели ложные допущения или повысить ее достоверность весьма эффективно может помочь анимация.

А.М. Лоу, В.Д. Кельтон, 2004

Этап 4 – Верификация (verification)

Верификация -- проверка реализации: правильно ли имитационная модель преобразована в компьютерную программу

Прогон имитационной модели по возможности должен быть выполнен при упрощающих допущениях, для которых известны или могут быть легко вычислены истинные характеристики модели

Этап 5 – Экспериментирование

Для того чтобы достичь каких-нибудь значимых результатов при имитационном моделировании, нужно использовать статистические методы для разработки и анализа моделирующих экспериментов.

А.М. Лоу, В.Д. Кельтон, 2004

Этап 5 – Анализ выходных данных

- Если результаты моделирования согласуются с поведением системы, считается, что модели свойственна **внешняя адекватность**.
- Выходные процессы практически всех реальных систем и имитационных моделей являются нестационарными и автокоррелированными, поэтому ни один из критериев классической статистики, основанных на независимых и одинаково распределенных наблюдениях (t-критерий, критерий Манна-Уитни, двусторонний критерий «хи-квадрат», двусторонний критерий Колмогорова-Смирнова и т.д.), невозможно применить к ним непосредственно.
- См. раздел 5.6: **метод коррелированной проверки** (нужны исчерпывающие системные входные и выходные данные за прошедшее время), **метод доверительного интервала**, основанный на независимых данных (нужен большой объем данных по системе и модели), **методы временного ряда**, например, спектральный анализ
- См. глава 9. **Анализ выходных данных для автономной системы**

А.М. Лоу, В.Д. Кельтон, 2004

- Пример сравнения результатов агентной модели с аналитическим решением: Н. Rahandad, J. Sterman, Heterogeneity and Network Structure in the Dynamics of Diffusion: Comparing Agent-Based and Differential equation Models, 2008

Этап 5 – Анализ чувствительности, ОПТИМИЗАЦИЯ

- Одна из задач моделирования – определить, как изменения входных параметров влияют на выходные результаты. Градиент функции ожидаемого отклика по входным параметрам показывает **чувствительность отклика** к незначительным изменениям входных параметров. См. раздел 12.5. Чувствительность и оценка градиента.
- Окончательный результата анализа имитационной модели состоит в поиске комбинации входных факторов, оптимизирующих основной выходной показатель работы...Исследования посвящены поиску **методов оптимизации моделирования**... См. раздел 12.6. Поиск оптимума

А.М. Лоу, В.Д. Кельтон, 2004

Академическая модель– модель Басса

Модель Басса (Bass diffusion model) -- модель распространения нового продукта или инновации, модель потребительского рынка.

Изначально продукт никому не известен и для того, чтобы люди начали его приобретать, он рекламируется. В итоге определенная доля людей приобретает продукт под воздействием рекламы.

Также люди приобретают продукт в результате общения с теми, кто этот продукт уже приобрел.

Академическая модель – модель Басса

Потенциальные клиенты P становятся клиентами A со скоростью, которая зависит от рекламы $AdoptionFromAd$ и «сарафанного радио» $AdoptionFromWOM$

Скорость, соответствующая рекламе,

$$AdoptionFromAd = P * \mathbf{AdEffectiveness}$$

Скорость, соответствующая «сарафанному радио»

$$AdoptionFromWOM = A * \mathbf{ContactRate} * \frac{P}{P + A} * \mathbf{AdoptionFraction}$$

где $ContactRate$ – количество контактов человека в единице времени

$N = P + A$ – общее число людей на рынке

Математическая модель:

$$\frac{dA}{dt} = AdoptionFromAd + AdoptionFromWOM$$

или

$$\frac{dA}{dt} = k_1 * (N - A) + k_2 * (N - A) * A$$