

ЛЕКЦИЯ №1

ВВЕДЕНИЕ В ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. Модели и моделирование
2. Принципы построения моделей
3. Классификация методов моделирования
4. Методика моделирования
5. Понятие имитационного моделирования. Области применения ИМ. Преимущества и недостатки

1. Модели и моделирование

Введем понятия «модель», «моделирование». Слово «модель» имеет франко-итальянский корни и означает «образец». В простом варианте «модель» можно определить как копию некоторого объекта, увеличенную или уменьшенную. Она предназначена для того, чтобы точнее изучить, проанализировать, предвидеть то, что человек собирается создать, изготовить, построить или передать.

Модель — некоторый материальный или мысленно представляемый объект или явление, являющийся упрощённой версией моделируемого объекта или явления (прототипа) и в достаточной степени повторяющий свойства, существенные для целей конкретного моделирования (опуская несущественные свойства, в которых он может отличаться от прототипа).

Модели бывают **материальными** (вещественными) или **физическими** и абстрактные. К физическим моделям относятся уменьшенные макеты зданий, башен, мостов, самолетов и т.д., к увеличенным копиям – строения атома, молекул алмаза. К абстрактным моделям относятся рисунки, схемы, карты, а также математические, компьютерные (имитационные) и эвристические модели. Они не являются копией оригинала, а носят описательный характер. К экономическим системам применимы математические и имитационные модели.

Под **математической моделью** принято понимать совокупность соотношений – уравнений, неравенств, логических условий, операторов и т.п., определяющих характеристики состояний объекта моделирования, а через них и выходные значения параметров реакции, в зависимости от значений параметров объекта-оригинала, входных воздействий, начальных и граничных условий, а также времени.

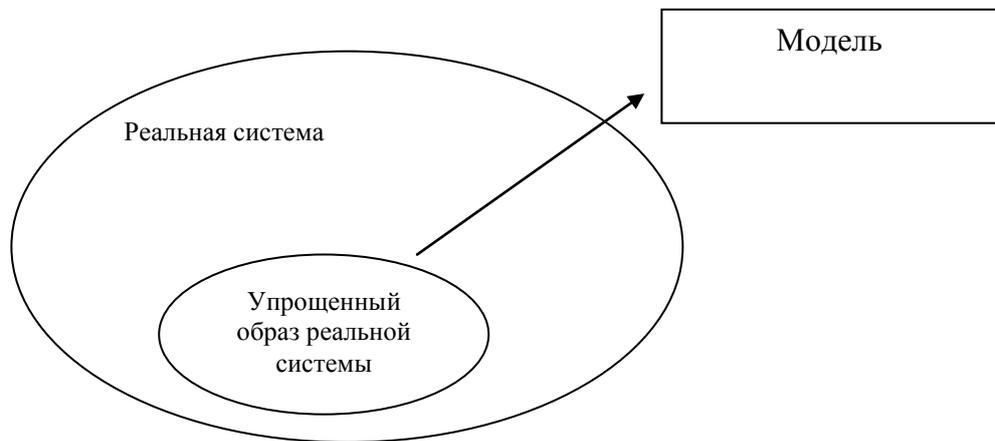
Математическая модель представляет собой формализованное описание системы (или операции) с помощью некоторого абстрактного языка, например в виде совокупности математических соотношений или схемы алгоритма. По большому счету, любое математическое выражение, в котором фигурируют физические величины, можно рассматривать как математическую модель того или иного процесса или явления. В частности, известное всем еще из школы уравнение $S = Vt$, представляет собой модель равномерного прямолинейного движения.

Имитационные модели представляют собой, совокупность программ, программный комплекс, позволяющие с помощью последовательности вычислений и графического отображения их результатов воспроизводить (имитировать) процессы функционирования объекта при условии воздействия на него различных (включая случайные) факторов. Эвристические модели базируются на правилах, которые выбираются интуитивно или имперически (правилах), которые позволяют улучшить уже имеющиеся решения.

Эвристические методы представляют собой алгоритмы перехода от одной точки пространства решений к некоторой другой точке с целью улучшения значения целевой функции.

Используются эвристические модели в тех случаях, когда невозможно точно сформулировать математическую модель или нельзя найти ее точное решение, а также когда затруднено построение ИМ.

Поскольку при создании математических и имитационных моделей не возможно абсолютно точно воспроизвести все функциональные возможности реальной системы из-за большого количества ограничений и переменных, то вначале переходят к упрощенному образу, т.е. из всего множества переменных и ограничений выделяются наиболее существенные для достижения поставленной цели.



В нем описываются доминирующие факторы, определяющие цель моделирования. На основе упрощенного образа строят саму модель. Модель представляет собой наиболее существенное соотношение в виде целевой функции и системы ограничений.

Основное противоречие при разработке моделей заключается в том, что чем проще модель, тем быстрее и с меньшими затратами она может быть выполнена. Но чем проще модель, тем меньше ее соответствие, исследуемому реальному объекту, больше вероятность ошибок при ее использовании. Напротив, чем сложнее модель, тем больше времени необходимо для ее разработки, изготовления, наладки и обслуживания.

Слово «модель» ведет свое происхождение от латинского *modulus*, что значит мера, мерило, образец, норма. Сейчас под словом «модель» в широком понимании имеется в виду либо некий образ (в том числе условный или мысленный) объекта, интересующего нас, либо, наоборот, прообраз некоторого объекта или системы объектов.

Таким образом, в обычном, общепотребительном языке термин «модель» используется в двух основных, прямо противоположных смыслах.

В математике существует теория моделей, в которой под моделью понимается произвольное множество с заданным на нем набором свойств и отношении, в естественных науках моделями называют некоторые вспомогательные объекты исследования, применяющиеся для анализа исходных основных объектов.

Ограничиться пониманием термина «модель», которое используется в широко распространенном методе исследования, называемом моделированием.

1. Под моделированием понимается исследование объектов познания не непосредственно, а косвенным путем, при помощи анализа некоторых других вспомогательных объектов. Такие вспомогательные объекты мы и будем называть *моделям*. Это определение является общепринятым как в естественных науках, так и в экономических исследованиях.

2. Моделирование — это замещение исследуемого объекта (оригинала) его условным образом или другим объектом (моделью) и изучение свойств оригинала путем исследования свойств модели.

Достаточно очевидно, что действительная польза от моделирования может быть получена только при соблюдении двух условий:

- модель обеспечивает корректное (или, как говорят, адекватное) отображение свойств оригинала, существенных с точки зрения исследуемой операции;
- модель позволяет устранить проблемы, присущие проведению измерений на реальных объектах.

В каждом отдельном исследовании необходимо хорошо понимать, на чем основана уверенность в возможности перенесения полученных в исследовании результатов с модели на объект. Модели выбираются таким образом, чтобы они были значительно проще для исследования, чем интересующие нас объекты.

Однако моделирование имеет и другое, более важное для науки значение: поскольку в модели воспроизводятся лишь некоторые наиболее важные в данном исследовании стороны исходного объекта, моделирование позволяет выявить существенные факторы, ответственные за те или иные свойства изучаемых объектов. Моделирование как познавательный прием, как форма

отражения действительности, зародилось еще в античную эпоху одновременно с возникновением научного познания. Сейчас трудно назвать ту область науки, где оно не используется.

2. Принципы построения моделей

Рассмотрим основные принципы моделирования, в сжатой форме отражающие тот достаточно богатый опыт, который накоплен к настоящему времени в области разработки и использования математических моделей.

Принцип информационной достаточности. При полном отсутствии информации об исследуемой системе построение ее модели невозможно. При наличии полной информации о системе ее моделирование лишено смысла. Существует некоторый критический уровень априорных сведений о системе (уровень информационной достаточности), при достижении которого может быть построена ее адекватная модель.

Принцип осуществимости. Создаваемая модель должна обеспечивать достижение поставленной цели исследования с вероятностью, существенно отличающейся от нуля, и за конечное время. Обычно задают некоторое пороговое значение P_0 вероятности достижения цели моделирования $P(t)$, а также приемлемую границу t_0 времени достижения этой цели. Модель считают осуществимой, если одновременно выполнены два неравенства:

$$P(t) \geq P_0; \quad t \leq t_0.$$

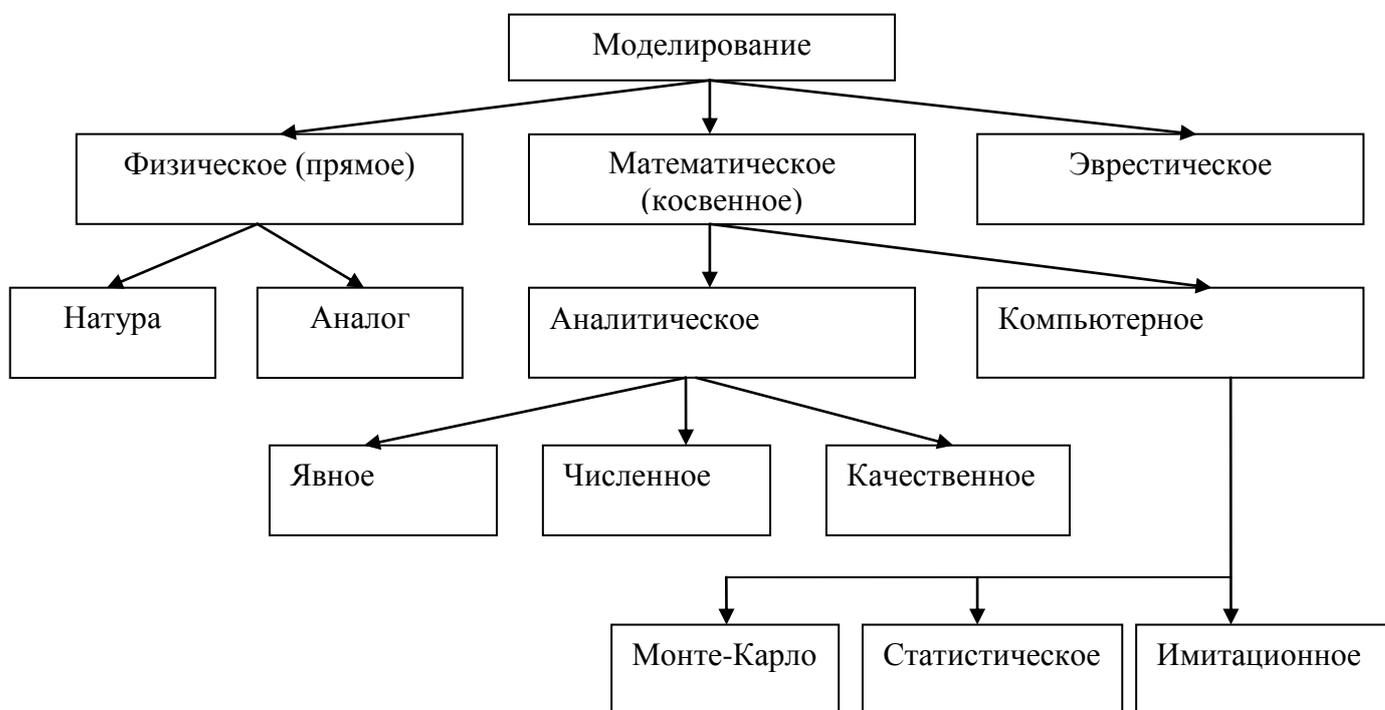
Принцип множественности моделей. Данный принцип является ключевым. Речь идет о том, что создаваемая модель должна отражать в первую очередь те свойства реальной системы (или явления), которые влияют на выбранный показатель эффективности. Соответственно при использовании любой конкретной модели познаются лишь некоторые стороны реальности. Для более полного ее исследования необходим ряд моделей, позволяющих с разных сторон и с разной степенью детальности отражать рассматриваемый процесс.

Принцип агрегирования. В большинстве случаев сложную систему можно представить состоящей из агрегатов (подсистем), для адекватного математического описания которых оказываются пригодными некоторые стандартные математические схемы. Принцип агрегирования позволяет, кроме того, достаточно гибко перестраивать модель в зависимости от задач исследования.

Принцип параметризации. В ряде случаев моделируемая система имеет в своем составе некоторые относительно изолированные подсистемы, характеризующиеся определенным параметром, в том числе векторным. Такие подсистемы можно заменять в модели соответствующими числовыми величинами, а не описывать процесс их функционирования. Однако надо иметь в виду, что параметризация снижает адекватность модели.

Степень реализации перечисленных принципов в каждой конкретной модели может быть различной, причем это зависит не только от желания разработчика, но и от соблюдения им технологии моделирования. А любая технология предполагает наличие определенной последовательности действий.

3. Классификация методов моделирования



Физическое моделирование предусматривает, что в качестве модели используется либо сама система (опытный образец), либо другая система со схожей физической природой. Такой вид моделирования способствовал созданию теории подобия.

Математическое моделирование состоит из двух больших групп, включающих в себя явное аналитическое моделирование, когда стремятся получить в общем виде явные аналитические зависимости для искомых характеристик; использующие приближенные численные методы, когда все объекты аппроксимируются числами или их комплектами; качественные методы, когда изучаются свойства решения задач данного класса без нахождения самих решений. Математическое моделирование предполагает использование математической модели реального объекта в форме алгебраических, дифференциальных, интегральных и других уравнений, связывающих выходные переменные с входными, дополненной системой ограничений. При этом предполагается наличие однозначной вычислительной процедуры получения точного решения уравнений.

Для **компьютерного моделирования** характерно, что математическая модель системы представляет собой программу для ЭВМ.

Метод Монте-Карло или численное моделирование использует методы аналитического численного моделирования, а вычислительный эксперимент состоит в численном решении математических уравнений при заданных значениях параметров и начальных условий.

Статистическое моделирование – вид компьютерного моделирования, позволяющие получить статистические данные об объекте, чаще всего с использованием метода планирования эксперимента.

Для метода **имитационного моделирования** характерно воспроизведение на ЭВМ процесса функционирования системы. При имитационном моделировании используемая математическая модель воспроизводит логику («алгоритм») функционирования исследуемой системы во времени при различных сочетаниях значений параметров системы и внешней среды.

4. Методика моделирования

Рассмотрим в общих чертах основные этапы процесса модельного исследования в целом.

Первый этап посвящен постановке проблемы. Многообразные научные исследования (модельные и не модельные) условно можно разбить на две основные группы: прикладные исследования, предназначенные для решения некоторой конкретной проблемы, имеющей прикладное значение; фундаментальные исследования, имеющие в основном чисто познавательные цели.

Одной из главных особенностей прикладного исследования является участие в работе лица или организации, которые ставят проблему перед исследователями, пользуются результатами исследования, а зачастую и финансируют исследование. Такое лицо или организацию принято называть

Заказчиком.

Цель первого этапа исследования экономических процессов — найти среди проблем, интересующих Заказчика, такие вопросы, которые могут быть решены на современном уровне развития экономико-математических методов.

В задачах планирования целью исследования математической модели изучаемого объекта является выбор наиболее подходящего варианта решения. Во многих задачах интересы Заказчика можно выразить в виде так называемого «показателя качества работы системы» (критерия, целевой функции).

Показатель качества — это некоторая функция, которая дает возможность численно оценить каждый вариант развития изучаемой системы. После того как совместно с Заказчиком сформулирована проблема, которая стоит перед исследователем, последний может приступить к следующему этапу.

Второй этап исследования посвящен построению математической модели изучаемого экономического объекта и ее идентификации. Этот этап (в случае прикладного исследования) состоит в выборе подходящей модели из здания экономических моделей и в подборе параметров этой модели таким образом, чтобы она соответствовала изучаемому нами объекту.

Процесс подбора значений параметров модели называется *идентификацией* модели.

Третий этап - исследование построенной модели. Предварительно необходимо выбрать способ анализа модели для решения проблем, сформулированных на первом этапе исследования.

5. Понятие имитационного моделирования. Области применения ИМ. Преимущества и недостатки

Имитационное моделирование — это распространенная разновидность аналогового моделирования, реализуемого с помощью набора математических инструментальных средств, специальных имитирующих компьютерных программ и технологий программирования, позволяющих посредством процессов-аналогов провести целенаправленное исследование структуры и функций реального сложного процесса в памяти компьютера в режиме «имитации», выполнить оптимизацию некоторых его параметров.

Имитационная модель — специальный программный комплекс, позволяющий имитировать деятельность какого-либо сложного объекта.

Современные программные комплексы имитационного моделирования:

- ❖ «Process Charter» (разработчик - фирма «Scitor», США);
- ❖ «Powersim» (фирма «Modell Data», Норвегия);
- ❖ «Ithink» (фирма «High Performance Systems», США);
- ❖ «Extend+BPR» (фирма «Imagine That!», США);
- ❖ «ReThink» (фирма «Gensym», США);
- ❖ «Pilgrim» (разработчики системы – Московский институт статистики и информатики; фирма «MeraТрон», Россия; фирма «Keisy», Нидерланды; фирма «Enit», Эстония).

При моделировании процессов не обязательно преобразовывать математическую модель в специальную систему уравнений относительно искомых величин. Для имитационного моделирования характерно воспроизведение явлений, описываемых математической моделью, с сохранением их логической структуры, последовательности чередования во времени, а иногда и физического содержания, выполняемое при помощи специальных моделирующих программ. В противоположность аналитическому и численному методам содержание операций, выполняемых при моделировании, слабо зависит от того, какие величины выбраны в качестве искомых. Для оценки искомых величин может быть использована любая подходящая информация, циркулирующая в модели, если только она доступна регистрации и последующей обработке. Все имитационные модели представляют собой модели типа так называемого «черного ящика». Это означает, что они обеспечивают выдачу выходного сигнала системы, если на ее взаимодействующие подсистемы поступает входной сигнал. Поэтому для получения необходимой информации или результатов необходимо осуществлять «прогон» имитационных моделей, а не «решать» их. Имитационные модели не способны формировать свое собственное решение в том виде, в каком это имеет место в аналитических моделях, а могут лишь служить в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором.

Среди методов прикладного системного анализа имитационное моделирование является самым мощным инструментом исследования сложных систем, управление которыми связано с принятием решений в условиях неопределенности. По сравнению с другими методами такое моделирование позволяет рассматривать большое число альтернатив, улучшать качество управленческих решений и точнее прогнозировать их последствия.

Отметим области применения имитационного моделирования.

1. Теоретические задачи в различных областях науки (математика, физика, химия). Например, при вычислении площади фигур, ограниченными кривыми, при обращении матриц, при вычислении, при решении дифференциальных уравнений в частных производных; при анализе диффузии частиц, при получении решения системы дифференциальных уравнений.

2. Практические задачи организационного управления, возникающие в различных сферах человеческой деятельности:

а) задачи ИМ произвольно-технологических процессов. Например, анализ химических процессов управления запасами, проектирование систем технического обслуживания оборудования, создание СМО;

б) задачи социального и социально-психологического характера. Например, задачи миграции населения, исследование группового поведения;

в) задачи ИМ биомедицинских систем. Например, исследование кровообращения, деятельность мозга;

г) задачи анализа последствий реализации военной стратегии или тактики.

3. Задачи ИМ систем экономического характера:

- для управления сложным бизнес-процессом, когда имитационная модель управляемого экономического объекта используется в качестве инструментального средства в контуре адаптивной системы управления, создаваемой на основе информационных (компьютерных) технологий;

- при проведении экспериментов с дискретно-непрерывными моделями сложных экономических объектов для получения и отслеживания их динамики в экстренных ситуациях, связанных с рисками, натурное моделирование которых нежелательно или невозможно.

Например, процессы планирования экономического прогнозирования, инвестиционные процессы.

Примеры типовых задач, решаемых средствами имитационного моделирования при управлении экономическими объектами:

- моделирование процессов логистики для определения временных и стоимостных параметров;
- управление инвестиционными проектами на различных этапах его жизненного цикла с учетом возможных рисков;
- прогнозирование финансовой деятельности предприятий на конкретный период времени;
- анализ адаптивных свойств, расчет параметров надежности и задержек обработки информации в банковских информационных системах;
- оценка параметров надежности и задержек в централизованных информационных системах с коллективным доступом (кассы продаж ж/д и авиабилетов, системы бронирования и т.д.);
- анализ эксплуатационных параметров корпоративных информационных систем предприятий, пропускной способности информационных каналов и узлов обработки информации;
- моделирование действий курьерской службы в регионе;
- анализ пропускной способности обслуживания населения (торговые комплексы, комбинаты бытового обслуживания, государственные структуры и т.д.).

Отметим преимущества ИМ в плане целесообразности применения:

1. Не существует законченной математической постановки данной задачи, либо еще не разработаны аналитические методы решения сформулированной математической модели. К этой категории относятся многие модели массового обслуживания, связанные с рассмотрением очередей.

2. Аналитические методы имеются, но математические процедуры столь сложны и трудоемки, что ИМ даст более простой способ решения задачи.

3. Аналитические решения существуют, но их реализация невозможна вследствие недостаточной математической подготовки имеющегося персонала. В этом случае следует сопоставить затраты на проектирование, испытания и работу на имитационной модели с затратами, связанными с

приглашением специалистов со стороны.

4. Кроме оценки определенных параметров, желательно осуществить на имитационной модели наблюдение за ходом процесса в течение определенного периода.

5. Имитационное моделирование может оказаться единственной возможностью вследствие трудности постановки экспериментов и наблюдения явлений в реальных условиях; соответствующим примером может служить изучение поведения космических кораблей в условиях межпланетных полетов.

6. Для долговременно действующих систем или процессов может понадобиться сжатие временной шкалы. ИМ дает возможность полностью контролировать время изучаемого процесса, поскольку явление может быть замедленно или ускоренно по желанию.

Дополнительным преимуществом ИМ можно считать широчайшие возможности его применения в сфере образования и профессиональной подготовки. Разработка и

использование имитационной модели позволяют экспериментатору видеть и «разыгрывать» на модели реальные процессы и ситуации. Это в свою очередь должно в значительной мере помочь ему понять и прочувствовать проблему, что стимулирует процесс поиска нововведений.

К недостаткам ИМ можно отнести следующее:

1. Разработка хорошей ИМ часто обходится дорого и требует много времени, а также наличия высокоодаренных специалистов, которых в данной фирме может и не оказаться.

2. Ввиду работы со случайными данными для обеспечения точности получаемых результатов необходимо производить многочисленные прогоны модели, что влияет на техническое средство работы с имитационной моделью.

3. Имитационная модель в принципе не точна, и мы не в состоянии измерить степень этой неточности. Это затруднение может быть преодолено лишь частично путем анализа чувствительности модели к изменению определенных параметров.

Идея ИМ одинаково привлекательна и для руководителей и для исследователей систем благодаря своей простоте. Поэтому метод ИМ в настоящее время стремятся применить для решения практически каждой задачи, с которой приходится сталкиваться на практике.