

Лекция

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1. Сущность метода имитационного моделирования.

Метод имитационного моделирования и его особенности. Имитационная модель: представление структуры и динамики моделируемой системы.

Метод имитационного моделирования является экспериментальным методом исследования реальной системы по ее компьютерной модели, который сочетает особенности экспериментального подхода и специфические условия использования вычислительной техники.

Имитационное моделирование является машинным методом моделирования, собственно без ЭВМ никогда не существовало, и только развитие информационных технологий привело к становлению этого вида компьютерного моделирования. В приведенном определении акцентируется внимание на экспериментальной природе имитации, применении имитационного метода исследования (осуществляется экспериментирование с моделью). Действительно, в имитационном моделировании важную роль играет не только проведение, но и планирование эксперимента на модели. Однако это определение не проясняет, что собой представляет сама имитационная модель. Попробуем разобраться, какими свойствами обладает имитационная модель, в чем же состоит сущность имитационного моделирования.

В процессе имитационного моделирования (рис. 1. 2.) исследователь имеет дело с четырьмя основными элементами:

- Реальная система;
- Логико-математическая модель моделируемого объекта;
- Имитационная (машинная) модель;
- ЭВМ, на которой осуществляется имитация – направленный вычислительный эксперимент.

Исследователь изучает реальную систему, разрабатывает логико-математическую модель реальной системы. Имитационный характер исследования предполагает наличие *логико- или логико-математических моделей*, описываемых изучаемый процесс (систему). Чтобы быть машинно-реализуемой, на основе логико-математической модели сложной системы строится *моделирующий алгоритм*, который описывает структуру и логику взаимодействия элементов в системе.

Программная реализация моделирующего алгоритма – есть *имитационная модель*. Она составляется с применением средств автоматизации моделирования. Подробнее технология имитационного моделирования и инструментальные средства моделирования - языки и системы моделирования, с помощью которых реализуются имитационные модели, будут рассмотрены в 3 главе и практическом курсе. Далее ставится и осуществляется направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели, в результате которого собирается и обрабатывается информация, необходимая для принятия решений с целью воздействия на реальную систему.

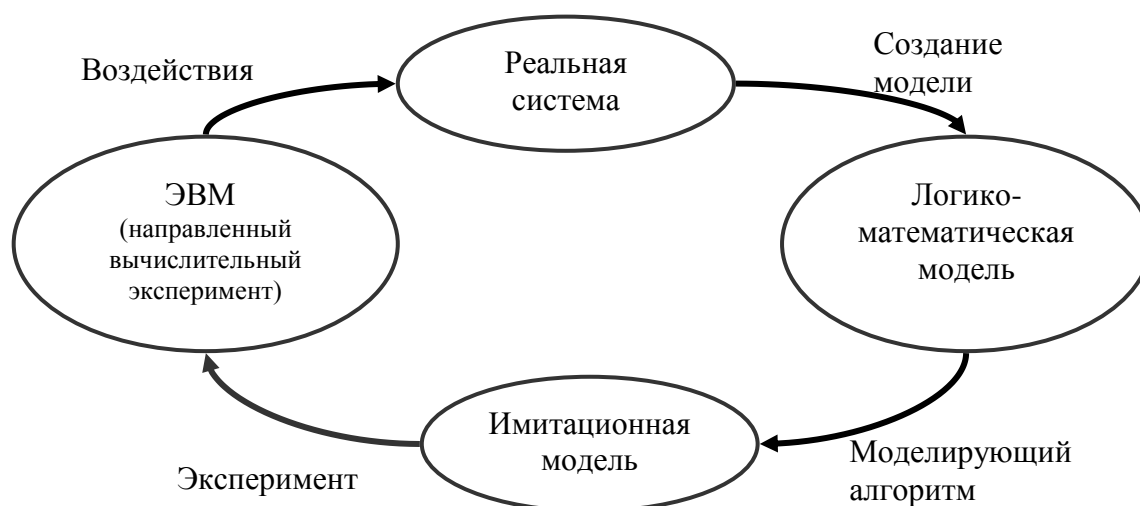


Рисунок 1.2. – Процесс имитационного исследования.

Выше мы определяли систему как совокупность взаимодействующих элементов, функционирующих во времени.

Составной характер сложной системы диктует представление ее модели в виде тройки:

$$\langle A, S, T \rangle, \text{ где}$$

A – множество элементов (в их число включается и внешняя среда);

S – множество допустимых связей между элементами (структура модели);

T – множество рассматриваемых моментов времени.

Особенностью имитационного моделирования является то, что имитационная модель позволяет воспроизводить моделируемые объекты:

- с сохранением их логической структуры,
- с сохранением поведенческих свойств, т.е. динамики взаимодействий элементов.

При имитационном моделировании структура моделируемой системы непосредственно отображается в модели, а процессы ее функционирования проигрываются (имитируются) на построенной модели. Построение имитационной модели заключается в описании структуры и процессов функционирования моделируемого объекта или системы. В описании имитационной модели выделяют две составляющие:

- *Статическое описание системы*, которое по-существу является описанием ее структуры. При разработке имитационной модели необходимо выполнять структурный анализ моделируемых процессов, определяя состав элементов модели.
- *Динамическое описание системы*, или описание динамики взаимодействий ее элементов. При его составлении фактически требуется построение функциональной модели, отображающей моделируемые динамические процессы.

Идея метода, с точки зрения его программной реализации, состояла в следующем. Что если элементам системы поставить в соответствие некоторые программные компоненты, а состояния этих элементов описывать с помощью переменных состояния. Элементы, по определению, взаимодействуют (или обмениваются информацией), - значит может быть реализован алгоритм функционирования отдельных элементов и их взаимодействия по определенным операционным правилам – моделирующий алгоритм. Кроме того, элементы существуют во времени – значит надо задать алгоритм изменения переменных состояний. Динамика в имитационных моделях реализуется с помощью *механизма продвижения модельного времени*.

Отличительной особенностью метода имитационного моделирования является возможность описания и воспроизведения взаимодействия между различными элементами системы. Таким образом, чтобы составить имитационную модель, надо:

- представить реальную систему (процесс), как совокупность взаимодействующих элементов;
- алгоритмически описать функционирование отдельных элементов;
- описать процесс взаимодействия различных элементов между собой и с внешней средой.

Ключевым моментом в имитационном моделировании является выделение и описание *состояний* системы. Система характеризуется *набором переменных состояний*, каждая комбинация которых описывает конкретное состояние. Следовательно, путем изменения значений этих переменных можно имитировать переход системы из одного состояния в другое. Таким образом, имитационное моделирование – это представление *динамического поведения* системы посредством продвижения ее от одного состояния к другому в соответствии с хорошо определенными операционными правилами. Эти изменения состояний могут происходить либо непрерывно, либо в дискретные моменты времени. *Имитационное моделирование – есть динамическое отражение изменений состояния системы с течением времени*.

Итак, мы разобрались, что при имитационном моделировании логическая структура реальной системы отображается в модели, а также имитируется динамика взаимодействий подсистем в моделируемой системе. Это важный, но не единственный признак имитационной модели, исторически предопределивший, не совсем удачное, на мой взгляд, название методу (*simulation modeling*), который исследователи чаще называют «системным моделированием».

Понятие о модельном времени. Механизм продвижения модельного времени. Дискретные и непрерывные имитационные модели.

Для описания динамики моделируемых процессов в имитационном моделировании реализован *механизм продвижения модельного времени*. Эти механизмы встроены в управляющие программы любой системы моделирования.

Если бы на ЭВМ имитировалось поведение одной компоненты системы, то выполнение действий в имитационной модели можно было бы осуществить последовательно, по пересчету временной координаты. Чтобы обеспечить имитацию параллельных событий реальной системы вводят некоторую глобальную переменную (обеспечивающую синхронизацию всех событий в системе) t_0 , которую называют *модельным (или системным) временем*.

Существуют два основных способа изменения t_0 :

- *пошаговый* (применяются фиксированные интервалы изменения модельного времени);
- *по-событийный* (применяются переменные интервалы изменения модельного времени, при этом величина шага измеряется интервалом до следующего события).

В случае *пошагового метода* продвижение времени происходит с минимально возможной постоянной длиной шага (*принцип Δt*). Эти алгоритмы не очень эффективны с точки зрения использования машинного времени на их реализацию.

По-событийный метод (*принцип “особых состояний”*). В нем координаты времени меняются только когда изменяется состояние системы. В по-событийных методах длина шага временного сдвига максимально возможная. Модельное время с текущего момента изменяется до ближайшего момента наступления следующего события. Применение по-событийного метода предпочтительно в случае, если частота наступления событий невелика, тогда большая длина шага позволит ускорить ход модельного времени. По-событийный метод применяется, когда события, происходящие в системе, распределены неравномерно на временной оси и появляются через значительные временные интервалы. На практике по-событийный метод получил наибольшее распространение.

Способ фиксированного шага применяется:

- если закон изменения от времени описывается интегро-дифференциальными уравнениями. Характерный пример: решение интегро-дифференциальных уравнений численным методом. В подобных методах шаг моделирования равен шагу интегрирования. При их использовании динамика модели является дискретным приближением реальных непрерывных процессов;
- когда события распределены равномерно и можно подобрать шаг изменения временной координаты;
- когда сложно предсказать появление определенных событий;
- когда событий очень много и они появляются группами.

Таким образом, вследствие последовательного характера обработки информации в ЭВМ, параллельные процессы, происходящие в модели, преобразуются с помощью рассмотренного механизма в последовательные. Такой способ представления носит название квазипараллельного процесса.

Простейшая классификация на основные виды имитационных моделей связана с применением этих двух способов продвижения модельного времени. Различают имитационные модели:

- *Непрерывные;*
- *Дискретные;*
- *Непрерывно-дискретные.*

В *непрерывных имитационных моделях* переменные изменяются непрерывно, состояние моделируемой системы меняется как непрерывная функция времени, и, как правило, это изменение описывается системами дифференциальных уравнений. Соответственно продвижение модельного времени зависит от численных методов решения дифференциальных уравнений.

В *дискретных имитационных моделях* переменные изменяются дискретно в определенные моменты имитационного времени (наступления событий). Динамика дискретных моделей представляет собой процесс перехода от момента наступления очередного события к моменту наступления следующего события.

Поскольку в реальных системах непрерывные и дискретные процессы часто невозможно разделить, были разработаны *непрерывно-дискретные модели*, в которых совмещаются механизмы продвижения времени, характерные для этих двух процессов.

Проблемы стратегического и тактического планирования имитационного эксперимента. Направленный вычислительный эксперимент на имитационной модели.

Итак, мы определились с *методологией имитационного моделирования*, это - системный анализ. Именно последнее дает право, рассматриваемый вид моделирования называть «системным моделированием».

В начале этого параграфа мы в общем виде дали понятие *метода имитационного моделирования*. Мы определили имитационное моделирование как *экспериментальный метод* исследования реальной системы по ее имитационной модели. Заметим, что понятие метода всегда шире понятия «имитационная модель».

Рассмотрим теперь особенности этого экспериментального метода (имитационный метод исследования). Кстати, слова «simulation», «эксперимент», «имитация» одного плана. Экспериментальная природа имитации также предопределила происхождение названия метода. Итак, цель любого исследования состоит в том, чтобы узнать как можно больше об изучаемой системе, собрать и проанализировать информацию, необходимую для принятия решения. Суть исследования реальной системы по ее имитационной модели состоит в получении (сборе) данных о функционировании системы в результате проведения эксперимента на имитационной модели.

Имитационные модели – это модели прогонного типа, у которых есть вход и выход. То есть, если подать на вход имитационной модели определенные значения параметров, можно получить результат, который действителен только при этих значениях. На практике исследователь сталкивается со следующей специфической чертой имитационного моделирования. Имитационная модель дает результаты, которые действительны только для определенных значений параметров, переменных и структурных взаимосвязей, заложенных в имитационную программу. Изменение параметра или взаимосвязи означает, что имитационная программа должна быть запущена вновь. Поэтому, для получения необходимой информации или результатов необходимо осуществлять *прогон* имитационных моделей, а не решать их. Имитационная модель не способна формировать свое собственное решение в том виде, как это имеет место в аналитических моделях (см. расчетный метод исследования), а может служить в качестве средства для анализа поведения системы в условиях, которые определяются экспериментатором.

Для пояснения рассмотрим детерминированный и стохастический случаи.

Стохастический случай. Имитационная модель - удобный аппарат для исследования стохастических систем. Стохастические системы - это такие системы, динамика которых зависит от случайных факторов, входные, выходные переменные стохастической модели, как правило, описываются как случайные величины, функции, процессы, последовательности. Рассмотрим основные особенности моделирования процессов с учетом действия случайных факторов (здесь реализуются известные идеи метода статистических испытаний, метода Монте-Карло). Результаты моделирования, полученные при воспроизведении единственной реализации процессов, в силу действия случайных факторов будут реализациями случайных процессов, и не смогут объективно характеризовать изучаемый объект. Поэтому искомые величины при исследовании процессов методом имитационного моделирования обычно определяют как средние значения по данным большого числа реализаций процесса (задача оценивания). Поэтому эксперимент на модели содержит несколько реализаций, *прогонов* и предполагает оценивание по совокупности данных (выборки). Ясно, что (по закону больших чисел), чем больше число реализаций, тем получаемые оценки все больше приобретают статистическую устойчивость.

Итак, в случае со стохастической системой необходимо осуществлять сбор и оценивание статистических данных на выходе имитационной модели, – для этого проводить серию прогонов и статистическую обработку результатов моделирования.

Детерминированный случай. В этом случае достаточно провести один прогон при конкретном наборе параметров.

Теперь представим, что целями моделирования являются: исследование системы при различных условиях, оценка альтернатив, нахождение зависимости выхода модели от ряда параметров и, наконец, поиск оптимального варианта. В этих случаях исследователь может

проникнуть в особенности функционирования моделируемой системы, изменяя значения параметров на входе модели, при этом выполняя многочисленные машинные прогоны имитационной модели.

Таким образом, проведение экспериментов с моделью на ЭВМ заключается в проведении многократных машинных прогонов с целью сбора, накопления и последующей обработки данных о функционировании системы. Имитационное моделирование позволяет исследовать модель реальной системы, чтобы изучать ее поведение путем многократных прогонов на ЭВМ при различных условиях функционирования реальной системы.

Здесь возникают следующие проблемы: как собрать эти данные, провести серию прогонов, как организовать целенаправленное экспериментальное исследование. Выходных данных, полученных в результате такого экспериментирования, может оказаться очень много. Как их обработать? Обработка и изучение их может превратиться в самостоятельную проблему, намного сложнее задачи статистического оценивания.

В имитационном моделировании важным вопросом является не только проведение, но и планирование имитационного эксперимента в соответствии с поставленной целью исследования.

Таким образом, перед исследователем, использующим методы имитационного моделирования, всегда встает проблема *организации* эксперимента, т.е. выбора метода сбора информации, который дает требуемый (для достижения поставленной цели исследования) ее объем при наименьших затратах (лишнее число прогонов – это лишние затраты машинного времени). Основная задача - уменьшить временные затраты на эксплуатацию модели, сократить машинное время на имитацию, отражающее затраты ресурса времени ЭВМ на проведение большого количества имитационных прогонов. Эта проблема получила название *стратегического планирования* имитационного исследования. Для ее решения используются методы планирования эксперимента, регрессионного анализа, и др.

Стратегическое планирование – это разработка эффективного плана эксперимента, в результате которого либо выясняется взаимосвязь между управляемыми переменными, либо находится комбинация значений управляемых переменных, минимизирующая или максимизирующая отклик (выход) имитационной модели.

Наряду с понятием стратегического существует понятие *тактического планирования*, которое связано с определением способов проведения имитационных прогонов, намеченных планом эксперимента: как провести каждый прогон в рамках составленного плана эксперимента. Здесь решаются задачи: определение длительности прогона, оценка точности результатов моделирования и др.

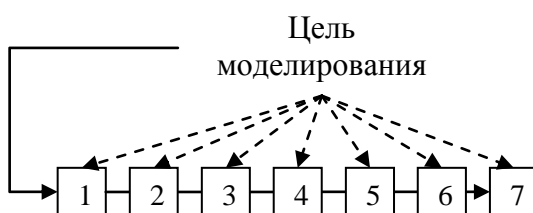
Такие эксперименты с имитационной моделью будем называть *направленными вычислительными экспериментами*.

Имитационный эксперимент, содержание которого определяется предварительно проведенным аналитическим исследованием (т.е. являющимся составной частью вычислительного эксперимента) и результаты которого достоверны и математически обоснованы, называется **направленным вычислительным экспериментом**.

В 3 главе мы детально рассмотрим практические вопросы организации и проведения направленных вычислительных экспериментов на имитационной модели.

Общая технологическая схема имитационного моделирования.

Обобщая наше рассуждение, можно в самом общем виде представить технологическую схему имитационного моделирования (рис. 1.3.). Более подробно технология имитационного моделирования будет рассматриваться в 3 главе учебного пособия.



1 - Реальная система; 2 - Построение логико-математической модели; 3 - Разработка моделирующего алгоритма; 4 - Построение имитационной (машинной) модели; 5 - Планирование и проведение имитационных экспериментов; 6 - Обработка и анализ результатов; 7 - Выводы о поведении реальной системы (принятие решений).

Рисунок 1.3 – Технологическая схема имитационного моделирования.

Возможности и область применения имитационного моделирования.

Рассмотрим возможности метода имитационного моделирования, обусловившие его широкое применение в самых различных сферах. Имитационное моделирование традиционно находит применение в широком спектре экономических исследований: моделировании производственных систем и логистике, маркетинге, моделировании бизнес процессов; в социально-экономических исследованиях, социологии и политологии; моделировании транспортных, информационных и телекоммуникационных систем, наконец, глобальном моделировании мировых процессов.

Метод имитационного моделирования позволяет решать задачи исключительной сложности, обеспечивает имитацию любых сложных и многообразных процессов, с большим количеством элементов, отдельные функциональные зависимости в таких моделях могут описываться весьма громоздкими математическими соотношениями. Поэтому имитационное моделирование

эффективно используется в задачах исследования систем со сложной структурой с целью решения конкретных проблем.

Имитационная модель содержит элементы непрерывного и дискретного действия, поэтому применяется для исследования динамических систем, когда требуется *анализ узких мест*, исследование *динамики функционирования*, когда желательно наблюдать на имитационной модели ход процесса в течение определенного времени

Имитационное моделирование – эффективный аппарат исследования *стохастических систем*, когда исследуемая система может быть подвержена влиянию многочисленных случайных факторов сложной природы (у математических моделей для этого класса систем ограниченные возможности). Имеется возможность проводить исследование *в условиях неопределенности*, при неполных и неточных данных.

Имитационное моделирование является наиболее ценным, системообразующим звеном в *системах поддержки принятия решений*, т.к. позволяет исследовать большое число альтернатив (вариантов решений), проигрывать различные сценарии при любых входных данных. Главное преимущество имитационного моделирования состоит в том, что исследователь для проверки новых стратегий и принятия решений, при изучении возможных ситуаций, всегда может получить ответ на вопрос «*Что будет, если? ...*». Имитационная модель позволяет прогнозировать, когда речь идет о проектируемой системе или исследуются процессы развития, т.е. в тех случаях, когда реальной системы не существует.

В имитационной модели может быть обеспечен различный (в том числе и очень высокий) *уровень детализации* моделируемых процессов. При этом модель создается поэтапно, постепенно, без существенных изменений, *эволюционно*.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Имитационное моделирование (статистическое моделирование на ЭВМ) – это способ исследования поведения вероятностных систем (экономических, технических и т.п.) в условиях, когда не известны в полной мере внутренние взаимодействия в этих системах.

Этот метод заключается в воспроизведении (имитации) исследуемого процесса при помощи вероятностной математической модели и вычислении характеристик этого процесса. Одно такое воспроизведение функционирования системы называют реализацией или испытанием. После каждого испытания регистрируют совокупность параметров, характеризующих случайный исход реализации. Метод основан на многократных испытаниях построенной модели с последующей статистической обработкой полученных данных с целью определения числовых характеристик исследуемого процесса в виде статистических оценок его параметров. Процесс моделирования функционирования экономической системы сводится к машинной имитации процесса.

Имитационное моделирование не решает оптимизационных задач, а представляет собой технику оценки значений функциональных характеристик моделируемой системы.

Результаты исследования имитационной модели представляют собой оценки значений операционных характеристик той системы, поведение которой моделируется. Например, при имитационном моделировании любой системы массового обслуживания практический интерес могут представлять такие характеристики, как средняя продолжительность обслуживания клиента, средняя длина очереди, доля времени простоя системы и др.

Имитационное моделирование является эффективным средством для решения сложных проблем. Имитационное моделирование применяется в различных областях науки, техники, экономики и т.д. С помощью имитационного моделирования можно решать следующие задачи:

1. Задачи в различных областях естественных наук (математика, физика, химия):

- а) вычисление площадей фигур, ограниченных кривыми, вычисление кратных интегралов;
- б) вычисление констант (например, числа π);
- в) обращение матриц;
- г) изучение диффузных процессов.

2. Практические задачи:

а) производственно-технологические задачи, возникающие в процессе создания систем массового обслуживания, систем связи, в сфере управления запасами, при анализе химических процессов;

б) экономические и коммерческие задачи, включая оценки поведения потребителя, определение цен, экономическое прогнозирование деятельности фирм;

в) социальные и социально-психометрические задачи, например, проблемы динамики народонаселения, влияния экологии на здоровье, эпидемиологических исследований, а также прогнозирование группового поведения;

г) задачи биомедицинских систем, например, баланса жидкости в организме человека, размножения клеток крови, деятельности мозга;

д) задачи анализа той или иной военной стратегии и тактики.

Вычисление результатов имитации базируется на случайной выборке, т.е. любой результат, полученный путём имитационного моделирования, подвержен экспериментальным ошибкам, поэтому, как и в любом статистическом эксперименте, должен основываться на результатах статистических проверок.

2.1. Основные этапы построения имитационных моделей

Имитационное моделирование является эффективным инструментом для решения сложных проблем. На предварительном этапе построения имитационной модели необходимо:

1. Исследовать границы и структуру рассматриваемой системы с целью решения конкретных проблем. На этом этапе используются методы системного анализа, например, строится граф целей и задач, который имеет иерархическую структуру. На каждом уровне расположены некоторые задачи, которые необходимо решить для достижения целей более высокого уровня. Построение такого графа начинается с верхнего уровня – формулировки конечных целей. Далее формируется уровень задач, которые необходимо решить для достижения этих целей. Постепенно формулируется проблема, для решения которой строится имитационная модель.

Этот этап завершается построением концептуальной модели исследуемой системы или процесса. Степень формализации концептуальной модели зависит от сложности системы.

2. На этом этапе определяются и анализируются критические элементы, компоненты, точки в исследуемой системе или процессе, а также определяются оценки предполагаемых решений.

При имитационном моделировании кроме основной модели строится блок упрощённых моделей, предназначенных для предварительного грубого анализа проблемы в целом. Методы упрощения моделей основаны на теории агрегирования, которая позволяет уменьшить число переменных и соотношений. Большую роль при этом играют асимптотические методы, которые позволяют выделить переменные, влияющие на общий ход процесса.

3. На этом этапе осуществляется прогнозирование и планирование будущего развития исследуемой системы или процесса.

Принятие решений в имитационном моделировании основано на последовательном сжатии множества рассматриваемых вариантов путём отбрасывания неконкурентоспособных или неосуществимых альтернатив.

Таким образом, для оценки и прогноза развития исследуемой системы предполагается: построить концептуальную модель; построить математическую модель; разработать математическое обеспечение для расчётов на ЭВМ; провести эксперименты на ЭВМ и определить применимость модели.

Известно, модель – это некоторое описание системы или процесса. В фундаментальных науках модели разрабатываются на основе теоретических законов:

- иконические модели – это масштабированные объекты;
- абстрактные (математические) модели представляются совокупностью математических соотношений;
- визуальные модели представляют системы графическим материалом.

Разработка модели существенно упрощается, если:

- известны законы, описывающие функционирование системы;
- может быть разработано графическое представление системы;
- можно управлять входами и выходами системы.

Процесс построения модели можно разбить на этапы:

Этап 1.

На этом этапе предполагается осуществление таких шагов:

- определение цели построения модели;
- определение границ системы;
- определение необходимого уровня детализации процессов, этот уровень должен позволять абстрагироваться от неточно определённых аспектов функционирования реальной системы.

Этап 2.

На этом этапе строится модель, в которую включаются критерии эффективности функционирования системы и оцениваемые альтернативные решения, которые рассматриваются как часть модели.

Этап 3.

На этом этапе необходимо получить оценки для альтернативных решений. Обычно оценки альтернатив требуют внесения изменений в описание системы, а следовательно, перестройки модели. На практике процесс построения модели является итеративным.

Этап 4.

Реализация построенной модели. После того как на основе полученных оценок альтернатив выработаны рекомендации, результаты моделирования можно внедрять в практику.

Изложенный общий подход к построению модели полностью можно перенести и на имитационное моделирование.

Процесс последовательной разработки имитационной модели начинается с создания простой модели, которая затем постепенно усложняется в соответствии с требованиями, предъявляемыми решаемой проблемой. В процессе построения имитационной модели можно выделить такие этапы:

1. Формулирование проблемы: описание исследуемой проблемы и определение целей исследования.
2. Разработка модели: логико-математическое описание моделируемой системы.
3. Подготовка данных: идентификация, спецификация, сбор данных.
4. Трансляция модели: перевод модели на язык, приемлемый для ЭВМ.
5. Верификация модели: установление правильности программных продуктов для реализации модели на ЭВМ.
6. Валидация: оценка требуемой точности и соответствия имитационной модели реальной системе.
7. Стратегическое и тактическое планирование: определение условий проведения машинного эксперимента с имитационной моделью.
8. Экспериментирование: прогон имитационной модели на ЭВМ для получения требуемой информации.
9. Анализ результатов: изучение результатов имитационного моделирования для подготовки выводов и рекомендаций по решению проблемы.
10. Реализация и документирование: реализация рекомендаций, полученных на основе имитации, составление документации по модели и её использованию.

2.2. Методологические подходы в имитационном моделировании

При разработке имитационной модели необходимо выбрать методологический подход, в рамках которого описываются функциональные взаимосвязи моделируемой системы. Этот подход позволяет разработчику чётко описать поведение исследуемой системы.

Понятие системы можно трактовать, например, таким образом: система – это совокупность элементов, принадлежащих ограниченной части реального мира. Совокупность элементов может рассматриваться как часть более сложной системы, т.е. в качестве подсистемы, а в другом случае может рассматриваться как система. Сфера действия любой системы определяется целью исследования, для достижения которой она выделяется и идентифицируется. Сфера действия любой имитационной модели определяется особенностями той проблемы, для решения которой она разработана.

Для определения сферы действия системы надо выявить границы системы и её структуру. При установлении границ системы выявляются все взаимосвязи между её элементами. На систему могут воздействовать некоторые внешние факторы. Если они существенно влияют на систему, то

систему следует переопределить. Если внешние факторы несущественно воздействуют на систему, то можно расширить определение системы, включив в неё эти факторы; пренебречь ими; трактовать их как входы в систему.

Внешние факторы трактуются как входы в систему, если они задаются определёнными значениями, таблицами, уравнениями. Например, при разработке модели производственной системы фирмы сбыт продукции рассматривается как вход в систему, если в модель не включаются взаимосвязи, относящиеся к процессу сбыта. Такая модель будет содержать только статистическое описание предшествующих и предполагаемых продаж, используемое в качестве входа, т.е. организация сбыта находится за границей системы. В системной терминологии объекты, находящиеся за границами системы, но оказывающие влияние на неё, формируют окружающую среду этой системы.

Таким образом, система представляет собой совокупность взаимодействующих элементов, которые подвергаются воздействию внешней среды.

Имитационная модель обычно связана с исследованием реально существующей системы, поведение которой является функцией времени. Существует три типа имитационных моделей.

1. *Непрерывные модели.* Непрерывные модели используются для систем, поведение которых изменяется непрерывно во времени. Цель имитационного эксперимента – определить реакцию переменной состояния в зависимости от имитационного времени. Модели непрерывных систем определяются в терминах производных функций, так как иногда легче задать выражение для определения скорости изменения переменной состояния, чем это сделать непосредственно для самой переменной состояния, то есть они описываются дифференциальными уравнениями. Типичным примером непрерывной имитационной модели является изучение динамики народонаселения мира. Непрерывные имитационные модели обычно представляются в виде разностно-дифференциальных уравнений, которые описывают взаимодействие между различными элементами системы.

2. *Дискретные модели.* В этих моделях описываются системы, поведение которых изменяется лишь в заданные моменты времени. Типичным примером такой модели является очередь, когда задача моделирования состоит в оценивании операционных характеристик системы массового обслуживания таких, например, как среднее время ожидания или средняя длина очереди.

Те моменты времени, когда в системе происходят изменения, определяют события модели, например, приход или выбытие клиента. Эти события происходят в дискретные моменты времени, поэтому имеет место процесс с дискретным временем, а соответствующая имитационная модель – дискретная.

3. *Комбинированные дискретно-непрерывные модели.* В комбинированных моделях независимые переменные могут изменяться как дискретно, так и непрерывно. Исследуемая система в таких ситуациях описывается с помощью элементов и переменных состояния. Поведение системы имитируется путём вычисления значений переменных состояния через небольшие отрезки времени.

В комбинированных моделях рассматриваются два типа событий: временные события (события, свершение которых планируется в определённые моменты времени) и события состояния (эти события не планируются, а происходят тогда, когда система достигает определённого состояния). Понятие «событие состояния» аналогично понятию «сканирование активностей», в котором событие также не планируется, а определяется состоянием системы. Возможность возникновения события состояния должна проверяться при каждом продвижении имитационного времени.

Вопросы для самопроверки:

1. Что является методологической основой имитационного моделирования?
2. Какие виды компьютерного моделирования вам известны, отметьте общие признаки моделей этого класса с имитационными моделями.
3. Какие знаковые формы представления и виды описания лежат в основе моделируемых систем и процессов имитационных моделей?
4. В чем принципиальное отличие метода статистических испытаний (метода Монте-Карло) и имитационного моделирования.
5. Назовите общие и отличительные признаки структурно-функционального и имитационного моделирования.
6. В чем состоит принципиальное отличие математического и имитационного видов моделирования.