**3. ПРИНЦИПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**3.1. Понятие имитационной модели**

Под термином "имитационное моделирование (имитационная модель) gпонимают определение некоторых характеристик изменяющегося во времени процесса путем воспроизведения течения этого процесса на компьюторе с помощью математической модели. Воспроизведение изменяющегося процесса на компьюторе с использованием математичекой модели принято называть имитационным экспериментом.

Использование имитационного моделирования стало возможно только с широким развитием вычислительной техники и внедрения средств компьютерной обработки информации во все области технических (и не только технических) наук.

Имитационное моделирование представляет собой наблюдение поведения модели системы. Модель системы изменяет свои состояния под влиянием входных воздействий, которые представляют собой как рабочую нагрузку системы, так и внешние воздействия, влияющие на функционирование системы. В общем случае эти воздействия носят случайный характер. В результате такого наблюдения исследователь получает набор экспериментальных данных, на основе которых и оцениваются характеристики системы.

В большинстве случаев аналитические модели для проведения имитационного эксперимента не годятся, и здесь нужна специальная модель. Имитационная модель должна отвечать следующим основным требованиям:

* Модель должна отражать логику функционирования исследуемой системы;
* Модель должна обеспечить возможность проведения статистического эксперимента.

Одним из основных понятий имитационного моделирования является понятие статистического эксперимента, в основе которого лежит метод статистических испытаний или метод Монте-Карло. Суть метода заключается в том, что проводится серия испытаний (прогонов модели) при некотором наборе входных воздействий, которые в общем случае представляют собой случайные величины (СВ), распределенные по заданному закону. Результат каждого конкретного испытания также носит случайный характер.

Проведя серию испытаний получают множество частных значений наблюдаемых характеристики, то есть выборку экспериментальных данных. Поученные статистические данные обрабатываются методами математической статистики и представляются в виде численных оценок интересующих параметров.

Важной особенностью метода является то, что его применение практически невозможно без использования компьютерной техники.

Особенностью имитационного моделирования является также то, что оно включает не только разработку модели и реализующей ее программы, а также подготовку и проведение статистического эксперимента. В вязи с этим результаты имитационного моделирования следует рассматривать как экспериментальные данные, требующие специальной обработки и анализа. При подготовке и проведении модельного эксперимента необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Какова продолжительность эксперимента?
2. Являются ли процессы, протекаемые в системе стационарными?
3. При каких условиях и на каком этапе эксперимента можно говорить о стационарности протекаемых процессов?
4. Как получить статистически независимые наблюдения?
5. Сколько наблюдений необходимо для обеспечения требуемой точности?

Особенность имитационной модели состоит также в том, что выбор модели и ее реализация в значительной мере зависит от взглядов разработка. Поэтому при разработке модели очень важно придерживаться определенных этапов разработки, что означает соблюдение технологии создания имитационной модели. Основные этапы технологии имитационного моделирования следующие:

1. Разработка модели процесса;
2. разработка алгоритмов вычисления характеристик (внутренних и выходных) по известным входным воздействиям;
3. разработка программной реализации модели;
4. идентификация модели (определение значений внешних характеристик);
5. верификация модели (определение границ ее применимости)
6. эксплуатация модели (планирование экспериментов, анализ полученных результатов).

К основным причинам развития методов имитационного моделирования можно отнести следующее.

1. Имитационное моделирование представляет собой результат развития математического моделирования. Первоначально, с помощью исследования аналитических математических моделей выясняются основные свойства явлений и процессов, протекающих в исследуемой системе. Более точные прогнозы требуют и более сложных математических моделей, которые учитывают все большее количество факторов, влияющих на процессы, протекающие в исследуемом объекте. Аналитические методы исследования становятся не применимыми и дальнейшие исследования возможно только с применением методов математического моделирования.
2. Реальные эксперименты очень дороги, некоторые эксперименты провести невозможно. Например, исследование влияния техногенных катастроф, исследование последствий аварий, изучение условий, приводящих к авариям или разрушениям. В ряде случаев, имитационные модели дают более точный результат, чем натурные испытания.

Имитационная модель характеризуется следующими признаками:

* Учет влияния случайных факторов;
* Наличие в модели возможности задавать входные воздействия, как детерминированные, так и случайные;
* Иллюзия реальности, создаваемая моделью

Наличие в модели случайных факторов определяет и основной метод исследования имитационной модели – статистический эксперимент.

**3.2. Область применения и классификация имитационных моделей**

Для имитационной модели практически отсутствуют ограничения на область их применения (по типу моделируемой системы), но всегда следует говорить о целесообразности использования методов имитационного в данной предметной области и об объе­ме трудозатрат на ее разработку.

Поскольку основой имитационного моделирования является метод статисти­ческих испытаний, наибольший эффект от его применения достигается при иссле­довании сложных систем, на функционирование которых существенное влияние оказывают случайные факторы.

Применение имитационного моделирования целесообразно также в следующих случаях:

1) если не существует законченной постановки задачи на исследование и идет процесс познания объекта моделирования;

2) если характер протекающих в системе процессов не позволяет описать эти процессы в аналитической форме;

3) если необходимо наблюдать за поведением системы (или отдельных ее ком­понентов) в течение определенного периода, в том числе с изменением скорости протекания процессов;

4) при изучении новых ситуаций в системе либо при оценке функционирования ее в новых условиях;

5) если исследуемая система является элементом более сложной системы, дру­гие элементы которой имеют реальное воплощение;

6) когда необходимо исследовать поведение системы при введении в нее новых компонентов;

7) при подготовке специалистов и освоении новой техники (в качестве тре­нажеров).

Но имитационные модели имеют целый ряд недостатков.

1. Трудоемкость. Разра­ботка имитационной модели, как правило, требует больших затрат времени и сил.
2. Объективность. Любая имитационная модель сложной системы значительно менее «объектив­на», чем аналитическая модель, поскольку она прежде всего отражает субъек­тивные представления разработчика о моделируемой системе. Причем бывает достаточно сложно как опровергнуть, так и обосновать адекватность создан­ной имитационной модели, особенно если речь идет о проектируемой системе.
3. Результаты имитационного моделирования, как и при любом численном методе, всегда носят частный характер. Для получения обо­снованных выводов необходимо проведение серии модельных экспериментов, а обработка результатов требует применения специальных статистических процедур.

Способы преодоления указанных недостатков.

1.Использование известных методов решения типовых задач, известных моделей отдельных элементов системы, а также пакетов моделирования. Использование перечисленных приемов существенно сокращает трудозатраты на создание моделей, статистичес­кий анализ и визуализацию полученных результатов.

2. «Объективность» создаваемой модели может быть обеспечена в том случае, когда для каждого вариан­та постановки задачи исследования выбирается соответствующая схема построения модели.

В этом отношении знание существующих схем построения имитационных мо­делей является весьма полезным.

Наиболее важный признак — ***способ представления в модели динамики (дви­жения) системы.*** Она может быть описана посредством событий, работ (активно­стей), процессов и транзактов.

Другой важный признак — ***способ изменения модельного времени.*** По этому признаку различают моделирование с постоянным шагом и моделирование по осо­бым состояниям.

1. Использование методов планирования эксперимента помогает построить план исследования модели, позволяющий получить требуемую точность результата при минимальном объеме испытаний.

В зависимо­сти от этапа и назначения проводимых исследований применяется один из трех наиболее распространенных видов имитационных экспериментов:

1) исследование относительного влияния различных факторов на значения вы­ходных характеристик системы;

2) нахождение аналитической зависимости между интересующими исследова­теля выходными характеристиками и факторами;

3) отыскание оптимальных значений параметров системы (так называемый «эк­стремальный эксперимент»).

Вид эксперимента влияет не только на выбор схемы ее формализации, но также на построение плана эксперимента и выбор метода обработки его результатов.

С точки зрения организации взаимодействия пользователя с моделью в ходе эксперимента имитационные модели делятся на автоматические и диалоговые.

***Автоматические --*** взаимодействие пользователя с моделью сводится только к вводу исходной информации и управлению началом и окон­чанием работы моделей.

***Диалоговыме --***  исследователь имеет возможность управ­лять ходом моделирования.

**3.3. Описание поведения системы**

Описание динамики системы, или, проще говоря, ее поведения, составляет ос­нову любой имитационной модели. В качестве исходных посылок для решения этой задачи используются результаты, полученные на этапе разработки концептуаль­ной модели системы. К ним относятся:

• определение принадлежности моделируемой системы одному из известных классов;

• описание рабочей нагрузки системы;

• выбор уровня детализации представления системы в модели и ее декомпозиция.

Все последующие действия исследователя по созданию модели могут быть от­несены к этапу ее формализации, который в общем случае предполагает:

• выбор метода отображения динамики системы (на основе событий, процессов или транзактов);

• формальное (математическое) описание случайных факторов, подлежащих учету в модели;

• выбор механизма изменения и масштаба модельного времени.

***Работа (активность)*** *—* это единичное действие системы по обработке (пре­образованию) входных данных. В зависимости от природы моделируемой системы под входными данными могут пониматься информационные данные или какие-либо материальные ресурсы. Каждая из работ характеризуется временем выполнения и потребляемыми ре­сурсами.

Под ***процессом*** понимают логически связанный набор работ. Некоторые процессы могут рассматриваться, в свою очередь, как работы в процессе более высокого уровня. Процесс характеризуется совокупностью статических и динамических характеристик.

**К *статическим*** характеристикам процесса относятся:

• длительность;

• результат;

• потребляемые ресурсы;

• условия запуска (активизации);

• условия останова (прерывания).

В общем случае статические характеристики процесса не изменяются в ходе его реализации, однако, при необходимости любая из них может быть представлена в модели как случайная величина, распределенная по заданному закону.

***Динамической характеристикой*** процесса является его состояние (активен или находится в состоянии ожидания).

Моделирование в терминах процессов производится в тех случаях, когда систе­ма оценивается по каким-либо временным показателям, либо с точки зрения по­требляемых ресурсов.

*Например, при оценке производительности вычислительной сети обработка заданий может быть представлена в модели как совокупность соответствующих процессов, использующих ресурсы сети (оперативную память, пространство на жестких дисках, процессорное время, принтеры и т. д.).*

В том случае, если модель строится с целью изучения причинно-следственных связей, присущих системе, динамику системы целесообразно описывать в терми­нах событий.

***Событие*** представляет собой мгновенное изменение некоторого элемента сис­темы или состояния системы в целом.

Событие характеризуется:

• условиями (или законом) возникновения;

• типом, который определяет порядок обработки (дисциплину обслуживания) данного события;

• нулевой длительностью.

Обычно события подразделяют на две категории:

***события следования,*** которые управляют инициализацией процессов (или от­дельных работ внутри процесса);

***события изменения состояний*** (элементов системы или системы в целом).

*Как было отмечено, механизм событий используется в качестве основы постро­ения моделей, предназначенных для исследования причинно-следственных связей в системах при отсутствии временных ограничений. К таким задачам можно отне­сти, например, некоторые задачи по оценке надежности.*

Еще один способ имитационного моделирования систем основан на использо­вании понятия транзакта.

***Транзакт*** *—* это некоторое сообщение (заявка, на обслуживание), которое по­ступает извне на вход системы и подлежит обработке. В некоторых случаях, на­пример, при моделировании автоматизированных систем управления, более удоб­но проследить функционирование системы именно относительно алгоритма обработки транзакта. В рамках одной ИМ могут рассматриваться транзакты не­скольких типов. Каждый транзакт характеризуется соответствующим алгоритмом обработки и необходимыми для его реализации ресурсами системы. Учитывая это, прохождение транзакта по системе можно в некоторых случаях рассматривать как последовательную активизацию процессов, реализующих его обработку («обслу­живание заявки»).

В связи с упоминанием термина «обслуживание заявки» уместно вспомнить о существовании теории массового обслуживания. При разработке и исследовании имитационных мо­делей на основе транзактов целесообразно использовать методику и показатели, применяемые при анализе систем массового обслуживания.