**Тема 4.** **ПРИНЦИПЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**4.1. Понятие статистического эксперимента**

Имитационное моделирование представляет собой наблюдение поведения модели системы под влиянием входных воздействий. При этом часть из них (а может быть и все) носят случайный характер. В результате такого наблюдения исследователь получает набор экспериментальных данных, на основе которых могут быть оценены характеристики системы.

Очевидно, что аналитические модели для проведения имитационного эксперимента не годятся, и здесь нужна специальная «имитационная» модель, которая должна отвечать следующим основным требованиям:

* Отражать логику функционирования исследуемой системы во времени;
* Обеспечить возможность проведения статистического эксперимента.

Одним из основных понятий имитационного моделирования является понятие статистического эксперимента.

В его основе лежит метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Суть метода заключается в том, что результат испытания ставится в зависимость от значения некоторой случайной величины (СВ), распределенной по заданному закону. Результат каждого конкретного испытания носит случайный характер.

Проведя серию испытаний получают множество частных значений наблюдаемой характеристики (то есть выборку). Поученные статистические данные обрабатываются и представляются в виде численных оценок интересующих исследователя параметров.

Отметим, что метод статистических испытаний применим для исследования как стохастических, так и детерминированных систем.

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

Имитационное моделирование не ограничивается разработкой модели и написанием соответствующей программы, а требует подготовки и проведения статистического эксперимента. В вязи с этим результаты имитационного моделирования следует рассматривать как экспериментальные данные, требующие специальной обработки и анализа. Для любого модельного эксперимента необходимо ответить на следующие вопросы:

1. Какова должна быть продолжительность эксперимента для достижения стационарных условий?
2. Как получить статистически независимые наблюдения?
3. Сколько наблюдений необходимо для обеспечения требуемой точности?

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

***Имитационная модель*** (ИМ) — это формальное (то есть выполненное на не­котором формальном языке) описание логики функционирования исследуемой си­стемы и взаимодействия отдельных ее элементов во времени, учитывающее наибо­лее существенные причинно-следственные связи, присущие системе, и обеспечивающее проведение статистических экспериментов.

Необходимо отметить два важных обстоятельства:

1) взаимосвязь между отдельными элементами системы, описанными в мо­дели, а также между некоторыми величинами (параметрами) может быть пред­ставлена в виде аналитических зависимостей (например, при моделировании полета управляемой ракеты отработка поступающих на борт команд может быть описана на уровне логики, а возникающие перегрузки рассчитываются анали­тически);

2) модель можно считать реализуемой и имеющей практическую ценность только в том случае, если в ней отражены лишь те свойства реальной системы, которые влияют на значение выбранного показателя эффективности.

Как было отмечено выше, для ИМ практически отсутствуют ограничения на область их применения (по типу моделируемой системы), и речь может идти толь­ко о целесообразности использования ИМ 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. Первый, и весьма существенный, заключается в том, что разра­ботка ИМ, как правило, требует больших затрат времени и сил. Кроме того, 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 ИМ, особенно если речь идет о проектируемой системе. Кроме того, 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.

Указанные недостатки можно преодолеть следующим образом.

Во-первых, современное состояние вычислительной техники и ее программно­го обеспечения позволило создать пакеты моделирования, использование которых существенно сокращает трудозатраты на создание моделей, статистичес­кий анализ и визуализацию полученных результатов.

Во-вторых, «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.

Все эти понятия являются основополагающими в теории имитационного моде­лирования.

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 исследователя с моделью в ходе эксперимента ИМ делятся на автоматические и диалоговые.

***Автоматическими*** называются ИМ, взаимодействие пользователя с которы­ми сводится только к вводу исходной информации и управлению началом и окон­чанием работы моделей.

***Диалоговыми*** называются ИМ, позволяющие исследователю активно управ­лять ходом моделирования.

**4.3. 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.