**Лекция 3. Этапы моделирования. Адекватность**.

Современное моделирование сложных процессов и явлений невозможно без компьютера, без компьютерного моделирования.

Компьютерное моделирование – основа представления (актуализации) знаний как в компьютере, так и с помощью компьютера и с использованием любой информации, которую можно актуализировать с помощью ЭВМ.

Разновидность компьютерного моделирования – вычислительный эксперимент, осуществляемый экспериментатором над исследуемой системой или процессом с помощью орудия эксперимента – компьютера, компьютерной технологии. Вычислительный эксперимент позволяет находить новые закономерности, проверять гипотезы, визуализировать события и т.д.

*Первый этап*: уяснение целей моделирования. Вообще-то это главный этап любой деятельности. Цель существенным образом определяет содержание остальных этапов моделирования. Заметим, что различие между простой системой и сложной порождается не столько их сущностью, но и целями, которые ставит исследователь.

Обычно целями моделирования являются:

* прогноз поведения объекта при новых режимах, сочетаниях факторов и т. п.;
* подбор сочетания и значений факторов, обеспечивающих оптимальное значение показателей эффективности процесса;
* анализ чувствительности системы на изменение тех или иных факторов;
* проверка различного рода гипотез о характеристиках случайных параметров исследуемого процесса;
* определение функциональных связей между поведением ("реакцией") системы и влияющими факторами, что может способствовать прогнозу поведения или анализу чувствительности;
* уяснение сущности, лучшее понимание объекта исследования, а также формирование первых навыков для эксплуатации моделируемой или действующей системы.

*Второй этап*: построение концептуальной модели. *Концептуальная модель* (от лат. *conception*) - модель на уровне определяющего замысла, который формируется при изучении моделируемого объекта. На этом этапе исследуется *объект*, устанавливаются необходимые упрощения и аппроксимации. Выявляются существенные аспекты, исключаются второстепенные. Устанавливаются единицы измерения и диапазоны изменения переменных модели. Если возможно, то *концептуальная модель* представляется в виде известных и хорошо разработанных систем: массового обслуживания, управления, авторегулирования, разного рода автоматов и т. д. *Концептуальная модель* полностью подводит итог изучению проектной документации или экспериментальному обследованию моделируемого объекта.

Результатом второго этапа является обобщенная схема модели, полностью подготовленная для математического описания - построения математической модели.

*Третий этап*: выбор языка программирования или моделирования, разработка алгоритма и программы модели. Модель может быть аналитической или имитационной, или их сочетанием. В случае аналитической модели исследователь должен владеть методами решения.

В истории математики (а это, впрочем, и есть история математического моделирования) есть много примеров тому, когда необходимость моделирования разного рода процессов приводила к новым открытиям. Например, необходимость моделирования движения привела к открытию и разработке дифференциального исчисления (Лейбниц и Ньютон) и соответствующих методов решения. Проблемы аналитического моделирования остойчивости кораблей привели академика Крылова А. Н. к созданию теории приближенных вычислений и аналоговой вычислительной машины.

Результатом третьего этапа моделирования является *программа*, составленная на наиболее удобном для моделирования и исследования языке - универсальном или специальном.

*Четвертый этап*: планирование эксперимента. *Математическая модель* является объектом эксперимента. Эксперимент должен быть в максимально возможной степени информативным, удовлетворять ограничениям, обеспечивать получение данных с необходимой точностью и достоверностью. Существует теория планирования эксперимента, нужные нам элементы этой теории мы изучим в соответствующем месте дисциплины.

Результат четвертого этапа - план эксперимента.

*Пятый этап*: выполнение эксперимента с моделью. Если модель аналитическая, то эксперимент сводится к выполнению расчетов при варьируемых исходных данных. При имитационном моделировании модель реализуется на ЭВМ с фиксацией и последующей обработкой получаемых данных. Эксперименты проводятся в соответствии с планом, который может быть включен в *алгоритм* модели. В современных системах моделирования такая возможность есть.

*Шестой этап*: обработка, *анализ* и *интерпретация* данных эксперимента. В соответствии с целью моделирования применяются разнообразные методы обработки: *определение* разного рода характеристик случайных величин и процессов, выполнение анализов - дисперсионного, регрессионного, факторного и др. Многие из этих методов входят в системы моделирования (*GPSS* World, AnyLogic и др.) и могут применяться автоматически. Не исключено, что в ходе анализа полученных результатов модель может быть уточнена, дополнена или даже полностью пересмотрена.

После анализа результатов моделирования осуществляется их *интерпретация*, то есть перевод результатов в термины *предметной области*. Это необходимо, так как обычно *специалист предметной области* (тот, кому нужны результаты исследований) не обладает терминологией математики и моделирования и может выполнять свои задачи, оперируя лишь хорошо знакомыми ему понятиями.

На этом рассмотрение последовательности моделирования закончим, сделав весьма важный *вывод* о необходимости документирования результатов каждого этапа. Это необходимо в силу следующих причин.

Во-первых, *моделирование* процесс итеративный, то есть с каждого этапа может осуществляться возврат на любой из предыдущих этапов для уточнения информации, необходимой на этом этапе, а документация может сохранить результаты, полученные на предыдущей итерации.

Во-вторых, в случае исследования сложной системы в нем участвуют большие коллективы разработчиков, причем различные этапы выполняются различными коллективами. Поэтому результаты, полученные на каждом этапе, должны быть переносимы на последующие этапы, то есть иметь унифицированную форму представления и понятное другим заинтересованным специалистам содержание.

В-третьих, результат каждого из этапов должен являться самоценным продуктом. Например, *концептуальная модель* может и не использоваться для дальнейшего преобразования в математическую модель, а являться описанием, хранящим информацию о системе, которое может использоваться как *архив*, в качестве средства обучения и т. д.

**Адекватность модели**

Итак, мы установили: модель предназначена для замены оригинала при исследованиях, которым подвергать оригинал нельзя или нецелесообразно. Но замена оригинала моделью возможна, если они в достаточной степени похожи или адекватны.

*Адекватность* означает, достаточно ли хорошо с точки зрения целей исследования результаты, полученные в ходе моделирования, отражают истинное положение дел. Термин происходит от латинского adaequatus - приравненный.

Говорят, что модель адекватна оригиналу, если при ее интерпретации возникает "портрет", в высокой степени сходный с оригиналом.

До тех пор, пока не решен вопрос, правильно ли отображает модель исследуемую систему (то есть адекватна ли она), ценность модели нулевая!

Термин "*адекватность*" как видно носит весьма расплывчатый смысл. Понятно, что результативность моделирования значительно возрастет, если при построении модели и переносе результатов с модели на систему-оригинал может воспользоваться некоторой теорией, уточняющей идею подобия, связанную с используемой процедурой моделирования.

К сожалению теории, позволяющей оценить *адекватность* математической модели и моделируемой системы нет, в отличие от хорошо разработанной теории подобия явлений одной и той же физической природы.

Проверку адекватности проводят на всех этапах построения модели, начиная с самого первого этапа - концептуального анализа. Если *описание системы* будет составлено не адекватно реальной системе, то и модель, как бы точно она не отображала *описание системы*, не будет адекватной оригиналу. Здесь сказано "как бы точно", так как имеется в виду, что вообще не существуют математические модели, абсолютно точно отображающие процессы, существующие в реальности.

Если изучение системы проведено качественно и *концептуальная модель* достаточно точно отражает реальное положение дел, то далее перед разработчиками стоит лишь проблема *эквивалентного преобразования* одного описания в другое.

Итак, можно говорить об адекватности модели в любой ее форме и оригинала, если:

* описание поведения, созданное на каком-либо этапе, достаточно точно совпадает с поведением моделируемой системы в одинаковых ситуациях;
* описание убедительно представительно относительно свойств системы, которые должны прогнозироваться с помощью модели.

Предварительно исходный вариант математической модели подвергается следующим проверкам:

* все ли существенные параметры включены в модель;
* нет ли в модели несущественных параметров;
* правильно ли отражены функциональные связи между параметрами;
* правильно ли определены ограничения на значения параметров;
* не дает ли модель абсурдные ответы, если ее параметры принимают предельные значения.

Такая предварительная *оценка адекватности* модели позволяет выявить в ней наиболее грубые ошибки.

Но все эти рекомендации носят неформальный, рекомендательный характер. Формальных методов *оценки адекватности* не существует! Поэтому, в основном, качество модели (и в первую *очередь* степень ее адекватности системе) зависит от опыта, интуиции, эрудиции разработчика модели и других субъективных факторов.

Окончательное суждение об адекватности модели может дать лишь практика, то есть сравнение модели с оригиналом на основе экспериментов с объектом и моделью. Модель и *объект* подвергаются одинаковым воздействиям и сравниваются их реакции. Если реакции одинаковы (в пределах допустимой точности), то делается *вывод*, что модель адекватна оригиналу. Однако надо иметь в виду следующее:

* воздействия на объект носят ограниченный характер из-за возможного разрушения объекта, недоступности к элементам системы и т. д.;
* воздействия на объект имеют физическую природу (изменение питающих токов и напряжений, температуры, скорости вращения валов и т. д.), а на математическую модель - это числовые аналоги физических воздействий.

Для оценки степени подобия структур объектов (физических или математических) существует понятие изоморфизма (изо - одинаковый, равный, морфе - форма, греч.).

Две системы изоморфны, если существует взаимно однозначное соответствие между элементами и отношениями (связями) этих систем.

Изоморфны, например, множество действительных положительных чисел и множество их логарифмов. Каждому элементу одного *множества* - числу соответствует *значение* его логарифма в другом, умножению двух чисел в первом множестве - *сложение* их логарифмов в другом. C точки зрения пассажира план метрополитена, находящийся в каждом вагоне поезда метро, изоморфен реальному географическому расположению рельсовых путей и станций, хотя для рабочего, ремонтирующего рельсовые пути, этот план естественно не является изоморфным. Фотография является изоморфным отображением реального лица для милиционера, но не является таковым для художника.

При моделировании сложных систем достигнуть такого полного соответствия трудно, да и нецелесообразно. При моделировании абсолютное подобие не имеет места. Стремятся лишь к тому, чтобы модель достаточно хорошо отражала исследуемую сторону функционирования объекта. Модель по сложности может стать аналогичной исследуемой системе и никакого упрощения исследования не будет.

Для оценки подобия в поведении (функционировании) систем существует понятие изофункционализма.

Две системы произвольной, а подчас неизвестной структуры изофункциональны, если при одинаковых воздействиях они проявляют одинаковые реакции. Такое *моделирование* называется функциональным или кибернетическим и в последние годы получает все большее распространение, например, при моделировании человеческого интеллекта (*игра* в шахматы, *доказательство теорем*, *распознавание образов* и т. д.). Функциональные модели не копируют структуры. Но, копируя поведение, исследователи последовательно "подбираются" к познанию структур объектов (человеческого мозга, Солнца, и др.).