

Лекция №3

Раздел 1. Основные понятия. Технологии построения моделей.

КЛАССИФИКАЦИЯ МОДЕЛЕЙ

Идеальное моделирование

Идеальное моделирование разделяют на два основных типа: интуитивное и научное.

Интуитивное моделирование - это моделирование, основанное на интуитивном (не обоснованном с позиций формальной логики) представлении об объекте исследования, не поддающимся формализации или не нуждающимся в ней.

В качестве наиболее яркого примера интуитивной модели окружающего мира можно считать жизненный опыт любого человека. К данному типу моделирования можно отнести умения и знания, накопленные многовековым опытом и передающиеся от поколения к поколению (например, умение лечить болезни с использованием трав и приемов народной медицины). Любое эмпирическое (т.е. полученное из эксперимента или в процессе наблюдения) знание без объяснения причин и механизмов наблюдаемого явления также следует считать интуитивным.

Следует подчеркнуть чрезвычайно важную роль интуиции, интуитивных моделей в науке, без них не обходится не одно сколь-нибудь новое знание. Последнее недостижимо только методами формальной логики.

Научное моделирование - это всегда логически обоснованное моделирование, использующее минимальное число предположений, принятых в качестве гипотез на основании наблюдений за объектом моделирования.

Главное отличие *научного* моделирования от интуитивного заключается не только в умении выполнять необходимые операции и действия по собственно моделированию, но и в знании “внутренних” механизмов, которые используются при этом. Можно сказать, что научное моделирование не только знает, как необходимо моделировать, но и знает, почему так нужно делать.

Следует заметить, что в основе любого логического рассуждения лежат гипотезы или аксиомы, принимаемые на веру и не противоречащие имеющемуся опыту или эксперименту. Поэтому можно говорить об интуитивной первооснове любого научного знания. В результате познания человек разбирается в причинах тех или иных явлений, отодвигая границы своих интуитивных представлений об окружающем мире. Учитывая бесконечность данного процесса, можно предположить, что интуитивная первооснова у любого научного знания будет присутствовать всегда. О мере интуитивности знания можно судить по количеству

использованных гипотез и аксиом. В этом смысле деление моделирования на интуитивное и научное следует признать относительным.

Знаковым называют моделирование, использующее в качестве моделей знаковые изображения какого-либо вида: схемы, графики, чертежи, иероглифы, руны, наборы символов, включающее также совокупность законов и правил, по которым можно оперировать с выбранными знаковыми образованиями и элементами. В качестве примеров таких моделей можно назвать любой язык. Например, язык устного и письменного человеческого общения, алгоритмический язык, язык химических формул, язык живописи и язык нот для записи музыки. Моделирование с помощью математических соотношений также является примером знакового моделирования.

Говоря о научном моделировании, следует пояснить смысл таких терминов, как “модель” и “теория”. В современной научной литературе данные понятия трактуются неоднозначно, а граница между ними размыта. В методологии науки признана в настоящее время следующая трактовка:

Модель — это инструмент, ориентированный в первую очередь на исследование поведения и свойств конкретного объекта в целях управления этим объектом или предсказания его свойств.

Теория — более абстрактное, чем модель, средство, основной целью которого является объяснение поведения или свойств не конкретного объекта, а некоторого класса объектов. Можно сказать, что теория содержит конечную или даже бесконечную совокупность конкретных моделей.

Например, для описания течения ньютоновской или нелинейно-вязкой жидкости в канале заданной формы разрабатывается соответствующая модель. При создании конкретной модели используются законы и уравнения соответствующей теории, в данном случае – механики жидкостей. Можно сказать, что модель дает ответы на вопросы: “Каким образом?” и “Почему?” для конкретного объекта, а теория – для целого семейства объектов, обладающих схожими свойствами. Следует, однако, отметить, что при разработке моделей сложных процессов и явлений зачастую приходится использовать понятия и соотношения нескольких теорий, относящихся к различным разделам, дисциплинам и даже областям знаний.

Интуитивное и научное (теоретическое) моделирование ни в коей мере нельзя противопоставлять друг другу. Они хорошо дополняют друг друга, разделяя области своего применения. Привычная буквенно-цифровая (знаковая) форма представления научного знания исторически сложилась как технология “передела” готового знания. Создание же качественно нового знания, рождение принципиально новых научных идей не может быть сведено к процессу чистой дедукции, к процессу формально-логического вывода следствий из множества

уже открытых, готовых фактов, гипотез и теорий, составляющих информационную базу данных сегодняшней науки.

Даже в самой абстрактной области фундаментальной науки — математике — интуиция играет определяющую роль.

Итак, интуитивное знание является генератором нового знания. Однако далеко не все догадки и идеи выдерживают последующую проверку экспериментом и методами формальной логики, свойственными научному подходу, выступающему в виде своеобразного фильтра для выделения наиболее ценных знаний.

Когнитивные, концептуальные и формальные модели

Как уже отмечалось выше, при наблюдении за объектом-оригиналом в голове исследователя формируется некий мысленный образ объекта, его идеальная модель, которую в научной литературе принято называть когнитивной (мысленной, способствующей познанию) моделью. Формируя такую модель, исследователь, как правило, стремится ответить на определенные конкретные вопросы, поэтому от бесконечно сложного устройства объекта отсекается все ненужное с целью получения его более компактного и лаконичного описания.

Представление когнитивной модели на естественном языке называется содержательной моделью.

Когнитивные модели субъективны, так как формируются умозрительно (“в голове” исследователя) на основе всех его предыдущих знаний и опыта. Получить представление о когнитивной модели можно только описав ее в знаковой форме. Нельзя утверждать, что когнитивные и содержательные модели эквивалентны, так как когнитивная модель может содержать элементы, которые исследователь не может или не хочет сформулировать. С другой стороны, если содержательная модель сформулирована кем-то другим или является продуктом коллективного творчества, то ее интерпретация, уровень понимания, степень доверия могут существенно изменяться от человека к человеку. В естественно - научных дисциплинах и в технике содержательную модель часто называют концептуальной или технической постановкой проблемы.

По функциональному признаку и целям содержательные модели подразделяются на описательные, объяснительные и прогностические.

Описательной моделью можно назвать любое описание объекта.

Объяснительные модели позволяют ответить на вопрос, почему что-либо происходит. Наконец, прогностические модели должны описывать будущее поведение объекта. Можно заметить, что прогностическая модель не обязана включать в себя объяснительную.

Концептуальной моделью принято называть содержательную модель, при формулировке которой используются понятия и представления предметных областей знаний, занимающихся изучением объекта моделирования.

В более широком смысле под концептуальной моделью понимают содержательную модель, базирующуюся на определенной концепции или точке зрения. Выделяют три вида концептуальных моделей: логико-семантические, структурно-функциональные и причинно-следственные.

Логико-семантическая модель является описанием объекта в терминах и определениях соответствующих предметных областей знаний, включающим все известные логически непротиворечивые утверждения и факты. Анализ таких моделей осуществляется средствами логики с привлечением знаний, накопленных в соответствующих предметных областях.

При построении структурно-функциональных моделей объект обычно рассматривается как целостная система, которую расчлняют на отдельные элементы или подсистемы. Части системы связываются структурными отношениями, описывающие подчиненность, логическую и временную последовательность решения отдельных задач. Для представления подобных моделей удобны различного рода схемы, карты и диаграммы.

Причинно-следственные модели часто используют для объяснения и прогнозирования поведения объекта. Данные модели ориентированы в основном на описание динамики исследуемых процессов, при этом время далеко не всегда учитывается в явном виде.

Формальная модель является представлением концептуальной модели с помощью одного или нескольких формальных языков (например, языков математических теорий или алгоритмических языков).

В гуманитарных науках процесс моделирования обычно заканчивается созданием концептуальной модели объекта. В естественно-научных дисциплинах, как правило, удается построить формальную модель. Таким образом, когнитивные, содержательные и формальные модели составляют три взаимосвязанных уровня моделирования.

Перечисленные выше разновидности моделей нельзя рассматривать изолированно друг от друга. “Взаимоотношения” моделей между собой представлены на рис.2.



Рис. 2 Взаимосвязь моделей

Взаимовлияние уровней моделирования друг на друга связано со свойством потенциальности моделей. Создание любой модели сопряжено с появлением новых знаний об исследуемом объекте, что приводит к переоценке и уточнению концепций и взглядов на объект моделирования. Данное обстоятельство приводит, в свою очередь, к необходимости пересмотра соответствующих содержательных и когнитивных моделей, реализуя спиральное развитие всех уровней моделирования исследуемого объекта.

Следует обратить внимание на тот факт, что если значение содержательных и формальных моделей для процесса познания более или менее понятно, то роль когнитивных моделей часто недооценивается. Это связано с субъективностью этих моделей и скрытостью процесса мышления. Однако существуют объекты и процессы, для которых роль когнитивных моделей особенно велика. Например, оператор или лицо, принимающее решения, осуществляет управление объектом или процессом главным образом на основании собственных когнитивных моделей. Велика роль данного типа моделей и в социальных науках. В настоящее время изучением свойств и особенностей когнитивных моделей занимается новая, быстро развивающаяся дисциплина — *когнитология*.

Как уже отмечалось, одним из видов знакового моделирования является математическое моделирование.

Математическое моделирование - это идеальное научное знаковое формальное моделирование, при котором описание объекта осуществляется на языке математики, а исследование модели проводится с использованием тех или иных математических методов.

В качестве примера математического моделирования можно назвать классическую механику точки И. Ньютона, с помощью которой можно описать движение любого материального объекта, размеры которого малы по сравнению с характерными расстояниями. Фактически все современные разделы физики посвящены построению и исследованию математических моделей различных физических объектов и явлений. Так, физики-“ядерщики” до проведения экспериментальных исследований выполняют серьезные исследования с применением математических моделей. При этом на основании результатов теоретического моделирования разрабатывается и уточняется методика натуральных экспериментов, выясняется, какие эффекты, где и когда следует ожидать, когда и что регистрировать. Такой подход позволяет значительно снизить затраты на проведение эксперимента, повысить его эффективность. Аналогичные замечания можно сделать о других современных дисциплинах.

Как правило, значительные успехи в биологии и химии в последнее время были связаны с разработкой и исследованием математических моделей для биологических систем и химических процессов. В настоящее время широким фронтом идут работы по созданию математических моделей в экологии, экономике и социологии. Нельзя переоценить использование математических моделей в медицине и промышленности. Появилась возможность на научной (т.е. логически обоснованной) основе подходить ко многим экологическим и медицинским проблемам: имплантации и замене различных органов, прогнозированию развития эпидемий, обоснованной разработке планов ликвидации последствий крупных аварий и катастроф. Очень часто методы математического моделирования являются единственно возможными. Например, всестороннее математическое моделирование и “проигрывание” различных вариантов на ЭВМ позволило в кратчайшие сроки (1-2 недели) обоснованно спланировать и приступить к реализации плана ликвидации последствий Чернобыльской катастрофы. Уникальные результаты были получены по проекту “Гея”, связанному с математическим моделированием последствий ядерной войны. Было выяснено, что в результате сильного запыления атмосферы возможно значительное глобальное похолодание (“ядерная зима”) и связанное с этим вымирание практически всего живого. Подобных примеров эффективного использования математических моделей можно приводить очень много. В настоящее время это один из результативных и наиболее часто применяемых методов научного исследования.

Приведенное выше определение математического моделирования нельзя считать единственно возможным. Учитывая, что сама математика подразделяется (конечно, с большей степенью условности) на “чистую” и “прикладную”, можно привести несколько вариантов подобного определения.

Пример определения математической модели, характерного для “чистой” математики, можно найти в известном справочнике Т.Корн и Г.Корн, где под математической моделью понимается “класс абстрактных и символьных математических объектов, таких, как числа или векторы, и отношения между ними”. Под математическим отношением понимается “гипотетическое правило, связывающее два или более символических объекта”. Вводится абстрактное и конструктивное определение математической модели. При абстрактном определении новая модель задается “непротиворечивым набором правил (определяющих аксиом), вводящих операции, которыми можно пользоваться, и устанавливающих общие отношения между их результатами. Конструктивное определение вводит новую математическую модель, пользуясь уже известными математическими понятиями (например, определение сложения и умножения матриц в терминах сложения и умножения чисел)”.

С одной стороны, недостатком приведенного определения “чистых” математиков можно считать излишний формализм, оперирование абстрактными понятиями. С другой стороны, абстрактность понятий повышает общность определения модели, делает его применимым к моделям самых разных по природе, не похожих друг на друга объектов и явлений. Кроме того, несомненным достоинством этого определения является его строгость и логичность. Для “прикладных” математиков характерна меньшая оторванность от реальной жизни, когда математические соотношения связывают не просто абстрактные математические объекты, а вполне определенные параметры реальных физических, химических, биологических или социальных явлений или процессов. Желательно иметь определение математической модели, сохраняющее строгость и логичность определения “чистой” математики и, в то же время, пригодное для классификации существующих и создаваемых моделей, сравнения их между собой. Вариант подобного определения можно сформулировать из следующих соображений.

Любая математическая модель, предназначенная для научных исследований, позволяет по заданным исходным данным определить значения интересующих исследователя параметров моделируемого объекта или явления. Поэтому можно предположить, что суть любой подобной модели заключается в отображении некоторого заданного множества Ω_X значений “входных” параметров X на множество значений Ω_Y “выходных” параметров Y . Данное обстоятельство позволяет рассматривать математическую модель как некоторый математический оператор A и сформулировать следующее определение.

Под математической моделью будем понимать любой оператор A , позволяющий по соответствующим значениям входных параметров X установить выходные значения параметров Y объекта моделирования:

$A: X \rightarrow Y, X \text{ из } \Omega_X, Y \text{ из } \Omega_Y,$

где Ω_x и Ω_y - множества допустимых значений входных и выходных параметров для моделируемого объекта. В зависимости от природы моделируемого объекта элементами множеств Ω_x и Ω_y могут являться любые математические объекты (числа, векторы, тензоры, функции, множества и т.п.).

Понятие оператора в приведенном определении может трактоваться достаточно широко. Это может быть как некоторая функция, связывающая входные и выходные значения, так и отображение, представляющее символическую запись системы алгебраических, дифференциальных, интегро-дифференциальных или интегральных уравнений. Наконец, это может быть некоторый алгоритм, совокупность правил или таблиц, обеспечивающих определение выходных параметров по заданным исходным значениям.

Определение математической модели через понятие оператора является более конструктивным с точки зрения построения классификации таких моделей. С другой стороны, подобное определение включает все многообразие имеющихся в настоящее время математических моделей.

С развитием вычислительной техники большое распространение получили *информационные модели*, представляющие по существу автоматизированные справочники, реализованные с помощью систем управления базами данных. Получая на входе некоторый запрос на поиск требуемой информации, подобные модели позволяют найти всю имеющуюся в базе данных информацию по интересующему вопросу. Однако данные модели не могут генерировать новое знание, отсутствующее в базе данных. Можно сказать, что это модели с нулевым потенциалом. Так как в качестве входных или выходных параметров моделей могут выступать математические объекты, а саму процедуру поиска данных можно представить в виде некоторого оператора, то информационные модели можно считать специфической разновидностью математических моделей. В данном пособии информационные модели и особенности их построения рассматриваться не будут.