

Лекция №1

Роздел 1. Основные понятия. Технологии построения моделей.

Введение.

С процессом моделирования и различными моделями человек начинает сталкиваться с самого раннего детства. Так, еще не научившись уверенно ходить, малыш начинает играть с кубиками, сооружая из них (на первых порах — с помощью старших) различные конструкции. Его окружают различные игрушки: плюшевые, резиновые, металлические, различающиеся по размерам, форме, цвету, предназначению.... При этом большинство игрушек повторяют (моделируют) отдельные свойства и форму реально существующих предметов и объектов. В этом смысле такие игрушки можно рассматривать в качестве моделей соответствующих объектов.

В школе практически все обучение построено на использовании моделей в той или иной форме. Действительно, для знакомства с основными конструкциями и правилами родного языка используются различные структурные схемы и таблицы, которые можно считать моделями, отражающими те или иные свойства языка. Процесс написания сочинения следует рассматривать как моделирование некоторого события или явления средствами родного языка. На уроках биологии, физики, химии и анатомии к плакатам и схемам (т.е. моделям) добавляются макеты (тоже модели) изучаемых реальных объектов. На уроках рисования или черчения на листе бумаги или ватмана создаются модели тех или иных объектов, выраженные изобразительным языком или более формализованным языком чертежа.

Даже такую трудно формализуемую область знания, как история, также можно рассматривать как непрерывно эволюционирующую совокупность моделей прошлого того или иного народа, государства и т.д. Устанавливая закономерности в наступлении тех или иных исторических событий (революций, войн, ускорений или застоев исторического развития), можно не только выяснить причины, приведшие к данным событиям, но и прогнозировать и даже управлять их появлением и развитием в будущем.

На протяжении всей своей жизни человек ежедневно сталкивается с моделями и сам создает новые.

Так, картину, написанную художником, можно считать моделью реальных объектов, записанной языком живописи. Такими же моделями можно считать художественное произведение и скульптуру. Даже жизненный опыт человека, его представления о мире является примером модели. Причем поведение человека определяется сформировавшейся в его сознании моделью. Психолог или учитель, изменяя параметры такой внутренней модели, могут в отдельных случаях существенно изменять поведение человека. Без преувеличения можно утверждать, что в своей осознанной жизни человек имеет дело исключительно с моделями тех

или иных реальных объектов, процессов, явлений. При этом один и тот же объект воспринимается различными людьми по-разному, иногда — с точностью “до наоборот”. Как говорится в известной поговорке — “на вкус и цвет...”. Это восприятие, мысленный образ объекта также является разновидностью модели последнего (так называемой *когнитивной моделью*), и существенным образом зависит от множества факторов: качества и объема знаний, особенностей мышления, эмоционального состояния конкретного человека “здесь и сейчас” и от множества других причин, зачастую не доступных рациональному осознанию. Особенно велика роль моделей и моделирования в современной науке и технике.

Все существующие в настоящее время приемы моделирования можно (условно) разделить на материальные и идеальные.

Материальное моделирование — это моделирование, при котором исследование объекта выполняется с использованием его материального аналога (от греч. *analogia* — соответствие, соразмерность), воспроизводящего основные физические, геометрические, динамические и функциональные характеристики данного объекта. К таким моделям, например, можно отнести использование макетов в архитектуре, моделей и экспериментальных образцов при создании различных транспортных средств.

Идеальное моделирование отличается от материального тем, что оно основано не на материальной аналогии объекта и модели, а на аналогии идеальной, мыслимой и всегда носит теоретический характер.

Можно ли обойтись в технике без применения тех или иных видов моделей? Очевидный ответ — нет! Конечно, можно построить новый самолет “из головы” (без предварительных расчетов, чертежей, экспериментальных образцов, т.е. используя только единственную “идеальную” модель, существующую в “голове” конструктора). Однако едва ли это будет достаточно эффективная и надежная конструкция. Единственным ее достоинством можно считать ее уникальность. Ведь даже автор не сможет повторно изготовить точно такой же самолет, т.к. в результате изготовления первого экземпляра будет получен некоторый опыт, который обязательно изменит “идеальную” модель в “голове” самого конструктора.

Чем более сложным и надежным должно быть техническое изделие, тем большее число видов моделей необходимо применить на этапе его проектирования.

Как правило, сложные изделия создаются целыми коллективами разработчиков. Вся совокупность применяемых ими разнообразных моделей позволяет сформировать общую для всего коллектива “идеальную” модель разрабатываемого изделия. Реальное техническое изделие можно рассматривать как “материальную” модель (аналог) созданной авторами “идеальной” модели.

Предмет изучения и задачи дисциплины.

Любые энергетические установки, в том числе и нетрадиционные, представляют собой сложную техническую систему, которую в дальнейшем мы будем называть энергосистемой.

Поскольку энергосистема содержит множество отдельных элементов, соединённых определённым образом, то и модель системы должна воспроизводить все подлежащие исследованию отношения и связи внутри объекта, касающиеся взаимоотношений всех элементов или выделяемых групп элементов, рассматриваемых в этом случае как подсистемы. При моделировании энергосистем различают случаи, когда подобие устанавливается для всех элементов, влияющих на изучаемые функции, проявляющиеся как во времени, так и в пространстве (полное подобие), и случаи, когда устанавливается подобие только части процессов или изучаемых функций системы (неполное подобие), например, когда изучается изменение параметров процесса только во времени без рассмотрения соответствующих изменений в пространстве. Полное подобие и соответственно полное моделирование энергосистем реализуется преимущественно при изучении систем или отдельных элементов, действие которых существенно связано с распространением электромагнитной энергии в пространстве (конструирование и изучение работы таких элементов системы, как электрические машины, трансформаторы, волноводы, протяжённые линии электропередачи и т. д.). Неполное моделирование обычно реализуется при изучении режимов энергетических систем.

При физическом моделировании изучение конкретной энергосистемы заменяется изучением подобной энергосистемы другого размера (мощности, напряжения, частоты тока, протяжённости линий электропередачи, габаритов), но имеющей ту же физическую природу важнейших (в условиях данной задачи) элементов модели. Широко распространены физические модели энергосистем, содержащие электрические машины, которые изображают в уменьшенном по мощности (до $1/10000$ — $1/20000$) и напряжению ($1/1000$) масштабе реальную энергосистему с её регулирующими, защитными и другими устройствами. Физические модели применяются для исследований электроэнергетических систем в целом, линий электропередачи (обычно на повышенной частоте), устройств регулирования и защиты и т. д.

Физическое моделирование энергосистем применяется преимущественно для изучения и проверки основных теоретических положений, уточнения схем замещения и расчётных формул, проверки действия аппаратов, установок, новых схем защиты и способов передачи энергии, а также для определения общих характеристик электромагнитных, электромеханических и волновых процессов в системах, не имеющих точного математического описания или находящихся в необычных условиях.

Примером аналогового моделювання енергосистем могут служить расчётные столы постоянного или переменного тока, иначе называемые расчётными моделями, на которых набор активных и реактивных сопротивлений изображает электрическую сеть, а источники питания — генераторы (станции), работающие в энергосистеме, — заменяются регулируемыи трансформаторами (модель переменного тока) или источниками постоянного тока, например аккумуляторами (модель постоянного тока). Действительные физические процессы, происходящие в исследуемой системе, на такой модели не воспроизводятся. Сопротивления и эдс, составляющие в соответствии с принятыми расчётными уравнениями схему замещения изучаемой системы, могут изменяться (вручную или автоматически), отражая тем самым реальные изменения, происходящие в изучаемой системе. Значения электрических напряжений, сил токов и мощностей, измеряемых в такой модели (схеме замещения) с определёнными допущениями, характеризуют реальный процесс в энергосистеме.

При моделировании энергосистем с использованием *аналоговых вычислительных машин* (например, МН-7, МН-14, МПТ-10 и т. п.) также воспроизводятся некоторые процессы, имеющие природу, отличную от природы процессов в энергосистеме, но описываемые формально точно такими же, как для энергосистемы, дифференциальными уравнениями.

Разновидностью аналоговых моделей являются аналого-физической модели и цифроаналоговые или гибридные модели, объединяющие в одной установке аналоговую и физическую модели, аналоговую модель и элементы ЭВМ или специализированную ЭВМ. Существуют специализированные аналоговые модели, которые могут работать как в действительном, так и измененном масштабе времени и применяться при быстром прогнозировании процессов, существенном для управления энергосистемой.

Аналоговое моделирование применяется для расчётов при таких схемах замещения, для которых нет надобности проводить проверку их физической адекватности реальной системе, но необходимо исследовать влияние изменения отдельных параметров элементов и начальных условий процессов в значительном диапазоне.

Математическое моделирование энергосистем практически реализуется составлением приспособленной для решения на ЭВМ системы уравнений, представленных в виде алгоритмов и программ, с помощью которых на ЭВМ получают численные характеристики процессов (в виде графика или таблицы), происходящих в изучаемой энергосистеме. Математическое моделирование энергосистем широко применяется в проектных и эксплуатационных расчётах, оперирующих с заданными параметрами, изменяемыми при изучении конкурирующих вариантов, что особенно важно при технико-экономическом анализе, оптимизации, распределении токов, мощностей и напряжений в сложных энергосистемах.

Определение модели

Понятия модели и моделирования наиболее распространены в сфере обучения, научных исследованиях, при выполнении проектно-конструкторских работ, в серийном техническом производстве. В каждой из этих областей моделирование имеет свои особенности. Далее в этой книге моделирование будет рассматриваться главным образом применительно к научным исследованиям. Чаще всего термин “модель” используют для обозначения:

- устройства, воспроизводящего строение или действие какого-либо другого устройства (уменьшенное, увеличенное или в натуральную величину);
- аналога (чертежа, графика, плана, схемы, описания, ...) какого-либо явления, процесса или предмета.

К недостаткам термина “модель” следует отнести его многозначность. В словарях можно найти до восьми различных значений данного термина, из которых в научной литературе наиболее распространены два:

- модель как аналог реального объекта;
- модель как образец будущего изделия.

Научное познание сосредоточено на изучении предметов, явлений и процессов, существующих вне нашего сознания и называемых объектами исследования (от лат. *objectum* - предмет).

Важную роль при проведении исследований играют гипотезы (от греч. *hypothesis* — основание, предположение), т.е. определенные предсказания, предположительные суждения о причинно-следственных связях явлений, основанные на некотором количестве опытных данных, наблюдений, догадок. Формулирование и проверка правильности гипотез основывается, как правило, на аналогиях.

Аналогия – это представление о каком-либо частном сходстве двух объектов, причем такое сходство может быть как существенным, так и несущественным. Существенность сходства или различия двух объектов условна и зависит от уровня абстрагирования (от лат. *abstrahere* — отвлекать), определяемого конечной целью исследования. В данном случае уровень абстрагирования определяется набором учитываемых параметров объекта исследования. Например, при изучении механических свойств в качестве объектов исследования могут быть выделены материалы из дерева, металла, пластмассы и т.д. В свою очередь материалы из дерева можно подразделить по видам древесины на лиственные и хвойные, лиственные — на “березу”, “тополь”, “ясень” и т.д. В данном примере степень абстрагирования снижается при добавлении учитываемых параметров. Следует заметить, что уровень абстрагирования данного объекта всегда определяется по отношению к другим объектам.

Гипотезы и аналогии, в определенной мере отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобным для исследования логическим схемам. В науке моделями называются логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие понимание природы явлений. Другими словами, модель — это объект-заменитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых интересующих исследователя свойств оригинала.

Под **моделью** (от лат. *modulus* - мера, образец, норма) понимают такой материальный или мысленно представляемый объект, который в процессе познания (изучения) замещает объект-оригинал, сохраняя некоторые важные для данного исследования типичные его черты. Процесс построения и использования модели называется моделированием.

Представленное определение является достаточно общим и может трактоваться по-разному. В частности, любое знание можно рассматривать как некоторую идеальную модель природного объекта или явления. В свою очередь, любой искусственный (т.е. созданный человеком) объект или процесс есть материальная модель, построенная на основе соответствующих знаний (идеальных моделей). В этом смысле можно говорить о трех реальностях или трех сферах (что близко к мыслям, высказанным В.И.Вернадским еще в 1922 году), в которых живет человек.

Первой реальностью является живая и неживая природа, законы развития которой не зависят от человека. Поэтому природные объекты и явления нельзя рассматривать по отношению к человеку как модели. Однако познание и использование человеком природных объектов возможно только через их модели, которые в результате изучения самих объектов также изменяются.

Объекты природы находят свое отражение во второй реальности или *ноосфере*, включающей знания, накопленные всем человечеством и практически мало зависящие от конкретного человека. Данная реальность, состоящая из идеальных моделей, зависит от эволюции человечества и изменяется в процессе познания, пополняясь новыми и изменяя старые модели. Можно сказать, что процесс познания в любой области знаний представляет собой непрерывное совершенствование существующих и построение новых моделей исследуемых объектов. Этот ряд моделей (с оптимистической точки зрения) бесконечен.

Наконец, третья реальность или *техносфера* может рассматриваться как отражение второй реальности, включает все материальные модели, созданные человеком. К составляющим техносферы следует отнести также искусственное разведение животных и растений, их селекция и (в последнее время) их клонирование. Хотя сами живые организмы являются представителями живой природы и моделями не являются, но процесс их появления

управляется человеком на основании некоторых модельных представлений о данных объектах. В контексте данных рассуждений и приведенного выше определения модели можно сделать вывод о том, что человек в своей жизни в основном занимается знакомством с уже созданными ранее моделями и созданием на их основе новых идеальных или материальных моделей. Поэтому понятие “человек моделирующий” можно считать тождественным понятию “человек разумный”.

Свойства моделей

В настоящее время нет предпосылок к выделению “самых элементарных” и “неделимых” кирпичиков мироздания. Поэтому можно утверждать, что любой объект исследования является бесконечно сложным и характеризуется бесконечным числом параметров. При построении модели исследователь всегда исходит из *целей* своего исследования, учитывает только наиболее существенные для достижения поставленных целей факторы. Поэтому любая модель нетождественна объекту-оригиналу и, следовательно, *неполна*, поскольку при ее построении исследователь выделил только наиболее существенные с его точки зрения факторы. Отброшенные факторы, несмотря на свое относительно малое влияние на поведение объекта по сравнению с факторами, выбранными в качестве существенных, все же в совокупности могут приводить к значительным различиям между объектом и его моделью. “Полная” модель, очевидно, будет полностью тождественна оригиналу. Данную мысль хорошо выразили Артуро Розенблют и Норберт Винер, заметив, что “*наилучшей моделью кота является другой кот, а еще лучше - тот же самый кот*”. С другой стороны, как отметил М.Вартофский, при моделировании должно “*исключаться какое то бы ни было самоотнесение, ничто не может быть моделью самого себя*”.

Если результаты моделирования удовлетворяют исследователя и могут служить основой для прогнозирования поведения или свойств исследуемого объекта, то говорят, что модель *адекватна* (от лат. *adaequatus* — приравненный) объекту. При этом адекватность модели зависит от целей моделирования и принятых критериев. Учитывая заложенную при создании неполноту модели, можно утверждать, что идеально адекватная модель принципиально невозможна.

В качестве одной из характеристик модели может выступать *простота модели* (или *сложность*). Очевидно, что из двух моделей, позволяющих достичь желаемой цели и получить требуемые результаты с заданной точностью, предпочтение должно быть отдано более простой. При этом адекватность и простота модели далеко не всегда являются противоречивыми требованиями. Учитывая бесконечную сложность любого объекта исследования, можно предположить существование бесконечной последовательности его моделей, различающихся по степени полноты, адекватности и простоты.

В качестве еще одного свойства модели можно рассматривать потенциальность модели (от лат. *potentia* — мощь, сила) или *предсказательность* для получения новых знаний об исследуемом объекте. Данное свойство модели подчеркивается в определении Н.Н. Моисеева: *“Под моделью мы будем понимать упрощенное, если угодно, упакованное знание, несущее вполне определенную, ограниченную информацию о предмете (явлении), отражающее те или иные его свойства. Модель можно рассматривать как специальную форму кодирования информации. В отличие от обычного кодирования, когда известна вся исходная информация, и мы лишь переводим ее на другой язык, модель, какой бы язык она не использовала, кодирует и ту информацию, которую люди еще не знали. Можно сказать, что модель содержит в себе потенциальное знание, которое человек, исследуя ее, может приобрести, сделать наглядным и использовать в своих практических жизненных нуждах”*. По этому же поводу высказываются Т.Тоффоли и Н.Марголюс: *“В науке мало пользы от моделей, которые рабски подчиняются нашим желаниям. Мы хотим иметь модели, которые дерзят нам; модели, которые имеют свой собственный ум. Мы хотим получать от моделей больше, чем в них вложили ”*. Именно свойство потенциальности (иногда называемое богатство модели) позволяет модели выступать в качестве самостоятельного объекта исследования.

Модели в научных исследованиях, не обладающие определенной "предсказательностью", едва ли могут считаться удовлетворительными.

Известно немало случаев, когда изучение или использование моделей позволило сделать открытия. В качестве примера можно привести открытие планеты Нептун, положение которой было предсказано французским астрономом Лаверье на основании расчетов, выполненных с использованием закона всемирного тяготения (т.е. модели) и данных о движении планеты Уран. В наше время только на основании результатов теоретического моделирования открыты “черные дыры” в астрофизике и кварки в физике элементарных частиц (и те, и другие экспериментально подтверждены пока косвенно), высокотемпературный Т-слой в плазме (подтвержден экспериментально), использование которого позволяет значительно повысить коэффициент полезного действия магнитогидродинамических генераторов, которые в настоящее время рассматриваются как перспективные устройства для получения электрической энергии.

Цели моделирования

Хорошо построенная модель, как правило, доступнее, информативнее и удобнее для исследователя, нежели реальный объект.

Рассмотрим основные цели, преследуемые при моделировании в научной сфере. Самым важным и наиболее распространенным предназначением моделей является их применение при изучении и прогнозировании поведения сложных процессов и явлений. Следует учитывать, что

некоторые объекты и явления вообще не могут быть изучены непосредственным образом. Недопустимы, например, эксперименты с экономикой страны или со здоровьем ее населения. Принципиально неосуществимы эксперименты с прошлым какого-то государства или народа (*“История не терпит сослагательного наклонения”*). Невозможно (по крайней мере, в настоящее время) провести эксперимент по прямому исследованию структуры звезд. Многие эксперименты неосуществимы в силу своей дороговизны или рискованности для человека и/или среды его обитания.

Как правило, в настоящее время предварительные всесторонние исследования различных моделей явления предшествуют проведению любых сложных экспериментов. Более того, эксперименты на моделях с применением ЭВМ позволяют разработать план натуральных экспериментов, выяснить требуемые характеристики измерительной аппаратуры, наметить сроки проведения наблюдений, а также оценить стоимость такого эксперимента.

Другое, не менее важное, предназначение моделей состоит в том, что с их помощью выявляются наиболее существенные факторы, формирующие те или иные свойства объекта, поскольку сама модель отражает лишь некоторые основные характеристики исходного объекта. Например, исследуя движение массивного тела в атмосфере вблизи поверхности Земли, можно выяснить, что его ускорение существенно зависит от массы и геометрической формы (в частности – от величины поперечного к направлению движения сечения тела), но не зависит от цвета поверхности.

Модель позволяет научиться правильно управлять объектом, апробируя различные варианты управления на модели этого объекта. Использовать для этого реальный объект часто бывает рискованно или просто невозможно. Например, получить первые навыки в управлении современным самолетом безопаснее, быстрее и дешевле на тренажере (т.е. модели), чем подвергать себя и дорогую машину риску.

Если свойства объекта с течением времени меняются, то особое значение приобретает задача прогнозирования состояний такого объекта под действием различных факторов. Например, при проектировании и эксплуатации любого сложного технического устройства желательно уметь прогнозировать изменение надежности функционирования как отдельных подсистем, так и всего устройства в целом.

Итак, модель нужна для того, чтобы:

- понять, как устроен конкретный объект: какова его структура, основные свойства, законы развития, саморазвития и взаимодействия с окружающей средой;
- научиться управлять объектом или процессом, определять наилучшие способы управления при заданных целях и критериях;
- прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов и форм воздействия на объект.