

## Занятие №1. ВВЕДЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

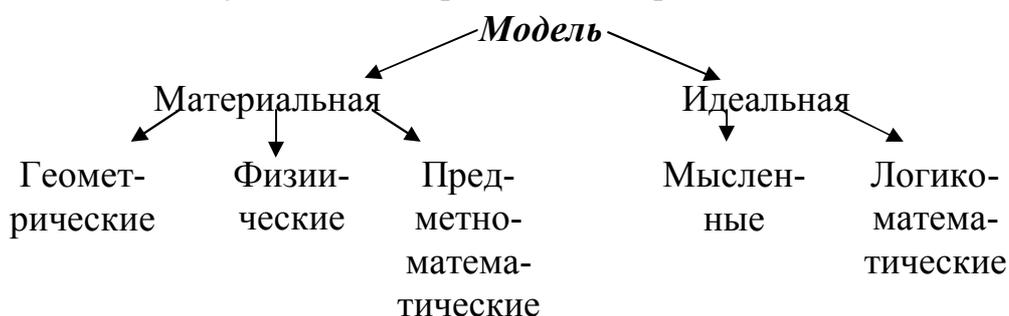
### МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

**Методологическая основа моделирования.** Все то, на что направлена человеческая деятельность, называется *объектом* (лат. *objectio* - предмет). Выработка методологии направлена на упорядочение получения и обработки информации об объектах, которые существуют вне нашего сознания и взаимодействуют между собой и внешней средой.

В научных исследованиях большую роль играют *гипотезы*, т. е. определенные предсказания, основывающиеся на небольшом количестве опытных данных, наблюдений, догадок. Быстрая и полная проверка выдвигаемых гипотез может быть проведена в ходе специально поставленного эксперимента. При формулировании и проверке правильности гипотез большое значение в качестве метода суждения имеет аналогия.

*Аналогией* называют суждение о каком-либо частном сходстве двух объектов, причем такое сходство может быть существенным и несущественным. Необходимо отметить, что понятия существенности и несущественности сходства или различия объектов условны и относительны. Существенность сходства (различия) зависит от уровня абстрагирования и в общем случае определяется конечной целью проводимого исследования. Современная научная гипотеза создается, как правило, по аналогии с проверенными на практике научными положениями. Таким образом, аналогия связывает гипотезу с экспериментом.

Гипотезы и аналогии, отражающие реальный, объективно существующий мир, должны обладать наглядностью или сводиться к удобным для исследования логическим схемам; такие логические схемы, упрощающие рассуждения и логические построения или позволяющие проводить эксперименты, уточняющие природу явлений, называются *моделями*. Другими словами, *модель* (лат. *modulus* — мера) — это объект-заместитель объекта-оригинала, обеспечивающий изучение некоторых свойств оригинала.



**Компьютерная модель** — это программная реализация математической модели, дополненная различными служебными программами (например, рисующими и изменяющими графические образы во времени). Компьютерная модель имеет две составляющие — программную и аппаратную. Программная составляющая так же является абстрактной знаковой моделью. Это лишь другая форма абстрактной модели, которая, однако, может интерпретироваться не только математиками и программистами, но и техническим устройством —

процессором компьютера.

**Моделированием** называется замещение одного объекта другим с целью получения информации о свойствах объекта-оригинала путем изучения объекта-модели.

Таким образом, моделирование может быть определено как представление объекта моделью для получения информации об этом объекте путем проведения экспериментов с его моделью. Теория замещения одних объектов (оригиналов) другими объектами (моделями) и исследования свойств объектов на их моделях называется *теорией моделирования*.

## ГЛАВА 1

### ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ТЕОРИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ

В настоящее время при анализе и синтезе сложных (больших) систем получил развитие *системный подход*, который отличается от классического (или индуктивного - путем перехода *от частного к общему* и синтезирует (конструирует) систему путем слияния ее компонент, разрабатываемых раздельно) подхода. В отличие от этого *системный подход* предполагает последовательный переход *от общего к частному*, когда в основе рассмотрения лежит цель, причем исследуемый объект выделяется из окружающей среды.

**Понятие системы и элемента системы.** Специалисты по проектированию и эксплуатации сложных систем имеют дело с системами управления различных уровней, обладающими общим свойством - стремлением достичь некоторой цели. Эту особенность учтем в следующих определениях системы.

*Система S* — целенаправленное множество взаимосвязанных элементов любой природы.

*Внешняя среда E* — множество существующих вне системы элементов любой природы, оказывающих влияние на систему или находящихся под ее воздействием.

**Понятие модели.** Модель – представление объекта, системы или понятия, в некоторой форме, отличного от их реального существования.

Моделирование – во-первых, построение модели, во-вторых, изучение модели, в-третьих, анализ системы на основе данной модели.

При системном подходе к моделированию систем необходимо прежде всего четко определить *цель моделирования*. Применительно к вопросам моделирования цель возникает из требуемых задач моделирования, что позволяет подойти к выбору критерия и оценить, какие элементы войдут в создаваемую модель *M*. Поэтому необходимо иметь критерий отбора отдельных элементов в создаваемую модель.

#### **Цели моделирования:**

1) оценка – оценить действительные характеристики проектируемой или существующей системы, определить насколько система предлагаемой структуры будут соответствовать предъявляемым требованиям.

2) сравнение – произвести сравнение конкурирующих систем одного функционального назначения или сопоставить несколько вариантов построения одной и той же системы.

3) прогноз – оценить поведение системы при некотором

предполагаемом сочетании рабочих условий.

4) анализ чувствительности – выявить из большого числа факторов, действующих на систему тем, которое в большей степени влияют на ее поведение и определяют ее показатели эффективности.

5) оптимизация – найти или установить такое сочетание действующих факторов и их величин, которое обеспечивает наилучшие показатели эффективности системы в целом.

1-4 задачи анализа, 5 - задача синтеза.

**Подходы к исследованию систем.** Важным для системного подхода является определение *структуры системы* — совокупности связей между элементами системы, отражающих их взаимодействие.

При *структурном подходе* выявляются состав выделенных элементов системы  $S$  и связи между ними. Совокупность элементов и связей между ними позволяет судить о структуре системы. Последняя в зависимости от цели исследования может быть описана на разных уровнях рассмотрения. Наиболее общее описание структуры — это топологическое описание, позволяющее определить в самых общих понятиях составные части системы и хорошо формализуемое на базе теории графов.

Менее общим является функциональное описание, когда рассматриваются отдельные функции, т. е. алгоритмы поведения системы, и реализуется *функциональный подход*, оценивающий функции, которые выполняет система, причем под функцией понимается свойство, приводящее к достижению цели.

Простой подход к изучению взаимосвязей между отдельными частями модели предусматривает рассмотрение их как отражение связей между отдельными подсистемами объекта. Такой классический подход может быть использован при создании достаточно простых моделей. Процесс синтеза модели  $M$  на основе классического (индуктивного) подхода представлен на рис. 1.1, а. Реальный объект, подлежащий моделированию, разбивается на отдельные подсистемы, т. е. выбираются исходные данные  $D$  для моделирования и ставятся цели  $Ц$ , отображающие отдельные стороны процесса моделирования. По отдельной совокупности исходных данных  $D$  ставится цель моделирования отдельной стороны функционирования системы, на базе этой цели формируется некоторая компонента  $K$  будущей модели. Совокупность компонент объединяется в модель  $M$ .

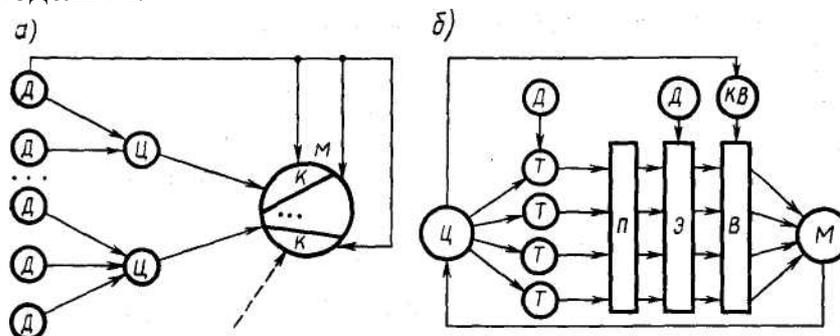


Рис. 1.1. Процесс синтеза модели на основе классического (а) и системного (б) подходов

Таким образом, разработка модели  $M$  на базе классического подхода

означает суммирование отдельных компонент в единую модель, причем каждая из компонент решает свои собственные задачи и изолирована от других частей модели. Поэтому классический подход может быть использован для реализации сравнительно простых моделей, в которых возможно разделение и взаимно независимое рассмотрение отдельных сторон функционирования реального объекта. Для модели сложного объекта такая разобщенность решаемых задач недопустима, так как приводит к значительным затратам ресурсов при реализации модели на базе конкретных программно-технических средств. Можно отметить две отличительные стороны классического подхода: наблюдается движение от частного к общему, создаваемая модель (система) образуется путем суммирования отдельных ее компонент и не учитывается возникновение нового системного эффекта.

Процесс синтеза модели  $M$  на базе системного подхода условно представлен на рис. 1.1, б. На основе исходных данных  $D$ , которые известны из анализа внешней системы, тех ограничений, которые накладываются на систему сверху либо исходя из возможностей ее реализации, и на основе цели функционирования формулируются исходные требования  $T$  к модели системы  $S$ . На базе этих требований формируются ориентировочно некоторые подсистемы  $P$ , элементы  $\mathcal{E}$  и осуществляется наиболее сложный этап синтеза — выбор  $B$  составляющих системы, для чего используются специальные критерии выбора  $KB$ .

**Стадии разработки моделей.** На базе системного подхода может быть предложена и некоторая последовательность разработки моделей, когда выделяют две основные стадии проектирования: *макропроектирование* и *микропроектирование*.

На стадии *макропроектирования* на основе данных о реальной системе  $S$  и внешней среде  $E$  строится модель внешней среды, выявляются ресурсы и ограничения для построения модели системы, выбирается модель системы и критерии, позволяющие оценить адекватность модели  $M$  реальной системы  $S$ .

Стадия *микропроектирования* в значительной степени зависит от конкретного типа выбранной модели. В случае имитационной модели необходимо обеспечить создание информационного, математического, технического и программного обеспечений систем моделирования.

Независимо от типа используемой модели  $M$  при ее построении необходимо руководствоваться рядом *принципов системного подхода*:

- 1) пропорционально-последовательное продвижение по этапам и направлениям создания модели;
- 2) согласование информационных, ресурсных, надежности и других характеристик;
- 3) правильное соотношение отдельных уровней иерархии в системе моделирования;
- 4) целостность отдельных обособленных стадий построения модели.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ ВИДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ**

Классификация видов моделирования систем  $S$  приведена на рис. 1.2.



Рис. 1.2. Классификация видов моделирования систем

*Детерминированное моделирование* отображает процессы, в которых предполагается отсутствие всяких случайных воздействий; *стохастическое моделирование* отображает вероятностные процессы и события. В этом случае анализируется ряд реализаций случайного процесса и оцениваются средние характеристики, т. е. набор однородных реализаций. *Статическое моделирование* служит для описания поведения объекта в какой-либо момент времени, а *динамическое моделирование* отражает поведение объекта во времени. *Дискретное моделирование* служит для описания процессов, которые предполагаются дискретными, соответственно непрерывное моделирование позволяет отразить непрерывные процессы в системах, а *дискретно-непрерывное моделирование* используется для случаев, когда хотят выделить наличие как дискретных, так и непрерывных процессов.

В зависимости от формы представления объекта (системы  $S$ ) можно выделить мысленное и реальное моделирование.

*Мысленное моделирование* часто является единственным способом моделирования объектов, которые либо практически нереализуемы в заданном интервале времени, либо существуют вне условий, возможных для их физического создания. Например, на базе мысленного моделирования могут быть проанализированы многие ситуации микромира, которые не поддаются физическому эксперименту. Мысленное моделирование может быть реализовано в виде *наглядного, символического и математического*.

При *наглядном моделировании* на базе представлений человека о реальных объектах создаются различные наглядные модели, отображающие явления и процессы, протекающие в объекте. В основу *гипотетического моделирования* исследователем закладывается некоторая гипотеза о закономерностях протекания процесса в реальном объекте, которая отражает уровень знаний исследователя об объекте и базируется на причинно-следственных связях между входом и выходом изучаемого объекта. Гипотетическое моделирование используется, когда знаний об

объекте недостаточно для построения формальных моделей.

*Аналоговое моделирование* основывается на применении аналогий различных уровней. Наивысшим уровнем является полная аналогия, имеющая место только для достаточно простых объектов. С усложнением объекта используют аналогии последующих уровней, когда аналоговая модель отображает несколько либо только одну сторону функционирования объекта.

Существенное место при мысленном наглядном моделировании занимает *макетирование*. Мысленный макет может применяться в случаях, когда протекающие в реальном объекте процессы не поддаются физическому моделированию, либо может предшествовать проведению других видов моделирования. Если ввести условное обозначение отдельных понятий, т. е. знаки, а также определенные операции между этими знаками, то можно реализовать *знаковое моделирование* и с помощью знаков отображать набор понятий — составлять отдельные цепочки из слов и предложений. Используя операции объединения, пересечения и дополнения теории множеств, можно в отдельных символах дать описание какого-то реального объекта.

В основе *языкового моделирования* лежит некоторый тезаурус. Последний образуется из набора входящих понятий, причем этот набор должен быть фиксированным. Следует отметить, что между тезаурусом и обычным словарем имеются принципиальные различия. Тезаурус — словарь, в котором каждому слову может соответствовать лишь единственное понятие, хотя в обычном словаре одному слову могут соответствовать несколько понятий.

*Символическое моделирование* представляет собой искусственный процесс создания логического объекта, который замещает реальный и выражает основные свойства его отношений с помощью определенной системы знаков или символов.

**Математическое моделирование.** Под *математическим моделированием* будем понимать процесс установления соответствия данному реальному объекту некоторого математического объекта, называемого математической моделью, и исследование этой модели, позволяющее получать характеристики рассматриваемого реального объекта. Вид математической модели зависит как от природы реального объекта, так и задач исследования объекта и требуемой достоверности и точности решения этой задачи.

Для *аналитического моделирования* характерно то, что процессы функционирования элементов системы записываются в виде некоторых функциональных соотношений (алгебраических, интегродифференциальных, конечно-разностных и т.п.) или логических условий.

*Имитационное моделирование* позволяет по исходным данным получить сведения о состоянии процесса в определенные моменты времени, дающие возможность оценить характеристики системы  $S$ .